

4 5 2

Julius-Kühn-Archiv

Henning Nordmeyer, Lena Ulber

Tagungsband

27. Deutsche Arbeitsbesprechung
über Fragen der

Unkrautbiologie und – bekämpfung

23.-25. Februar 2016, Braunschweig

Proceedings

27th German Conference on

Weed Biology and Weed Control

February 23-25, 2016, Braunschweig, Germany



Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI)

Das Julius Kühn-Institut ist eine Bundesoberbehörde und ein Bundesforschungsinstitut. Es umfasst 16 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 BMEL 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 BMEL ab. Die Zuständigkeit umfasst behördliche Aufgaben und die Forschung in den Bereichen Pflanzengenetik, Pflanzenbau, Pflanzenernährung und Bodenkunde sowie Pflanzenschutz und Pflanzengesundheit. Damit vernetzt das JKI alle wichtigen Ressortthemen um die Kulturpflanze – ob auf dem Feld, im Gewächshaus oder im urbanen Bereich – und entwickelt ganzheitliche Konzepte für den gesamten Pflanzenbau, für die Pflanzenproduktion bis hin zur Pflanzenpflege und -verwendung. Forschung und hoheitliche Aufgaben sind dabei eng miteinander verbunden.

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

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

The Julius Kühn-Institut is both a research institution and a higher federal authority. It is structured into 16 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 and Agriculture 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 BMEL research plan.

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

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

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

Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg,

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

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

4 5 2

Julius-Kühn-Archiv

Henning Nordmeyer, Lena Ulber

Tagungsband

27. Deutsche Arbeitsbesprechung
über Fragen der

Unkrautbiologie und – bekämpfung

23.-25. Februar 2016, Braunschweig

Proceedings

27th German Conference on

Weed Biology and Weed Control

February 23-25, 2016, Braunschweig, Germany



Herausgeber

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

Programmkomitee

Herwart Böhm (Thünen-Institut)
Hans G. Drobny (DuPont de Nemours GmbH)
Boris Schröder-Esselbach (Technische Universität Braunschweig)
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 (JKI)
Technische Universität Braunschweig
Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft (DPG)

Foto Titel

Kornblume (*Centaurea cyanus*)
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 978-3-95547-028-9
DOI 10.5073/jka.2016.452.000

© Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Quedlinburg, 2016.
Printed in Germany by Arno Brynda GmbH, Berlin.

Inhaltsverzeichnis – Table of Contents

| | |
|--------------------------|-----------|
| Vorwort – Preface | 11 |
|--------------------------|-----------|

Einleitende Referate Keynote presentations

| | |
|--|-----------|
| Zum Nutzen von Artenvielfalt bei Ackerunkräutern für das Unkrautmanagement | 13 |
| <i>About the value of species diversity in arable weeds for weed management</i> | |
| Bärbel Gerowitt | |
| Unkrautkontrolle in Not – können in Zukunft noch alle Unkräuter mit Herbiziden kontrolliert werden? | 19 |
| <i>Weed control in distress – can all weeds still be controlled with herbicides in future?</i> | |
| Hans G. Drobny | |
| Developments in physical weed control in Northwest Europe | 24 |
| <i>Entwicklungen in der mechanischen Unkrautbekämpfung in Nordwest-Europa</i> | |
| Marleen Riemens | |

Sektion 1: Herbizidresistenz Section 1: Herbicide resistance

| | |
|---|-----------|
| Herbicide resistance in German and Swiss <i>Lolium</i> spp. populations – resistance factors and cross-resistance spectrum | 27 |
| <i>Herbizidresistenz in <i>Lolium</i> spp. aus Deutschland und der Schweiz – Resistenzfaktoren und Kreuzresistenzmuster</i> | |
| Jan Petersen, Fabian Best, Hans Raffel | |
| Discovering the mechanism of enhanced metabolism in flufenacet resistant grass weeds | 35 |
| <i>Untersuchung des Mechanismus zum schnelleren Flufenacet-Abbau in resistenten Ungräsern</i> | |
| Rebecka Dücker, Lothar Lorentz, Richard Hull, Monte Anderson, Stephen Moss, Roland Beffa | |

- Linkage of the current ALS-resistance status with field history information of multiple fields infested with blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in southern Germany** 42
*Zusammenhang des ALS-Resistenzstatus bei Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) mit den durchgeführten Bewirtschaftungsmaßnahmen auf mehreren Felder in Süddeutschland*
Johannes Herrmann, Martin Hess, Harry Strek, Otto Richter, Roland Beffa
- Impact of the safener Mefenpyr-diethyl on herbicide resistance evolution in *Alopecurus myosuroides* (Huds.) biotypes** 50
*Einfluss des Safeners Mefenpyr-diethyl auf die Entwicklung von Herbizidresistenz bei *Alopecurus myosuroides* (Huds.)-Biotypen*
Maria Rosenhauer, Chris Rosinger, Jan Petersen
- Chlorophyll fluorescence response to herbicide stress in *Alopecurus myosuroides*** 57
*Chlorophyll-Fluoreszenz-Reaktion auf Herbizidstress bei *Alopecurus myosuroides**
Pei Wang, Hui Li, Roland Gerhards
- Untersuchungen zur Resistenz von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Gemeiner Windhalm) gegenüber Herbiziden unterschiedlicher HRAC-Klassen in Hessen** 68
*Investigations on *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (loose silky-bent grass) resistance against herbicides from different HRAC-classes in Hessen*
Dominik Dicke, Christian Henschke, Jan Petersen, Roland Gerhards

Sektion 2: Populationsdynamik und Biodiversität

Section 2: Population dynamics and biodiversity

- Arable weed flora in the Western Siberian grain belt** 76
Segetalvegetation des Westsibirischen Getreidegürtels
Immo Kämpf, Norbert Hölzel, Insa Kühling, Kathrin Kiehl
- Beitrag neuer Energiepflanzen für die Diversifizierung der Beikrautflora in Energieanbausystemen** 84
The impact of new energy crops on weed flora diversification in energy cropping systems
Michael Glemnitz, Hans-Jörg Brauckmann

- About the interplay of sensitive and resistant biotypes in weed populations - simulation exercises for *Echinochloa crus-galli* in maize crops** 93
Über das Zusammenspiel von sensitiven und resistenten Biotypen in Unkrautpopulationen – eine Übung anhand von Echinochloa crus-galli in Mais
Christoph von Redwitz, Heike Pannwitt, Bärbel Gerowitt
- Konkurrenz in Populationen der hemiparasitären Pflanze *Striga hermonthica* auf dem Wirt Sorghum** 100
Competition in populations of the hemi-parasitic plant Striga hermonthica on a sorghum host
Paula R. Westerman, Lia Hemerik, Wopke van der Werf, Tjeerd-Jan Stomph, Tom A. van Mourik
- Herbicide hormesis to segregate a weed population? – A case study with *Tripleurospermum perforatum* (Mérat) Lainz** 103
Kann Herbizid-Hormesis eine Unkrautpopulation spalten? – Eine Fallstudie mit Tripleurospermum perforatum (Mérat) Lainz
Regina G. Belz, Aki Sinkkonen
- Untersuchungen zur Populationsdynamik von *Senecio jacobaea* und anderer *Senecio*-Arten** 111
Studies on the population dynamics of Senecio jacobaea and other Senecio species
Hans-Peter Söchting, Peter Zwerger
- Versuche zur Parameterschätzung für das Modell FlorSys mit Unkrautarten und deren Herkünften aus Norddeutschland** 119
Experiments to estimate parameters for the model FlorSys of weed species and their provenances from Northern Germany
Issa Kemou-Gao, Jana Bürger, Bärbel Gerowitt
- Die Bedeutung der Temperatur für die Inaktivierung von Samen im Biogas-Reaktor** 123
The importance of temperature in the inactivation of seeds in biogas reactors
Juliane Hahn, David Parzych, Paula R. Westerman, Monika Heiermann, Bärbel Gerowitt
- Unkrautauflauf auf langjährig nicht mit Herbiziden behandelten Ackerflächen - Dauer der Nachwirkung** 130
Weed emergence on long years' not herbicide treated fields - duration of the after-effects
Jürgen Schwarz, Bernhard Pallutt
- Bestimmen bei Acker-Kratzdisteln (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) heterotrophe Wachstumsfaktoren das Auftauchen und die Verteilung in der Landschaft?** 136
Do heterotrophic growth factors determine occurrence and distribution of the creeping thistle (Cirsium arvense (L.) Scop.) in the landscape?
Hartmut Heilmann

Sektion 3: Herbizid-Management

Section 3: Herbicide management

- Regulierungsmöglichkeiten von Wasser-Kreuzkraut (*Senecio aquaticus*) im Dauergrünland** **145**
Management practices for the control of marsh ragwort (Senecio aquaticus) in permanent grassland
Klaus Gehring, Stefan Thyssen
- Selektivität von Herbiziden in Leindotter (*Camelina sativa* (L.) Crtz.)** **154**
Selectivity of herbicides in Camelina (Camelina sativa (L.) Crtz.)
Maria Scheliga, Jan Petersen
- Einflussfaktoren auf die Verträglichkeit von Flufenacet-Anwendungen in Roggen** **163**
Factors influencing the tolerance of flufenacet applications in winter rye
Bernhard Werner, Lüder Bornemann, Felix Haarstrich, Benjamin Steinfeld, Paul Steingröver, Luitpold Scheid
- Chemical and mechanical weed control in soybean (*Glycine max*)** **171**
Chemische und mechanische Unkrautkontrolle in Sojabohne (Glycine max)
Jonas Felix Weber, Christoph Kunz, Roland Gerhards
- Weed flora, yield losses and weed control in cotton crop** **177**
Unkrautflora, Ertragsverluste und Unkrautkontrolle in Baumwolle
Khawar Jabran
- Integrierter Pflanzenschutz im DB-Konzern in Deutschland - Leitlinien für eine nachhaltige Vegetationspflege im Rahmen der Instandhaltung von Anlagen und Flächen** **183**
Integrated Pesticide Management at the Deutsche Bahn in Germany - guidelines for the sustainable vegetation management for maintenance of constructions and areas
Michael Below
- Einfluss der Herbizidaufwandmenge auf Wirkungsgrad und Erträge in Wintergetreide am Beispiel von Ackerfuchsschwanz und Windhalm** **187**
Influence of herbicide doses on efficacy and yield in winter cereal on the example of blackgrass and loose silky-bentgrass
Arne Brathuhn, Jan Petersen
- Auswirkung reduzierter Herbizidaufwandmengen bei pflugloser Bodenbearbeitung auf den Unkrautauflauf** **194**
Effect of reduced herbicide amounts with minimum tillage systems on weed infestation
Jürgen Schwarz, Bernhard Pallutt

| | |
|--|------------|
| On-farm investigations on integrated weed management in maize in three European countries | 201 |
| <i>Integriertes Unkrautmanagement in Mais auf Praxisbetrieben in drei europäischen Ländern</i> | |
| Arnd Verschwele, Vasilis Vasileiadis, Robert Leskovsek, Maurizio Sattin | |
| Vorzüglichkeit des Clearfield®-Systems bei Raps unter verschiedenen Bewirtschaftungsintensitäten | 206 |
| <i>Performance of oilseed rape in the Clearfield®-system in different cropping intensities</i> | |
| Sebastian Schwabe, Sabine Gruber, Ernst Albrecht Weber, Wilhelm Claupein | |
| Combining cutting and herbicide application for <i>Ambrosia artemisiifolia</i> control | 210 |
| <i>Kombination von Herbizidapplikation und Schneiden zur Bekämpfung von <i>Ambrosia artemisiifolia</i></i> | |
| Ulrike Sölter, Solvejg K. Mathiassen, Arnd Verschwele | |
| Beifußblättrige Ambrosie (<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.) auf Äckern Südbrandenburgs: Anwendung eines Indikators für Bestandsüberwachung und Einschätzung des Bekämpfungserfolgs | 217 |
| <i>Ragweed (<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.) in agricultural fields of South Brandenburg: using an indicator to monitor infestation and the success of control measures</i> | |
| Wilko Schweers, Christine Tümmler, Jörg Lübcke | |
| Effect of nicosulfuron on the populations of invasive weedy sunflower | 225 |
| <i>Die Auswirkung von Nicosulfuron auf invasive Unkraut-Sonnenblumenbestände</i> | |
| Dragana Bozic, Sava Vrbnicanin, Darko Stojicevic, Danijela Pavlovic | |
| Situationsgerechte Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln | 232 |
| <i>Weed control by direct injection of plant protection products according to specific situations</i> | |
| Mathias Krebs, Dirk Rautmann, Henning Nordmeyer | |
| Automatisierte Unkrauterkenung auf dem Acker – Möglichkeiten und Grenzen | 241 |
| <i>Automated weed detection in the field - possibilities and limits</i> | |
| Michael Pflanz, Henning Nordmeyer | |

Sektion 4: Nichtselektive Herbizide

Section 4: Non-selective herbicides

- Anwendungen von Glyphosat im deutschen Ackerbau – Herbologische und ackerbauliche Aspekte** **249**
Uses of glyphosate in German arable farming – aspects of weed management and arable practice
Armin Wiese, Michael Schulte, Ludwig Theuvsen, Horst-Henning Steinmann
- Anwendungen von Glyphosat im deutschen Ackerbau – Betriebliche Aspekte** **255**
Uses of glyphosate in German arable farming – operational aspects
Armin Wiese, Michael Schulte, Ludwig Theuvsen, Horst-Henning Steinmann
- Bestimmungsfaktoren für regionale Unterschiede in der Glyphosat-Intensität im Ackerbau Norddeutschlands** **263**
Influencing factors on regional differences in glyphosate use in North German arable farming
Sabine Andert, Jana Bürger, Bärbel Gerowitt
- Exploring the effects of glyphosate products on weed composition** **270**
Untersuchung des Einflusses von Glyphosat auf Unkrautzusammensetzungen
Laurie Anne Koning, David Sefzat, Bärbel Gerowitt
- Economic assessment of alternatives for glyphosate application in arable farming** **279**
Ökonomische Bewertung von Alternativen zur Glyphosatanwendung im Ackerbau
Hella Kehlenbeck, Jovanka Saltzmann, Jürgen Schwarz, Peter Zwerger, Henning Nordmeyer
- Glyphosatanwendung bei Direktsaat von Winterweizen unter Berücksichtigung der Bodenbearbeitungshistorie** **290**
Glyphosate application and direct sowing of winter wheat considering soil cultivation history
Henning Nordmeyer

Sektion 5: Entwicklungen bei Herbiziden

Section 5: Developments in herbicides

- Arylex™ active – new herbicide active and base for new cereals herbicides: Zypar™ and Pixxaro™ EC to control wide range of broadleaf weeds in cereals in Europe** **297**
Arylex™ active – ein neuer herbizider Wirkstoff als Basis für neue Getreideherbizide: Zypar und Pixxaro EC zur Bekämpfung von dikotylar Verunkrautung in Getreide in Europa
Marcin Dzikowski, Jörg Becker, Dominique Larelle, Benedikt Kamerichs, Roger Gast
- DuPont™ Omnera™ LQM™ (DPX-SGE27) – Eine neue Generation flüssig formulierter Getreideherbizide** **305**
DuPont™ Omnera™ LQM™ (DPX-SGE27) – A new generation of liquid formulated cereal herbicides
Thomas Uhl, Andreas Förtsch, Hans G. Drobny
- Atlantis Star – ein neues Herbizid zur Bekämpfung von Ungräsern und Unkräutern in Getreide** **310**
Atlantis Star – a new herbicide in cereals with efficacy against grasses and dicots
Dirk Kerlen*, Peter Naunheim
- Tanaris® , das neue Bodenherbizid im Winterraps für den Vor und Nachauflauf** **318**
Tanaris® – the new herbicide for weed control in pre and post emergence in oilseed rape
Johannes Bessai, Hagen Bremer, Sascha Schläfer, Alfons Schönhammer, Herve Vantieghem
- CONVISO® SMART – ein neues System zur erfolgreichen Kontrolle von Ungräsern und Unkräutern in ALS-toleranten Zuckerrüben** **327**
CONVISO® SMART – a new solution to control monocotyledonous and dicotyledonous weeds in ALS-tolerant sugar beets
Natalie Balgheim, Martin Wegener, Heinrich Mumme, Carsten Stibbe, Bernd Holtschulte
- TIVMETIX OD – Ein Sulfonylharnstoff-basiertes Herbizid mit verbesserter Wirksamkeit durch neue Öl-Dispersionen (OD)-Formulierungstechnologie** **335**
TIVMETIX OD – A Sulfonylurea-based Herbicide with improved efficacy through novel oil dispersion (OD) formulation technology
Barbara Gimeno, Miguel Gimeno, Victor Casaña-Giner, Hermann Hämmerle, Matthias Reismüller
- Proman – eine starke Basis für flexible Herbizidstrategien im Kartoffelbau** **342**
Proman – a strong base for flexible herbicide strategies in potato production
Henning Bergmann

- Permit – Ein neues Herbizid zur Bekämpfung von *Cyperus esculentus* in Mais** **347**
*Permit – A new herbicide for control of *Cyperus esculentus* in maize*
Albert Günnigmann, Daniel Becker
- Milestone – a selective herbicide for the control of important grasses and broad-leaved weeds in winter oilseed rape** **355**
Milestone – ein selektives Herbizid zur Bekämpfung wichtiger Ungräser und Unkräuter in Winterraps
Agnes Zotz, Ulrich Bernhard, Anke Koops, Xavier de Gaujac
- DuPont™ Debut® DuoActive (DPX-R3D76): Ein neues Produkt für optimierte Herbizidprogramme in Rüben** **359**
DuPont™ Debut® DuoActive (DPX-R3D76): A new product for optimized herbicide programs in beets
Christian Helinski, Hans Günther Drobny, Andreas Förtsch
- Cossack Star – ein neues Herbizid zur Bekämpfung von Ungräsern und Unkräutern in Getreide** **365**
Cossack Star – a new herbicide in cereals with efficacy against grasses and dicots
Dirk Kerlen, Peter Naunheim

Sektion 6: Herbizidresistenz – Management

Section 6: Herbicide resistance management

- Verbreitung und effektive Kontrolle von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) im Hinblick auf die Resistenzentwicklung – Auswertung der Ringversuche der Bundesländer Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen von 2000 bis 2014** **371**
*Spread and control of blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) according to an increasing occurrence of resistance - Evaluation of field trials in the federal states Brandenburg, Hessen, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia in the years 2000 - 2014*
Ewa Meinlschmidt, Christine Tümmler, Katrin Ewert, Heiko Schmalstieg, Elke Bergmann
- Entwicklung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) unter verschiedenen Herbizidbehandlungssystemen und Bodenbearbeitungsverfahren** **385**
*Development of black-grass (*Alopecurus myosuroides*) in regard to different herbicide systems and soil management treatments*
Klaus Gehring, Stefan Thyssen, Thomas Festner

- Impact of weed control strategies on resistance evolution in *Alopecurus myosuroides* – a long-term field trial** 393
Einfluss von Herbizidstrategien auf die Resistenzentwicklung bei Alopecurus myosuroides – ein Dauerversuch
Lena Ulber, Dagmar Rissel
- Einfluss von Imazamox-haltigen Herbiziden auf die Resistenzentwicklung bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in einer Raps-Getreidefruchtfolge** 403
*Impact of imazamox containing herbicides on the development of resistance in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) within an oilseed rape / wheat crop rotation*
Maria Rosenhauer, Bernd Sievernich, Jan Petersen
- Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern** 412
*Development of herbicide resistance in black-grass (*Alopecurus myosuroides*) in Bavaria*
Klaus Gehring, Stefan Thyssen, Thomas Festner
- Entwicklung der Herbizidresistenz bei Windhalm (*Apera spica-venti*) in Bayern** 418
*Development of herbicide resistance in loose silky-bent grass (*Apera spica-venti*) in Bavaria*
Klaus Gehring, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Sektion 7: Unkrautmanagement ohne Herbizide

Section 7: Weed management without herbicides

- Comparison of different cover crop mulches and extracts on inhibition of crop and weed growth** 424
Vergleich verschiedener Zwischenfrucht-Extrakte und Mulch hinsichtlich der Wachstumshemmung von Kulturpflanzen und Unkräutern
Dominic Johannes Sturm, Roland Gerhards
- Is growing buckwheat allelopathic?** 431
Ist wachsender Buchweizen allelopathisch?
Judith Wirth, Aurélie Gfeller
- Reduktion des Unkrautdruckes durch die Etablierung von Untersaaten in Mais-Bohnen-Gemengen** 439
Reduction of weed pressure by establishing catch crops in maize-bean-intercropping systems
Jenny Fischer, Herwart Böhm

| | |
|--|------------|
| Comparison of different mechanical weed control strategies in sugar beets | 446 |
| <i>Vergleich verschiedener mechanischer Unkrautstrategien in Zuckerrüben</i> | |
| Christoph Kunz, Jonas Felix Weber, Roland Gerhards | |
| The impact of crop diversification management on weed communities in summer cereals on organic farms in Northern Europe. An introduction to the study | 452 |
| <i>Zum Einfluss von Anbaudiversität auf die Unkrautartengemeinschaften im Sommergetreide ökologisch wirtschaftender Betriebe in Nord-Europa. Eine Einführung in die Untersuchungen</i> | |
| Merel Hofmeijer, Bärbel Gerowitt, Jukka Salonen, Theo Verwijst, Livija Zarina, Bo Melander | |
| Einfluss von reduzierter Bodenbearbeitung und Direktsaat auf die Segetalvegetation in ökologisch produzierten Ackerbohnen | 457 |
| <i>Influence of conservation tillage and zero tillage on arable weeds in organic faba bean production</i> | |
| Rüdiger Jung, Rolf Rauber | |
| Robotic intra-row weed hoeing in maize and sugar beet | 462 |
| <i>Roboter-gesteuerte Unkrauthacke in der Reihe von Mais und Zuckerrüben</i> | |
| Roland Gerhards, Markus Sökefeld, Gerassimos Peteinatos, Adnan Nabout A, Johann Maier, Peter Risser | |
| Entwicklung eines Prüfsystems zur Erfassung und Bewertung der Unkraut unterdrückenden Wirkung für Blaue Lupinen | 464 |
| <i>Development of a testing system for the documentation and evaluation of the weed-suppressing ability of blue lupins</i> | |
| Herwart Böhm | |
| Entwicklung eines Standard-Prüfverfahrens für Geräte zur thermischen Unkraut-bekämpfung | 471 |
| <i>Development of a standard test procedure for devices on thermal weed control</i> | |
| Arnd Verschwele, Detlef Stieg | |
| The effect of mulches on <i>Elytrigia repens</i> spreading under conditions of organic agriculture | 477 |
| <i>Einfluss von Mulch auf die Elytrigia repens-Ausbreitung im ökologischen Landbau</i> | |
| Darija Jodaugienė, Rita Pupalienė, Aušra Sinkevičienė, Kristina Bajorienė | |
| Autoren – Authors | 483 |

Vorwort – Preface

Nun schon zum dritten Mal haben das Julius Kühn-Institut (JKI), das Institut für Geoökologie der Technischen Universität Braunschweig und der Arbeitskreis Herbologie der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft (DPG) nach Braunschweig zur 27. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung eingeladen. Die „Unkrauttagungen“ bieten allen an der Herbologie interessierten Kolleginnen und Kollegen der Hochschulen, Industrie, Beratung und öffentlichen Verwaltung eine einzigartige Plattform zur Vorstellung und Diskussion neuer Forschungsergebnisse sowie zum Austausch von aktuellen Erkenntnissen auf dem Gebiet der Herbologie.

Auch für die Tagung im Jahr 2016 wurden wieder wissenschaftliche Beiträge zu allen aktuellen Fragen der Herbologie angemeldet. Die Veranstalter haben an dem Ziel festgehalten, die Manuskripte der Vorträge und Poster in einem Tagungsband zusammenzustellen und zu veröffentlichen. Somit gibt der Tagungsband den aktuellen Erkenntnisstand im Bereich der Herbologie wieder. Aktuelle Schwerpunktthemen sind neben der Unkrautbiologie und Populationsdynamik die Herbizidresistenz, die Anwendung von Glyphosat sowie die Frage nach einem effektiven Unkrautmanagement durch alternative, nicht-chemische Verfahren.

Die Manuskripte aller angenommenen Vorträge und Poster wurden nach einer Begutachtung redigiert und in dem vorliegenden Tagungsband zusammengefasst. Die Auswahl der Beiträge, die Zuordnung und Strukturierung der vielfältigen Beiträge sowie die Gestaltung des wissenschaftlichen Programms ist immer wieder eine Herausforderung, die ohne die maßgebliche Mitwirkung des Programmkomitees nicht zu bewerkstelligen gewesen wäre. Daher an dieser Stelle einen ganz herzlichen Dank an die Mitglieder des Programmkomitees für ihre Unterstützung.

Von den Mitgliedern des Programmkomitees kam auch der Vorschlag, aktuelle Themengebiete, die im Rahmen des Vortrags- und Posterprogramms oft nicht ausreichend behandelt werden können, vertiefend zu diskutieren. Daher werden im Rahmen der „Unkrauttagung“ 2016 in Braunschweig erstmals Workshops zu verschiedenen Schwerpunktthemen durchgeführt. Die Workshops werden von jeweiligen Experten inhaltlich vorbereitet und geleitet. Die Diskussionsergebnisse sollen nach der Tagung zusammengefasst und auf der Tagungs-Homepage veröffentlicht werden.

Braunschweig, im Februar 2016

Henning Nordmeyer, Lena Ulber und Peter Zwerger

**Wir danken herzlich für die wissenschaftliche Begutachtung der Tagungsbeiträge durch:
We like to thank all reviewers for their effort:**

Eggers, Thomas, ehemals BBA, Deutschland
Engelke, Thomas, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Nordmeyer, Henning, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Pflanz, Michael, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Rissel, Dagmar, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Schwarz, Jürgen, Julius Kühn-Institut, Kleinmachnow, Deutschland
Söchting, Hans-Peter, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Sölter, Ulrike, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Ulber, Lena, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Verschwele, Arnd, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Zwerger, Peter, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland

Einleitende Referate

Keynote presentations

Zum Nutzen von Artenvielfalt bei Ackerunkräutern für das Unkrautmanagement

About the value of species diversity in arable weeds for weed management

Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät,
Phytomedizin, Satower Str. 48, 18051 Rostock
baerbel.gerowitt@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.001

Zusammenfassung

Ackerunkräuter gehören zur ackerbaulichen Landnutzung – wir definieren diese Pflanzen durch ihre Zugehörigkeit zu dem System. Sie sind daran so stark angepasst, dass sie diese Nutzungsform existenziell brauchen. Ackerunkräuter sind Teil der gesamten Biodiversität auf dem Acker, sie haben als Primärproduzenten wichtige Funktionen. In diesem Text wird nur die Bedeutung von Artenvielfalt bei Unkräutern für das Unkrautmanagement herausgearbeitet.

Ackerbausysteme können dahingehend unterschieden werden, wie viele verschiedene Methoden in ihnen für das vorbeugende und direkte Unkrautmanagement eingesetzt werden. Historische ackerbauliche Nutzungen werden dafür grob in drei Perioden geordnet, die sich durch unterschiedliche Vielfalt hinsichtlich des Unkrautmanagements und auftretenden Ackerunkrautarten unterscheiden.

Eine vielfältige Gestaltung von Ackerbausystemen und Artenvielfalt bei Unkräutern bedingen sich offensichtlich gegenseitig, dies wird in einem einfachen Bild abstrakt skizziert. Anbausysteme, die durch Einfach gekennzeichnet sind, führen zu Dominanzbeständen weniger Arten. Bei überwiegender Nutzung eines Instruments im Unkrautmanagement wird konsequenterweise die genetische Vielfalt in den Dominanzarten genutzt, um eine effektive Ressourcennutzung in diesen Ökosystemen zu gewährleisten. Aktuell sind Herbizide dieses Instrument; herbizidresistente Biotypen in den Unkrautpopulationen sind das Resultat. Artenvielfalt bei Ackerunkräutern als Produktionsziel kann helfen, diese Entwicklungen zu verhindern.

Stichwörter: Ackerbau, Biodiversität, Herbizidresistenz, Kulturgeschichte, Unkrautbekämpfung

Abstract

Arable weeds accompany arable land use – we define them based on their affiliation to arable systems. They are adapted to such a degree that most of them cannot exist without arable land use. Weeds are part of the total biodiversity on arable fields, as primary producers they are basic for important functions within the ecosystem. This paper elaborates the relevance of species diversity in arable weeds for their management.

Arable systems can be regarded for the number of different methods for preventive and direct weed control which are realized. Historical arable land use is roughly divided into three periods, which differ concerning the diversity of weed management and the occurring diversity in weed species.

Obviously divers weed management in arable systems and diversity in weed species depend on each other, this is illustrated with a simple abstract picture. Arable systems, which are characterised by simpleness, favor the domination of few species which ensure an effective use of the resources within the ecosystem. One consequence under continuous pressure of an overused tool in weed management is that the genetic diversity within a dominating weed population is exploited to ensure this resource use. Current herbicides represent this tool – the results are herbicide resistant biotypes within the weed populations. Species diversity in arable weeds as a rationale within arable production can assist to prevent this development.

Keywords: Arable cropping, biodiversity, herbicide resistance, land use history, weed control

Einleitung

Terrestrische Standorte, die durch menschliche Störungen und Eingriffe gekennzeichnet sind, werden von Ackerunkräutern besiedelt. Ackerunkräuter sind also keine festgelegte Taxa, sondern

wir definieren sie über das System, in dem sie vorkommen. Gemeinsam ist den Arten der Ackerunkräuter, dass sie wiederkehrende Eingriffe durch Bodenbearbeitung und Ernte von Kulturpflanzen gut ertragen können, ja sogar benötigen (SCHOLZ, 1996). Mit diesen Eingriffen geht eine möglichst vollständige Entfernung des lebenden Pflanzenmaterials einher, so dass theoretisch immer wieder die Ausgangsbedingungen entstehen könnten. ELLENBERG (1950) bezeichnet Ackerunkrautgemeinschaften denn auch als „Dauer-Pioniergemeinschaften“. Zusammen mit den angebauten Kulturpflanzen sind Ackerunkräuter die Primärproduzenten und bilden somit die Basis für Nahrungsnetze am Standort Acker.

In mindestens zwei wissenschaftlichen Herangehensweisen nehmen Ackerunkräuter eine zentrale Stelle ein: Eine eher botanische geprägte Sichtweise wird in Disziplinen wie Vegetationskunde und Pflanzensoziologie gepflegt, während die Unkrautforschung für eine agronomisch geprägte Sicht steht. Verlängert man die wissenschaftlichen Herangehensweisen in praktische Implementierungen, gehört zur erstgenannten Sicht der Natur- und Landschaftsschutz und zur zweitgenannten die Unkrautbekämpfung.

Unkrautgemeinschaften auf dem Acker werden durch die vorkommenden Arten geprägt. Das Ziel Artenvielfalt also viele Arten zu haben, ist meistens mit dem Blickwinkel des Natur- und Landschaftsschutzes verbunden und wenig mit dem der Unkrautbekämpfung. Ein nachhaltiges Unkrautmanagement im Ackerbau ist definiertes Ziel der Politik (BMEL, 2013) - entsprechende Maßnahmen müssen langfristig in die Praxis eingebracht werden. Dieser Beitrag setzt sich damit auseinander, ob ein Nutzen von Artenvielfalt bei Ackerunkräutern auch für Fragen des Unkrautmanagements umrissen werden kann.

Dazu werden zunächst einige Begriffe geklärt. Nach einem kurzen historischen Rückblick zum Zusammenhang von Unkrautmanagement im Ackerbau und Artenvielfalt wird ein einfaches Bild des Wirkungsgefüges gewagt, das auch hilft, aktuelle Entwicklungen zu beleuchten.

Biodiversität, Diversität, Artenvielfalt

Der Begriff Biodiversität steht für die Vielfalt von Genen, Arten und Lebensräumen (MEA, 2005). Biodiversität als Oberbegriff integriert vor allem Funktionen innerhalb der betrachteten Systeme. Es handelt sich dabei um Funktionen wie die Bereitstellung von Nahrung und Wasser (*provisioning*), die Regulation von Stoffkreisläufen, Nahrungsnetzen und Kalamitäten (*regulating*), das Angebot von immateriellen und kulturellen Gütern wie Erholung und Ästhetik (*edifying*) sowie die Unterstützungsleistungen des Systems z. B. bei der Primärproduktion und der Bodenbildung (*supporting*). Studien konnten einen positiven Zusammenhang von Artenzahl und einem besseren Funktionieren bzw. einer höheren Produktivität von Ökosystemen nachweisen (siehe z. B. HOOPER, et al., 2005). Obwohl äußerst interessant für den Standort Acker und den besiedelnden Ackerunkräutern und mit einigen Beispielen belegt (BURKLE und ALARCÓN, 2011; CABALLERO-LOPEZ et al., 2010; EVANS et al., 2010; MARSHALL et al., 2003), adressiert dieser Beitrag nicht die gesamte Ebene der Biodiversität im Acker.

Hier wird die Ebene der Pflanzenarten und Biotypen betrachtet, das heißt, es geht „nur“ um Diversität bei Ackerunkräutern auf Art- und genetischer Ebene. Diversität bedeutet „Anders-Sein“ und wird häufig in Form von Indices, Ähnlichkeitskoeffizienten oder dem Gegenteil, Nicht-Ähnlichkeitskoeffizienten ausgedrückt. Artenvielfalt fokussiert die Artebene. Dabei kann es schlicht um die Anzahl an verschiedenen Arten gehen, unabhängig davon, welche dies sind und in welchen Dimensionen sie auftreten. Hier unterscheidet man α -, β - und γ -Diversität. α ist die Artenzahl einer einzelnen Parzelle oder eines Feldes. γ ist die Summe aller Arten einer Landschaft, Gemarkung oder Region. Die β -Diversität steht für die Arten, mit denen sich innerhalb der γ -Diversität die α -Diversität einer Fläche von der einer anderen unterscheidet. Eine vielfältige Landschaft verfügt in der Regel über höhere β - und γ -Diversitäten als eine einseitige – auch bei Ackerunkräutern (GABRIEL et al., 2005).

Insbesondere die Methoden um Ähnlichkeiten oder eben Nicht-Ähnlichkeiten haben auch eine außerordentliche Bedeutung erlangt, wenn es darum geht, die großen Datenmengen zur Diversität innerhalb von Populationen, die mit Hilfe von genetischen Markern erzeugt werden können, zu verarbeiten und zu ordnen (SLOTTA, 2008).

Hinter den Artenzahlen stehen natürlich konkrete Arten, die in wissenschaftlich dokumentierten Fällen in der Regel auch erfasst sind. Das sind Listen, in denen die Arten identifiziert sind, meistens mit der zusätzlichen Information, mit welchen Dimensionen (Mengen, Dichten, Deckungsgrade, Biomasse) sie vorkommen. Pflanzensoziologie ist die klassische Wissenschaft, die Muster in diesen Listen sucht und damit das gemeinsame Auftreten von Arten und Mengen in pflanzensoziologischen Einheiten ordnet (BRAUN-BLANQUET, 1951). Die daraus entstehende Systematik ist einerseits komplex, andererseits in ihren Prinzipien flexibel, da sie auf Änderungen reagieren muss. Daneben schreiten die Methoden der statistisch-explorativen, multivariaten Verfahren für die Auswertung von Artenlisten aus Vegetationsaufnahmen von Ackerunkräutern voran und ermöglichen es, mehr quantitative Informationen aus ihnen zu ziehen (HANZLIK und GEROWITT, 2016).

Artenvielfalt bei Unkräutern ist bisher kein agrarisches Ziel oder Konzept. Andererseits sind gerade ackerbauliche genutzte Ökosysteme Objekt vieler Untersuchungen zum Thema Unkrautartenvielfalt. Es überwiegt allerdings perspektivisch die Sicht darauf, wie wenig moderner Ackerbau mit dem Ziel Artenvielfalt in Einklang zu bringen ist (BAESSLER und KLOTZ, 2006; STORKEY und WESTBURY, 2007; MEYER et al., 2012, u.v.a.m.).

Unterhalb der Vielfalt der Arten adressiert Diversität auch die genetische Vielfalt innerhalb von Arten. Innerartliche Diversität spielt in der Nutzpflanzenkunde eine große Rolle, ist sie doch Basis für alle züchterische Arbeit. Genetische Diversität in Ackerunkrautarten wurde für sexuell reproduzierende Arten als logisch und notwendig vorausgesetzt und beschrieben (STEWART et al., 2009), mit einzelnen Merkmalsausprägungen haben sich in der Vergangenheit weder der Naturschutz noch die Unkrautforschung besonders herausgehoben beschäftigt. Dies hat sich in jüngerer Zeit fundamental geändert. Im Naturschutz klären Arbeiten zur genetischen Diversität zunehmend die Schutzperspektiven ausgewählter Arten (PETIT et al., 2015). Aus agronomischer Perspektive hat die Detektion genotypischer Ausprägungen, die spontane Resistenz gegenüber Herbiziden innerhalb von Unkrautpopulationen ermöglichen, inzwischen einen überragenden wissenschaftlichen Stellenwert erreicht (DELYE et al., 2010; POWELS and YU, 2010).

Ackerbau „heute“ „gestern“ „vor-gestern“

Auf den ersten Blick sind im Ackerbau die meistens einjährig wiederkehrenden, fundamentalen Ereignisse über die Zeiten gleichgeblieben: Die Vegetation wird weitgehend entfernt, der Boden wird bearbeitet, eine neue, kurzlebige Vegetation etabliert sich. Im Detail haben sich aber sowohl die Vorzüglichkeit bestimmter Kulturpflanzen, die fundamentalen Eingriffe am Beginn und Ende der Anbauperiode, vor allem aber auch die Maßnahmen dazwischen geändert. Daraus resultieren Veränderungen im Ackerbau welche die zeitliche Abfolge von Kulturpflanzen, die Bearbeitung der Böden, die Führung der Kulturpflanzenbestände, die Methoden der Unkrautkontrolle sowie Ernte und Produktmanagement betreffen.

Ein für diesen konzeptionellen Aufsatz ausreichendes Referenzstadium für „gestern“ ist mit der Zeit nach der Auflösung des mittelalterlichen Flurzwangs, der Besommerung der Brache mit neuen Kulturpflanzen aber vor der Verfügbarkeit von herbiziden Wirkstoffen zur chemischen Unkrautbekämpfung genügend genau beschrieben. Die Kontrolle von Ackerunkräutern hatte einen hohen Stellenwert und bestimmte sehr stark die Gestaltung der Ackerbausysteme, es wurden so viele verfügbare präventive, ackerbauliche Maßnahmen wie möglich genutzt, um Ertragsverluste durch Unkräuter so gering wie möglich zu halten. Dieser Ackerbau war aber keinesfalls extensiv im genauen Sinne. Durch eine ausgeklügelte Fruchtfolge und viel Aufwand an Arbeitsenergie wurde der Acker mit vielen Fruchtarten und viel Bodenbearbeitung intensiv genutzt. Für Arbeiten, die sich mit Ackerunkräutern aus Sicht des Natur- und Artenschutzes

beschäftigen, ist dieser Zeitraum in der Regel Referenzzeitraum, weil die Artenvielfalt auf dem Acker ihren Höhepunkt erreicht hatte. Die Disziplin der Pflanzensoziologie hat, bedingt durch die außerordentliche Vielfalt der Ackerunkrautarten und der Gesellschaften die sie bilden, ihre Blütezeit und wissenschaftliche Berechtigung in dieser Zeit erlangt.

Ein Blick auf den Ackerbau „vorgestern“, gemeint ist hiermit die mittelalterliche Dreifelderwirtschaft mit wenigen Früchten, weniger intensiver Bodenbearbeitung und bedingt durch den Flurzwang auch wenig individueller betrieblicher Variation in der Ausgestaltung der Ackerbausysteme, zeigt ein anderes Bild. Die Verunkrautungen, die daraus resultierten, waren geprägt durch mehrjährige und wenige annuelle einheimische Arten – insgesamt waren sie eher artenarm (BURRICHTER et al., 1993).

Auch Ackerbau „heute“ ist wieder gekennzeichnet durch wenige Fruchtarten und auch weniger intensive Bodenbearbeitung. Hinzu gekommen sind allerdings die deutlich effizienteren Methoden der direkten Bekämpfung von Unkräutern (SALESBURY, 1961).

Eine nicht zu übersehende Rolle in der Entwicklung der Artenvielfalt bei Ackerunkräutern spielt die Zuwanderung von Arten und die Co-Evolution mit den Kulturpflanzen (SCHOLZ, 1996). Alle grob abgegrenzten drei Perioden waren dadurch gekennzeichnet. Nicht zuletzt trug die Einwanderung von Arten zu Höhepunkten der Artenvielfalt bei (KÜSTER, 1994).

Dieser kurze Rückblick hat nicht die Intention, „gestern“ oder „vorgestern“ in irgendeiner Form zu glorifizieren – es gibt genügend gute Gründe, das „heute“ wertzuschätzen. Aber das darf natürlich nicht davon abhalten, aus zurückliegenden Entwicklungen Erkenntnisse abzuleiten und zu lernen.

Einfalt im Ackerbau erzeugt Einfalt auf dem Acker

Ein abstraktes Bild hilft, die offensichtlichen Zusammenhänge zwischen der Vielfalt ackerbaulicher Methoden und der Artenvielfalt bei den Ackerunkräutern zu ordnen: Landwirte verfügen über die verschiedensten Werkzeuge, um Äcker zu bewirtschaften: Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Bestandsetablierung, –führung und –schutz der verschiedenen Kulturpflanzen. Nicht immer intendiert, wirken sich alle auch auf die Unkräuter am Standort aus. Sie können Unkräuter eher fördern oder eher unterdrücken. Der Begriff „cultural control“ fasst solche Maßnahmen zusammen, die der Unterdrückung dienen. Hinzu kommen Werkzeuge zur direkten Bekämpfung der Unkräuter: Chemische, mechanische und biologische Bekämpfung. Landwirte kombinieren Maßnahmen aus dieser „Werkzeugkiste“, um am konkreten Standort ihre Ackerbausysteme zu gestalten – nicht vollkommen beliebig, aber doch in sehr vielen Kombinationen.

Dieser „Kultur-Werkzeugkiste“ der Landwirte gegenüber stehend kann man sich eine „Natur-Werkzeugkiste“ vorstellen – sie enthält die an dem Standort und in der Landschaft möglichen Ackerunkrautarten. Auch hieraus können die enthaltenen Teile in ganz verschiedenen Kombinationen zum Einsatz kommen.

Die Geschichte des Ackerbau und der ihn begleitenden Unkräuter zeigt, dass die beiden „Werkzeugkisten“ zusammenhängen. Vielfalt bei den eingesetzten ackerbaulichen Maßnahmen bedingt offensichtlich Vielfalt bei den Ackerunkrautarten. Auf Einfalt bei der Nutzung der zur Verfügung stehenden Maßnahmen reagieren auch die Ackerunkrautarten mit Einfalt – dies zeigt sich z. B. in Dominanzbeständen weniger Problemunkräuter. Die Ursachen von Einfalt bei den Ackerunkrautarten liegen darin, dass durch Einfalt geprägte Anbausystems nur für sehr wenige Arten zuträglich sind. Gleichzeitig sind wichtige Ressourcen wie Nährstoffe und Wasser nicht knapp, die wenigen Arten sind dadurch in der Lage, individuenreiche Populationen aufzubauen.

Einfalt in den Ackerbausystemen, wie sie heute vorherrscht, wurde möglich weil die Unkrautbekämpfung effizient mit Herbiziden erledigt werden kann. In unserem oben entwickelten Bild kommt dadurch ein Werkzeug der Landwirte sehr stark zum Einsatz (chemische Bekämpfung) während andere immer weniger (Bodenbearbeitung, Fruchtfolge) oder gar nicht mehr genutzt werden (mechanische Bekämpfung). Aus der „Natur-Werkzeugkiste“ kommen entsprechend der Übernutzung eines Werkzeugs seitens der Landwirte auch nur noch daran angepasste

Unkrautarten zum Einsatz. Dies würde für jedes der Werkzeuge eintreten, aktuell ist eben nur das besonders stark eingesetzte Werkzeug die chemische Unkrautbekämpfung. Es zeigt sich inzwischen auch ganz klar, dass in der „Natur-Werkzeugkiste“ nicht nur die Unkrautarten zur Verfügung stehen, bei anhaltender Übernutzung eines Kultur-Werkzeugs kommt die Variation innerhalb der Arten zum Tragen. Wenige oder sogar nur eine gut angepasste Art mit großer Population sichert die im Ökosystem vorgesehene Ressourcennutzung dann eben durch Biotypen, entstanden durch Mutation neuer Typen oder zunehmend durch Selektion aus vorhandener Variation, welche an die einfältigen Bewirtschaftungen angepasst sind. Solche Unkrautvorkommen, die resistent gegenüber einem oder mehreren herbiziden Wirkstoffen sind, nehmen weltweit, in Europa und in Deutschland zu (POWLES und YU, 2010).

Artenvielfalt bei Ackerunkräutern als ein Ziel des Unkrautmanagements?

Es besteht also durchaus ein Nutzen von Artenvielfalt bei Ackerunkräutern für das Unkrautmanagement. Nur diese Gruppe von Pflanzen erträgt die Besonderheiten des Ackerbaus. Ihre Lebensbedingungen werden bestimmt durch den Anbau der Kulturpflanzen. So sehr sich Landwirte, z. B. mit Hilfe von Herbiziden anstrengen, auf ackerbaulich genutzten Flächen nur Kulturpflanzen zu haben, so sehr „strengt“ sich das Ökosystem an, dass auch andere Pflanzen da sind, um Ressourcen zu teilen oder überschüssige zu nutzen. Dies zu sichern, gelingt offensichtlich auch mit sehr wenigen Arten bzw. deren Biotypen, die ihrerseits allerdings die Handhabbarkeit der Verunkrautung mit Herbiziden immer mehr herausfordern und in letzter Konsequenz in Frage stellen könnten.

Aus Sicht des Unkrautmanagements liegt der Nutzen in der Vielfalt an sich - anders als im Naturschutz geht es nicht um einzelne Arten. Es werden also nicht explizit seltene, geschützte Arten fokussiert, wichtig ist allein, dass es viele sind, die vorkommen. Viele Unkrautarten auf dem Acker haben zu wollen, bedeutet auch nicht automatisch, viele Unkräuter haben zu müssen. Ackerbauern sollten ihre Technologien, ihr Können und ihre Kreativität einsetzen, um viele Arten mit wenigen Individuen zu haben. Es geht also weder um Artenschutz noch um massiv verunkrautete Äcker – Vielfalt kann einfach helfen zu verhindern, dass einzelne Arten stark zunehmen und dominieren. Aus großen Populationen einer Art lassen sich nämlich wesentlich effektiver Anpassungen selektieren - dies kann jeder Pflanzenzüchter bestätigen. Deswegen ist die Strategie, vielfältige Anbausysteme zu etablieren, darin die Unkräuter aber möglichst vollkommen mit Herbiziden zu bekämpfen, zwar ein Schritt in die richtige Richtung, für den langfristigen Erfolg bedarf es aber auch der Unkrautarten. Ackerbauern müssen erkennen, dass sie mit jedem Werkzeug im Anbausystem immer auch die Unkrautarten mit ihren Samenbanken bewirtschaften. Herbizide gehören selbstverständlich weiterhin zu den Werkzeugen im Koffer der Landwirte. Ihr Einsatz sollte so selten wie möglich sein und immer sorgfältig abgewogen werden; sie sollten möglichst selektiv wirken und - wie beim Resistenzmanagement einer Art - sollten möglichst viele Wirkstoffwechsel eingeplant werden. Ziel muss sein, verschiedenen Unkrautarten gelegentlich Samenbildung zu ermöglichen. Breit wirksame Herbizide auf der Basis von Wirkstoffmischungen, wie sie in der Zulassung heute dominieren, sind nicht geeignet, um das Ziel Unkrautartenvielfalt im Anbausystem zu erreichen.

Literatur

- Baessler, C. und S. Klotz, 2006: Effects of changes in agricultural land-use on landscape structures and arable weed vegetation over the last 50 years. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 115, 43-50.
- BMVL 2013: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.
- Braun-Blanquet, J., 1951: *Pflanzensoziologie*. 2. Aufl. Wien.
- Burkle, L.A. und R. Alarcón, 2011: The future of plant-pollinator diversity: understanding interaction networks across time, space, and global change. *American Journal of Botany* 98, 528–538.
- Burricher, E., J. Hüppe und R. Pott, 1993: Agrarwirtschaftlich bedingte Vegetationsbereicherung und -verarmung in historischer Sicht. *Phytocoenologia* 23, 427-447.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- CABALLERO-LOPEZ, B., J.M. BLANCO-MORENO, N. PÉREZ, J. PUJADE-VILLARA, D. VENTURA, F. OLIVA, und F.X. SANS, 2010: A functional approach to assessing plant–arthropod interaction in winter wheat. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137, 288–293.
- DÉLYE, C., J.A. CLÉMENT, F. PERNIN, B. CHAUVEL und V. LECORRE, 2010: High gene flow promotes the genetic homogeneity of arable weed populations at the landscape level. *Basic and Applied Ecology* 11, 504–512.
- ELLENBERG, H., 1950: Unkrautgemeinschaften als Zeiger für Klima und Boden. *Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie*. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- EVANS, D.M., M.J.O. POCKOCK, J. BROOKS und J. MEMMOTT, 2011: Seeds in farmland food-webs: Resource importance, distribution and the impacts of farm management. *Biological Conservation* 144, 2941–2950.
- GABRIEL, D., C. THIES und T. TSCHARNTKE 2005: Local diversity of arable weeds increases with landscape complexity. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 7, 85–93.
- HANZLIK, K. und B. GEROWITT, 2016: Methods to conduct and analyze weed surveys in arable farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development* (in press).
- HOOPER, D.U., F.S. CHAPIN III, J.J. EWEL, A. HECTOR, P. INCHAUSTI, S. LAVOREL, J.H. LAWTON, D.M. LODGE, M. LOREAU, S. NAEEM, B. SCHMID, H. SETÁLÁ, A. J. SYMSTAD, J. VANDERMEER und D. A. WARDL, 2005: Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75, 3–35.
- KÜSTER, H., 1994: Die Geschichte einiger Ackerunkräuter seit der Jungsteinzeit. In: W. Schumacher (Hrsg.) *Flora und Fauna der Äcker und Weinberge*. *Aus Liebe zur Natur* 5, Hamburg, 29–35.
- MARSHALL, E. J. P., V.K. BROWN, N.D. BOATMAN, P.J.W. LUTMAN, G.R. SQUIRE und L.K. WARD, 2003: The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research* 43, 77–89.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) 2005: *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*. Edited by: Hassan, R., R. Scholes und N. Ash, Island Press.
- MEYER, S., K. WESCHE, B. KRAUSE und C. LEUSCHNER, 2013: Dramatic losses of specialist arable plants in Central Germany since the 1950s/60s – a cross-regional analysis. *Diversity and Distribution* 19, 1175–1187.
- PETIT, C., H. ARNAL und H. DARMENCY, 2015: Effects of fragmentation and population size on the genetic diversity of *Centaurea cyanus* (Asteraceae) populations. *Plant Ecology and Evolution* 148, 191–198.
- POWLES, S.B. und Q. YU, 2010: Evolution in action: Plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology* 61, 317–347.
- SALESBURY, E.J. 1961: The weed flora of the past and diminishing species. *Weeds and aliens* (ed. by E.J. Salesbury), pp. 24–80. Collins, London.
- SCHOLZ, H., 1996: Ursprung und Evolution obligatorischer Unkräuter. *Schriften zu Genetischen Ressourcen* 4, 109 – 130.
- SLOTTA, T.A.B, 2008: What we know about weeds: insights from genetic markers. *Weed Science* 56, 322–326.
- STEWART, N.C. JR., J. PATRICK, P.J. TRANEL, D.P. HORVATH, J.V. ANDERSON, L.H. RIESEBERG, J.H. WESTWOOD, C.A. MALLORY-SMITH, M.L. ZAPIOLA und K.M. DLUGOSCH, 2009: Evolution of Weediness and Invasiveness: Charting the Course for Weed Genomics. *Weed Science* 57, 451–462.
- STORKEY, J. und D.B. WESTBURY, 2007: Managing arable weeds for biodiversity. *Pest Management Science* 63, 517–523.

Unkrautkontrolle in Not – können in Zukunft noch alle Unkräuter mit Herbiziden kontrolliert werden?

Weed control in distress – can all weeds still be controlled with herbicides in future?

Hans G. Drobny

hans.g.drobny@online.de

DOI 10.5073/jka.2016.452.002



Zusammenfassung

Die Einführung und Verfügbarkeit hochwirksamer und selektiver Herbizide in allen wichtigen Ackerbaukulturen in den letzten Jahrzehnten ermöglichte die Vereinfachung und Kostenersparnis bei Fruchtfolgen und ackerbaulichen Maßnahmen. Dies führte zur Etablierung entsprechend angepasster Unkrautpopulationen, und zunehmend auch zur Selektion resistenter Populationen. Seit der Einführung der ALS-Hemmer (ab 1985) und der 4-HPPD-Hemmer (2001) wurden keine neuen Wirkstoffklassen mehr registriert und es befinden sich keine im formellen Registrierungsprozess. Etliche etablierte Herbizide bekamen keine EU-Zulassung oder Wieder-Zulassung oder wurden in ihren Einsatzmöglichkeiten stark eingeschränkt. Die Kosten und das Risiko für die Entwicklung und Registrierung eines neuen selektiven Herbizid-Wirkstoffs in der EU sind durch das vorhandene Marktpotential in vielen Kulturen nicht mehr gerechtfertigt. Auf Problemstandorten mit resistenten Populationen müssen daher entsprechend ackerbauliche Maßnahmen geändert werden, wie Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Saattermin etc., vorbeugend auch auf „normalen“ Standorten, und die Beratungsinstitutionen müssen, neben dem Herbizid-Management, diese Aspekte stärker in ihre Empfehlungen einbauen.

Stichwörter: Ackerbauliche Maßnahmen, EU-Registrierung, Herbizid-Resistenz

Abstract

The introduction and availability of highly active and selective herbicides in all important field crops, in the last decades, enabled the simplification and money saving in crop rotations and agronomic measures. This resulted in respective specialized and adapted weed populations, and consequently an increasing selection of resistant populations. Since the introduction of the ALS-inhibitors (starting 1985) and the 4-HPPD-inhibitors (2001), no new MoA-Classes were registered, and there are none in the registration process. Several established herbicides were not registered or re-registered in the EU, or were severely restricted in their application. The cost and the risk to develop and register a new selective herbicide in the EU are hardly justified, in relation to their market potential. The only solution on problem fields, with resistant populations, is to change the agronomic practices, like crop rotation, soil tillage, seeding time, etc., as a precautionary principle also on still „normal“ fields. The different advising institutions have to integrate these aspects into their recommendations, besides the proper herbicide management.

Keywords: Agronomic tools, EU-registration, herbicide resistance

Entwicklung - Ackerbau und Herbizide

Die Entdeckung und die Einführung hochwirksamer und selektiver Herbizide in allen wichtigen Ackerbaukulturen ermöglichte die Vereinfachung der Fruchtfolgen und der ackerbaulichen Maßnahmen. Meilensteine waren die Einführung der „Wuchsstoffe“ (HRAC O) in den 1950er Jahren im Getreidebau, das Atrazin im Mais (1968) und das Metamitron in Zuckerrüben (1977); IPU im Getreide (1970) und Pendimethalin (1975) in Gerste, beide mit Gräserwirkung, ermöglichten den verstärkten Anbau von Wintergetreide, wobei ab 1989 durch das Fenoxaprop-P (ACCCase-Hemmer, HRAC A) auch noch starke Besätze an Ackerfuchsschwanz sicher bekämpft werden konnten. Der erste Sulfonylharnstoff (ALS-Hemmer, HRAC B) wurde 1985 eingeführt (DROBNY, 1984), gefolgt von 14 weiteren Wirkstoffen dieser Klasse in verschiedenen Kulturen (Getreide, Mais, Rüben, Kartoffeln). Diese setzten durch die drastisch reduzierten Aufwandmengen einen neuen Standard im Bereich der Herbizide (DROBNY et al., 2012). Mit dem Mesotrione wurde 2001 der erste Vertreter der 4-HPPD-Hemmer (HRAC F2) im Mais eingeführt. Seitdem gab es keine Wirkstoffe von neuen Wirkstoffklassen mehr. Parallel dazu entwickelte sich der Ackerbau zu einer immer stärkeren Konzentration auf wenige Kulturen: von den knapp 12 Millionen ha

Ackerbaukulturen in Deutschland (Erntejahr 2015) sind 56 % Getreide (davon > 90 % Wintergetreide), 21,5 % Mais, 11 % Raps. Die restlichen 11,5 % Fläche verteilen sich auf Zuckerrüben (2,4 %), Kartoffeln (2 %) und andere Kulturen (DESTATIS, 2015). Raps und Rüben werden zunehmend in engeren Fruchtfolgen angebaut, und im Getreidebau und bei Mais gibt es zunehmend Gebiete mit Monokulturen. Die minimale Bodenbearbeitung ohne Pflug nimmt weiter zu.

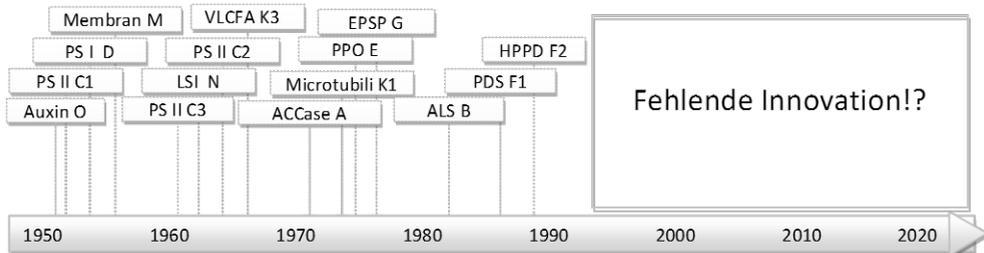


Abb. 1 Einführung wichtiger neuer herbizider Wirkstoffklassen mit HRAC-Code (DROBNY et al., 2012, bearbeitet).

Fig. 1 Introduction of important new herbicidal MoA classes with HRAC code (DROBNY et al., 2012, modified).

Herbizidresistenzen

Nach Meldungen über nachlassende Wirksamkeit einiger Herbizide gegen Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) wurden ab 1999 von DuPont Monitoring Studien in mehreren Ländern Europas durchgeführt, angefangen in England, und ab 2002 auch in Deutschland (DROBNY und CLAUDE, 2004). Gefunden wurden Populationen mit unterschiedlich stark ausgeprägter metabolischer Resistenz, gegen CTU (HRAC C2), Fenoxaprop-P-ethyl und Clodinafop-propargyl (HRAC A), sowie Fluprimsulfuron-methyl und Propoxycarbazon-Na (HRAC B). Die beiden ALS-Hemmer waren betroffen, obwohl sie vorher im Feld noch nicht eingesetzt worden waren. Einzelne Populationen hatten zusätzlich eine Wirkort-Resistenz gegen ACCase-Hemmer (HRAC A). Die betroffenen Standorte in Deutschland waren Marschböden an der Elbe und Bördestandorte in Niedersachsen – mit engen Wintergetreide-Fruchtfolgen, frühen Saatterminen und minimierter Bodenbearbeitung, wie auch in England üblich. In den folgenden Jahren nahm die Anzahl der Standorte mit Resistenzen zu – mit ähnlichen ackerbaulichen Maßnahmen. Zunehmend traten Wirkortresistenzen gegen ACCase-Hemmer auf, und seit 2010 auch gegen ALS-Hemmer. Eine ähnliche Entwicklung erfolgte bei Gemeinem Windhalm (*Apera spica-venti*): hier waren auf Grund der eingesetzten Herbizide nach dem IPU zuerst die ALS-Hemmer betroffen, durch metabolische und Wirkortresistenz (GERHARDS und MASSA, 2012), und nun auch ACCase-Hemmer. Neben diesen beiden Grasarten (PETERSEN, 2014) sind in Deutschland bisher einzelne Standorte bekannt, mit Resistenzen von Dikotylen gegen ALS-Hemmer (ROSENHAUER et al., 2014), sowie ein Standort mit Wirkort-Resistenz von Gemeiner Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) (EWERT et al., 2014). In anderen Ländern Europas gibt es teils weit verbreitete Wirkort-Resistenzen gegen ALS-Hemmer - Beispiele:

Skandinavien: *Stellaria media*, *Chrysanthemum segetum*, u.a.: Sommergetreide-Monokultur, nur/immer ALS-Hemmer eingesetzt.

Italien: *Alisma plantago-aquatica*, *Cyperus difformis*: Reis: Dauer-Monokultur, ständiger Einsatz ALS-Hemmer.

Alle diese Beispiele belegen die zuverlässige Methode der Erzeugung Herbizid-resistenter Unkrautpopulationen:

1. Etablierung dichter Populationen spezifisch angepasster Unkrautarten, durch entsprechende ackerbauliche (pfluglos, früher Saattermin Wintergetreide) und Fruchtfolge-Maßnahmen (Monokultur)

- Einseitiger/ausschließlicher Einsatz spezifischer Herbizidgruppen. Bei Wirkungsverlust die nächste Herbizidgruppe (so lange vorhanden).

Diese Methode wird ebenso weltweit in den transgenen Glyphosate-toleranten Kulturen eingesetzt - mit zunehmendem „Erfolg“ (HEAP, 2015).

Herbizide - bisherige und zukünftige Verfügbarkeit

Mit der Einführung der EU Registrierungsrichtlinie 91/414 kam es zu einer signifikanten Reduzierung der damals verfügbaren Wirkstoffe: neben etlichen Total-Herbiziden (z.B. Bromacil, Hexazinon, Diuron) waren auch betroffen die Triazine (HRAC C1), hier v.a. das Atrazin, sowie die Phenylharnstoffe (HRAC C2). Ersetzt wurden diese Wirkstoffe durch die zwischen 1990 und 2010 neu eingeführten ALS-Hemmer, ACCase-Hemmer und 4-HPPD-Hemmer. Die ersten beiden Gruppen sind zunehmend von Resistenzen betroffen, die letztere kann nur im Mais eingesetzt werden. Im Zuge der EU Re-Registrierung haben im Jahr 2015 die breit eingesetzten Wirkstoffe Ioxynil (HRAC C3) im Getreide und Topramezone (HRAC F2) im Mais ihre Zulassung verloren. Für einige neue Wirkstoffe wurde in der EU keine Registrierung beantragt: Saflufenacil (HRAC E) und Bicycloprone (HRAC F2). Die für ein sinnvolles Resistenzmanagement bei Herbiziden wichtigen „Boden“-Herbizide (IPU, CTU, Flufenacet, Pendimethalin, Clomazone, Metazachlor u.a.) sind in ihren Anwendungsbedingungen und Aufwandmengen teils drastisch eingeschränkt.

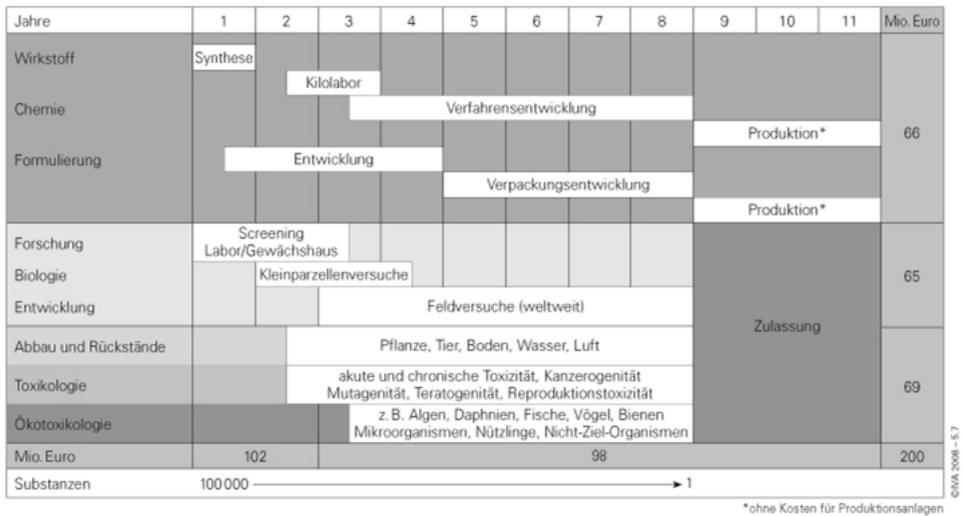


Abb. 2 Entwicklung eines Pflanzenschutzmittels (IVA, 2015).

Fig. 2 Development of a Plant Protection Product (IVA, 2015).

Der Grund, dass es seit nunmehr 15 Jahren, und wohl weitere 10 Jahre, keine neuen Herbizide/Wirkstoffklassen mehr gibt, liegt in dem nötigen Marktpotential für einen Wirkstoff, in Relation zu den Kosten der Forschung, Entwicklung und Registrierung. Im Vergleich zu Fungiziden und Insektiziden ist das Potential eines selektiven Herbizids auf eine oder wenige Kulturen beschränkt. Im weltweiten Maßstab haben etliche der flächenmäßig größten Kulturen, darunter Mais, Soja, Raps und Baumwolle, außerhalb der EU, die transgene Herbizid-Toleranz gegen Glyphosat oder Glufosinat. Die relevanten Flächen innerhalb der EU, für ein selektives Herbizid, liegen bei 50 Mill. ha Getreide, 15 Mill. ha Mais, 6,5 Mill. ha Raps, 4,1 Mill. ha Sonnenblumen, und 1 Mill. ha Zuckerrüben. Die Kosten für die Registrierung eines neuen Wirkstoffs und Produkt liegen bei ca. € 200 Mill. und der Registrierungsprozess dauert ca. 10 Jahre (Abb. 2).

Eine Beispielrechnung für Zuckerrüben (1 Mill. ha x 40 % Marktanteil x € 30 Einnahmen x 50 % Marge) ergäbe nach Erreichen des angestrebten Marktanteils einen Rohgewinn von € 6 Mill./Jahr, welcher die nötigen Investitionen und das damit verbundene Risiko in keiner Weise rechtfertigt. Ein weiterer wichtiger Risikobereich ergibt sich aus den Anforderungen für moderne zulassungsfähige Pflanzenschutzmittel: Keine Auswirkungen auf andere Organismen impliziert einen sehr spezifischen Wirkmechanismus, welcher prinzipiell anfällig für Wirkort-Resistenzen ist; der rasche Abbau in der Umwelt/Boden impliziert prinzipielle Anfälligkeit gegen metabolische Resistenzen. Dazu läuft der Patentschutz ca. 5-7 Jahre nach Erreichen des Marktpotenzials aus. Vergleichbare Berechnungen für Raps und Mais ergäben ca. € 20 oder 30 Mill./Jahr Rohgewinn. Bei Getreide hängt es von den entsprechenden Segmenten ab: Gräser, Dikotyle, Herbst/Frühjahr: es rechnet sich kaum!

Das weltweit zunehmende Auftreten von Unkrautpopulationen mit Resistenz gegen Glyphosat in den entsprechenden Kulturen (HEAP, 2015) führt mittlerweile zu zusätzlichen Marktpotentialen für neue selektive Herbizide. Die Industrie reagiert darauf mit erneutem Fokus und Investition in die Herbizidforschung (z.B. BAYER CROPSCIENCE, 2015), aber der Prozess wird viele Jahre in Anspruch nehmen.

Gegenwart und Zukunft der Unkrautkontrolle

Die Gegenwart der Unkrautkontrolle in Ackerbaukulturen durch Herbizide hat in einigen Gebieten bereits die Grenze erreicht: die Hauptungräser, v.a. Ackerfuchsschwanz, können durch vorhandene Herbizide auf Grund von Resistenzen nicht mehr bekämpft werden. Der Wegfall weiterer Herbizide, die Einführung neuer Technologien (z.B. ALS-tolerante Kulturen) und neue Produkte im Bereich der ALS-Hemmer, wird den Selektionsdruck noch weiter erhöhen.

Die ackerbaulichen Faktoren müssen entsprechend spezifisch angepasst und verändert werden, v.a. auch vorbeugend auf Risikoflächen. Hierzu dient in erster Linie die Fruchtfolge (Wechsel von Winter- und Sommerkulturen), die Bodenbearbeitung (wendend/Pflug), der Saattermin (LANDSCHREIBER, 2014), „falsche“ Saatbettbereitung für Ungräser, mechanische Bekämpfung.

Zusätzlich muss der Herbizideinsatz optimiert werden: Prinzipieller Einsatz der weniger gefährdeten Wirkmechanismen (noch verfügbare unterschiedliche Bodenherbizide) mit optimalem Wirkungsgrad (volle Aufwandmenge, Mischung mit blattaktiven Wirkstoffen), und Wechsel der gefährdeten Wirkmechanismen (HRAC A und B) in der Fruchtfolge. Gezielter Einsatz spezifischer alternativer Wirkstoffe/Wirkmechanismen in den entsprechenden Kulturen: Clomazone (HRAC F4) und Propyzamid (HRAC K1) im Raps, 4-HPPD-inhibitoren (HRAC F2) im Mais, Prosulfocarb (HRAC N) im Getreide. Jeweils mind. 2 Wirkstoffklassen/Fruchtfolgeglied gegen Problemunkräuter einsetzen.

Die gezielte schlagspezifische Integration verschiedener ackerbaulicher Maßnahmen, mit entsprechendem Herbizideinsatz, ist eine Herausforderung für die bestehenden Beratungsinstitutionen. Die Industrieberatung muss verstärkt auf Kombinationen/Empfehlungen mit komplementären Wirkstoffen anderer Firmen Wert legen, die Privatberatung muss von ihren typischen „Kosten sparen“-Empfehlungen stark reduzierter Aufwandmengen Abstand nehmen, und die amtliche Beratung muss von vermeintlichen Kostenreduktionen und Schlagwörtern Abstand nehmen. Alle müssen spezifisch ackerbauliche Empfehlungen integrieren, auch in ihre entsprechenden Versuche – sonst können jetzt und in Zukunft nicht mehr alle Unkräuter kontrolliert werden!

Danksagung

Ich bedanke mich bei allen Kollegen und Mitgliedern der herbologischen Gremien und Arbeitskreise für die langjährige konstruktive Zusammenarbeit.

Literatur

- BAYER CROPSCIENCE, 2015: <http://www.cropscience.bayer.com/en/Media/Press-Releases/2015/Bayer-CropScience-Grains-Research-Development-Corporation-discover-innovative-control-solutions.aspx>.
- DESTATIS, 2015: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/FeldfruechteGruenland/AnbauflaecheFeldfruechte.html>. Zugriff 25. November 2015.
- DROBNY, H.G., 1984: DPX-T6376 – ein neues Herbizid für den Getreidebau. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft **X**, 305-309.
- 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. SCHULTE und H.J. STREK, 2012: 25 Jahre Sulfonylharnstoff-Herbizide – ein paar Gramm veränderten die Welt der chemischen Unkrautbekämpfung. Julius-Kühn-Archiv **434**, 21-33.
- EWERT, K., G. SCHRÖDER, E. MEINSMIDT und E. BERGMANN, 2014: Neue Unkrautbekämpfungsstrategien im Mais unter Beachtung enger Maisfruchtfolgen, zunehmender ALS-Resistenzen bei typischen Unkräutern und wirkstoffspezifischer Applikationseinschränkungen. Julius-Kühn-Archiv **443**, 621-634.
- HEAP, I., 2015: International survey of herbicide resistant weeds. Available www.weedscience.org. Accessed Oct. 21, 2015.
- IVA, 2015: Innovative Pflanzenschutzmittel: Bessere Wirkung, mehr Sicherheit. www.iva.de. Zugriff: 14. November 2015.
- LANDSCHREIBER, M., 2015: Zweijährige Versuchsergebnisse zur AFU-Bekämpfung in Abhängigkeit von Saatzeitpunkt und WW-Sorte. www.dpg.phytomedizin.org/de/arbeitskreise/herbologie/presentationen-2015.
- PETERSEN, J., 2014: Aktueller Stand der Herbizidresistenzen im Getreidebau. Getreidemagazin **4**, 8-12.
- ROSENHAUER, M., L. ULBER, D. RISSEL und J. PETERSEN, 2015: Resistenzmonitoring ALS-resistenter dikotyler Unkräuter und Hirsearten in Deutschland 2014. www.dpg.phytomedizin.org/de/arbeitskreise/herbologie/presentationen-2015.

Developments in physical weed control in Northwest Europe

Entwicklungen in der mechanischen Unkrautbekämpfung in Nordwest-Europa

Marleen Riemens

Wageningen University and Research Centre, Plant Research International,
6700 AA Wageningen, The Netherlands
marleen.riemens@wur.nl



DOI 10.5073/jka.2016.452.003

Abstract

In North West Europe there is an increasing need for advanced weed control methods. This paper gives an overview of the developments in physical weed control methods. Current innovations in interrow weeding focus on systems that take over the steering function of the driver in order to make them more precise and reduce crop losses. The latest developments in intrarow weeding techniques involve technologies that automatically detect and classify crop and weed plants and use this information to guide a weeding device. Several commercially available examples are presented.

Keywords: Mechanical weeding, physical weed control, thermal weeding

Zusammenfassung

In Nord-Europa besteht ein wachsender Bedarf nach hochentwickelten Unkrautbekämpfungsmöglichkeiten. Dieser Beitrag bietet einen Überblick über die derzeitigen Entwicklungen im Bereich der mechanischen Unkrautbekämpfung. Neue Innovationen im Bereich der Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen der Kulturpflanzen zielen auf eine automatische Steuerung der Geräte ab um die Präzision der Bekämpfung zu erhöhen und Schäden an der Kultur zu vermindern. Im Bereich der mechanischen Unkrautbekämpfung innerhalb der Kulturpflanzenreihe sind in der letzten Zeit unter anderem Technologien entwickelt worden, die eine Detektion der Unkräuter bzw. eine Unterscheidung der Unkräuter von den Kulturpflanzen ermöglichen und diese Informationen an ein Gerät zur mechanischen Bekämpfung weitergeben. Kommerziell erwerbliche Beispiele der jeweiligen Technologie werden in diesem Beitrag vorgestellt.

Stickwörter: Mechanische Unkrautbekämpfung, physikalische Unkrautbekämpfung, thermische Unkrautbekämpfung

Introduction

In North West Europe there is an increasing need for advanced weed control methods. Due to stricter regulations the possibilities to use herbicides have been reduced and the implementation of IPM principles is mandatory (EU Directive 2009/128/EC). This need resulted in the development of advanced physical weed control tactics, of which some have reached the stage of commercially available equipment. This paper gives an overview of the developments in physical weed control methods.

Mechanical control

Weeds can be controlled through mechanical methods that are generally based on three mechanisms: cutting, uprooting and burying weeds. Mechanical weed control methods have a high capacity, are widely applicable and have in general a low cost which makes them attractive. However, they are also not very selective, which can cause severe crop losses in early crop stages. Timing and intensity of the operation determines their selectivity, together with crop and weed species and growth stage. Two main categories can be distinguished: interrow weeding tools and intrarow weeding tools.

Interrow weeding

Interrow weeding with mechanical tools is relatively simple. Most common is the use of tines with hoe blades. However, the method do not distinguish between crop and weed plants and depends on the accuracy of the driver to avoid crop losses. Current innovations in interrow weeding

therefore focus on systems that take over the steering function of the driver. Vision based systems that can follow crop rows while maintaining a high capacity and weed control results are the subject of several developments.

Intrarow weeding

Different implements have been especially designed and manufactured to control weeds in the crop rows. Successful developments are the torsion and finger weeder and a weeder using compressed air (Pneumat). The possibilities for using these weeding machines vary according to crop type, crop growth stage and field and weather conditions and depend on their selectivity. This selectivity is based on differences between weed and crop plants, for example in root anchorage forces, leaf area and/or plant height.

A new development for intrarow weeding is the use of technologies that automatically detect and classify crop and weed plants and use this information to guide a weeding device. This increases the selectivity of the weed control and reduces crop injuries. At the moment three robotic weeders are commercially available in Europe: the Garford Robocrop from the UK (www.garford.com), the Steketee IC from the Netherlands (www.steketee.com) and the Robovator from Denmark (www.visionweeding.com). They are all vision based systems that are capable of analysing images real time. The Robocrop has a rotating horizontal disc with a cut-out sector. After the machine vision, the disc is moved into the row in such a way that the cut out sector allows the disc to pass the crop plant and remove the weed plant by cutting or burying. The Steketee IC uses high resolution cameras that recognise crop plants based on shape, colour and location. Weeding takes place with two pneumatically guided hoes.

Another example of a vision based system that is still under development is "Ruud", a machine that uses textural analysis to detect broad-leaved weeds (*Rumex obtusifolius* L.) in grassland, and cuts the dock plant after detection (VAN EVERT et al., 2011).

Thermal weeding

Methods that increase temperatures temporarily (minimum temperatures ranging from 55 to 95 °C, depending on species, and plant parts) can be used as a weeding device (ASCARD et al., 2007). Examples are the use of fire, flaming, infrared radiation, hot water, microwave radiation, ultraviolet radiation, lasers, steam and electrical energy. Commercially, systems based on flaming, hot water and steam are used for weeding in horticulture, greenhouses and on hard surfaces. In general, these methods are energy demanding and have relatively low work rates. The selectivity for thermal weed control depends on the difference in sensitivity to temporary temperature increases between (the larger) crop and (smaller) weed plants. A commercially available selective weed control machine is the Poulsen machine (www.visionweeding.com). This machine uses cameras to detect the crop plants and switches off the flames in their presence. Hoaf Infrared technologies (www.hoaf.nl) manufactures a machine that combines flaming and infrared technologies to control weeds full field or interrow.

Future

New technologies such as vision based recognition and automatic actuation will increase the precision of physical weed control equipment and therefore broaden their possible application window. To be able to replace the current herbicide-based systems with integrated weed management systems, these physical weed control techniques need to be combined with preventive, cultural and breeding techniques.

References

ASCARD, J., P.E. HATCHER, B. MELANDER and M.K. UPADHYAYA, 2007: Chapter 10 Thermal weed control, pp 155-175, in: Non-chemical weed management: principles, concepts and technologies, editors: M.K. UPADHYAYA, R.E. BLACKSHAW, CAB International.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

VAN EVERT, F., J. SAMSOM, G. POLDER, M. VIJN, H-J. VAN DOOREN, A. LAMAKER, G.W.A. VAN DER HEIJDEN, C. KEMPENAAR, T. VAN DER ZALM and L.A.P. LOTZ, 2011: A robot to detect and control broad-leaved dock (*Rumex obtusifolius* L.) in grassland. *Journal of Field Robotics* **28**(2), 264-277.

Sektion 1: Herbizidresistenz

Section 1: Herbicide resistance

Herbicide resistance in German and Swiss *Lolium* spp. populations – resistance factors and cross-resistance spectrum

Herbizidresistenz in Lolium spp. aus Deutschland und der Schweiz – Resistenzfaktoren und Kreuzresistenzmuster

Jan Petersen^{1*}, Fabian Best¹, Hans Raffel²

¹Fachhochschule Bingen, Berlinstr. 109, 55411 Bingen, Germany

²Syngenta GmbH, Am Technologiepark 1-5; 63477 Maintal, Germany

*Korrespondierender Autor, petersen@fh-bingen.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.004

Abstract

In monitoring trials investigating the occurrence and spread of herbicide resistance in German and Swiss *Lolium* populations 26 samples could be included since 2008. Biotypes which showed resistance to post-emergence herbicides were included into a detailed greenhouse trial in 2014. Based on dose-response experiments, resistance factors and cross resistance patterns for cycloxydim, flufenacet, glyphosate, iodosulfuron, meso- and iodosulfuron, pinoxaden and pyroxsulam could be determined. Resistance to ALS as well as ACCase inhibitors was found. In a few cases also resistance to flufenacet could be detected. In contrast, no resistance to glyphosate was discovered. Resistant populations were found in four German federal states (Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen and Schleswig-Holstein). Two populations were resistant to all cereal selective post-emergence herbicides and to flufenacet. Some populations from Switzerland indicated presence of ACCase inhibitor resistance. In the future, more problems with herbicide resistant *Lolium* species as weeds in cereals may arise due to limited amount of available selective herbicides and climatic change with more favourable conditions for *Lolium* spp. as weeds.

Keywords: ALS and ACCase inhibitors, dose-response experiments, flufenacet, glyphosate

Zusammenfassung

In Monitoringversuchen zur Verbreitung der Herbizidresistenz wurden seit 2008 26 *Lolium*-Herkünfte mit Resistenzverdacht aus Deutschland und der Schweiz untersucht. Herkünfte, die sich als resistent erwiesen, wurden in 2014 in einen weiteren Gewächshausversuch eingehender untersucht. Durch Dosis-Wirkungs-Experimente wurden Resistenzfaktoren und Kreuzresistenzmuster für die Wirkstoffe Cycloxydim, Flufenacet, Glyphosat, Iodosulfuron, Meso- + Iodosulfuron, Pinoxaden und Pyroxsulam bestimmt. Resistenzen traten bei ALS- und/oder ACCase-Hemmern auf. Bei einigen Herkünften wurde eine deutliche Resistenz gegen Flufenacet festgestellt. Alle Herkünfte erwiesen sich als sensitiv gegenüber Glyphosat. Resistente Herkünfte kamen aus Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Hessen. Zwei Herkünfte erwiesen sich als besonders widerstandsfähig und konnten durch alle registrierten getreideselektiven Herbizide nicht mehr kontrolliert werden. Einige Herkünfte aus der Schweiz wiesen Resistenzen gegen ACCase-Inhibitoren auf. Mit einer Ausweitung herbizidresistenter *Lolium*-Biotypen muss aufgrund des nur eingeschränkt möglichen Wirkstoffklassenwechsels, der klimatischen Bedingungen und veränderter Ackerbausysteme zukünftig gerechnet werden.

Stichwörter: ALS- and ACCase-Hemmer, Dosis-Wirkungsbeziehungen, Flufenacet, Glyphosat

Introduction

Alopecurus myosuroides and *Apera spica-venti* are the most important grass weeds in cereals of central Europe. Also, the occurrence of herbicide resistance is concentrated in these two species. In rare cases also *Lolium perenne* or *L. multiflorum* do appear as weeds in cereals. However, where *Lolium* is presented, this species often is the most important one due to its strong competitive ability. As a consequence, weed control is focused on *Lolium* spp. on these fields. However, only a

few active ingredients are available for *Lolium* control. Furthermore, genetic variability in the genus *Lolium* is very high. Consequently, *Lolium* species with resistance to several herbicides can be found in many countries all over the world (HEAP, 2015).

In central Europe, *L. perenne* and *L. multiflorum* are grown as a crop for forage or seed production in rotations with other arable crops. Consequently, in these rotations *Lolium* can appear as a weed in subsequently grown cereals. However, beside this, *Lolium* as a weed can also occur in cereal rotations in absence of *Lolium* crops. Reasons for this are unknown but in some regions spread of *Lolium* weeds can be observed. Selective *Lolium* control in cereals with herbicides is possible but only a few active ingredients are available. Consequently, selection pressure can be high and development of resistance is only a question of time.

Between 2008 and 2014, *Lolium* populations suspicious for resistance were sampled in Germany and Switzerland. Seeds were used for a post-emergence herbicide resistance monitoring greenhouse trial. Populations with lower herbicide efficacy were additionally included into dose-response experiments with several herbicides to investigate the resistance factors and cross resistance profiles. Furthermore, some resistant populations were analyzed for potential target-site resistance mutations.

Materials and Methods

Herbicide resistance monitoring

Lolium spp. seeds were sampled in cereal fields where herbicide treatments resulted in inefficient control. In September of the sampling year, seeds were sown in a greenhouse and plants were sprayed with the registered doses of Axial 50, Atlantis WG, Broadway, Focus Ultra and Husar OD (Tab. 2). Growing and spraying conditions were the same as mentioned below for the dose-response trials. 21 days after treatment, herbicide efficacy was assessed in comparison to an untreated control of each population. Efficacy rates were converted into resistant classes according to Table 1.

Tab. 1 Classification of biotypes according to herbicide efficacy.

Tab. 1 Klassifizierung der *Lolium*-Herkünfte nach Herbizidwirkung.

| Resistance class | Upper limit [%] | Lower limit [%] |
|------------------|-----------------|-----------------|
| 0 | 100 | 85 |
| 1 | < 85 | 70 |
| 2 | < 70 | 55 |
| 3 | < 55 | 40 |
| 4 | < 40 | 25 |
| 5 | < 25 | 0 |

Dose-response experiments

All seeds used in the experiments were stored at -20°C before the experiment started. The seeds of resistant populations assessed in the monitoring trials were pre-germinated by sowing them on filter paper saturated with tap water in 18 x 13 x 6 cm plastic boxes and locked with a transparent cover. Those boxes were kept for 7 days at 12-15°C until the radicle was visible and roots of 1 to 8 mm had developed (BBCH 03-05). For all further tests, pre-germinated seeds were used with clearly visible primary root (>2 mm).

As substrate, a sieved and sterilized (4 hours at 70°C) soil (sandy loam, pH-value 6.5, organic matter content ~2%) was used in Jiffy speedy pots (10 cm). A slow-release granular fertilizer (urea, 46% nitrogen) was added to the soil before planting. Five germinated seeds with a root length of 3 to 8 mm were put on the soil surface of every pot and covered with a soil layer of 4 mm. The pots were watered from below when required.

Flufenacet was applied directly after transplanting the seeds. All post-emergence herbicides were sprayed at the 1-2-leaf stage. A lab sprayer (SCHACHTNER nozzle TEE JET 9502EVS, with a water volume of 250 L ha⁻¹, speed of 2.5 km h⁻¹ and a pressure of 250 kPa) was used for herbicide application. Herbicides and dose rates used are given in Table 2.

For each herbicide, rate and population, six replications were conducted. The herbicide doses were 0, 12.5, 25, 50, 100, 200, 400 and 800% of the registered dose (Tab. 2). The trials were performed as randomized complete block design in which the different replications represented the blocks.

Data analyses were performed by a log-logistic model (STREIBIG, 1988). Non-linear regressions were calculated using the PROC NLIN procedure of the SAS system (Version 9.3). Homogeneity of variance was required due to the reciprocal standard deviation. All measurements were converted to relative values of the mean values of the untreated control. Resistance factors (RF) for each biotype and herbicide were calculated as the quotient of the ED₅₀ value of the test population and the mean ED₅₀ value of the three susceptible references.

Tab. 2 Herbicides, active ingredients, concentrations and registered dose rate used in the experiments.

Tab. 2 *Eingesetzte Herbizide, Wirkstoffe, Konzentrationen und maximale Aufwandmenge.*

| Herbicide | Active ingredient | Concentration | Registered rate** |
|-------------------|----------------------|------------------|-------------------|
| Atlantis WG* | meso- & iodosulfuron | 30 + 6 g/kg | 400 g/ha |
| Axial 50 | pinoxaden | 50 g/L | 1.2 l/ha |
| Broadway* | pyrox- & florasulam | 68.3 + 22.8 g/kg | 275 g/ha |
| Cadou SC*** | flufenacet | 500 g/L | 0.5 l/ha |
| Focus Ultra**** | cycloxydim | 100 g/L | 2.5 l/ha |
| Husar OD* | iodosulfuron | 100 g/L | 0.1 l/ha |
| Roundup Ultra Max | glyphosate | 450 g/L | 1.0 l/ha |

*applied with additive Biopower resp. FHS, **registered dose rate in Germany (except Roundup); ***Cadou SC is not registered in Germany for *Lolium* control (but effective); ****2.5 l/ha Focus Ultra registered for annual grass control in oilseed rape

Target-site resistance analysis

For eight populations (Tab. 5) a target-site resistance analysis was conducted. Five single plants which survived herbicide treatment (full rate of pinoxaden, cycloxydim or meso- + iodosulfuron) were sampled 21 days after treatment and plants were dried under greenhouse conditions for five days. Samples were sent to a contract lab. In the lab, individual samples were analysed using the pyrosequencing method for presence of target-site mutations in ALS (Pro-197, Asp-376, Trp-574) resp. ACCase gene (Ile-1781, Trp-2027, Ile-2041, Asp-2078, Gly-2096) according to the findings of BECKIE et al. (2006), BECKIE and TARDIF (2012) and MENEGAT et al. (2015).

Results

Herbicide resistance monitoring

Herbicide resistance monitoring trials could confirm resistance in 18 out of 26 *Lolium* spp. populations. However, in two of these 18 populations, herbicide efficacy was only slightly reduced, perhaps indicating a beginning metabolic-based resistance (Tab. 3). Population R14-802 did not germinate well. Consequently, results should be interpreted carefully. In 14 populations, resistance was quite obvious and ACCase as well as ALS inhibitors were both reduced in efficacy. In populations from Switzerland, only ACCase inhibitors showed resistance in some populations and there was one population (R14-801) which showed only resistance to the ALS inhibitor pyroxsulam. The German populations from Fargau, Thandorf and Penig showed strong resistance

to all or nearly all herbicides tested. Populations which showed resistance and provided enough seeds were included into dose-response experiments.

Tab. 3 Resistant classes of different *Lolium* populations in herbicide resistant monitoring trials 2010 – 2014 (n = 26); (0 = susceptible; 5 = highly resistant – efficacy < 20%).

Tab. 3 Resistenzklassen von *Lolium*-Proben aus Herbizidresistenz-Monitoringversuchen der Jahre 2010-2014 (n = 26); (0 = sensitiv; 5 = hoch resistent - Wirkung < 20 %).

| Year | Lolium - sample | Origin (post code village) | coverage % untreated | pinoxaden | meso- & iodosulfuron | cycloxydim | pyrox- & florasulam | iodosulfuron |
|------|-----------------|------------------------------|----------------------|-----------|----------------------|------------|---------------------|--------------|
| 2010 | We10-802 | 23909 Römnitz (Stubbenteich) | 100 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 2010 | We10-803 | 23909 Römnitz | 98 | 4 | 0 | 3 | 0 | 1 |
| 2011 | R11-002 | CH - 1896 Vouvry | 90 | 0 | 0 | 0 | - | - |
| 2011 | R11-003 | CH - 7205 Zizers | 90 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 2011 | R11-004 | CH - 1433 Champvent | 30 | 5 | 0 | 0 | - | - |
| 2011 | R11-005 | CH - 1418 Vuarrens | 30 | 3 | 0 | 0 | - | - |
| 2011 | R11-006 | CH - 1174 Montherod / Pizy | 90 | 0 | 0 | 0 | - | - |
| 2011 | R11-007 | CH - 1565 Vallon | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2011 | R11-008 | CH - 1299 Crans près Céligny | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2011 | R11-009 | CH - 1286 Soral | 90 | 0 | 0 | 0 | - | - |
| 2011 | R11-010 | CH - 1298 Céligny | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2011 | R11-011 | CH - 1297 Founex | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2011 | R11-012 | CH - 1291 Commugny | 90 | 0 | 0 | 0 | - | - |
| 2012 | R12-801 | 19217 Thandorf | 100 | 5 | 4 | 5 | 5 | - |
| 2012 | R12-802 | 19217 Thandorf | 100 | 5 | 4 | 3 | 5 | 3 |
| 2012 | R10-802 | 23909 Römnitz | 100 | 4 | 4 | 1 | 5 | - |
| 2013 | Lol 899 | 24256 Fargau | 90 | 5 | 5 | 1 | 5 | 5 |
| 2013 | R13-801 | 18574 Gustow | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2013 | R13-802 | 17166 Teschow | 100 | 4 | 1 | 5 | 1 | 2 |
| 2014 | R14-801 | 19071 Brüsewitz | 100 | 0 | 0 | 0 | 3 | - |
| 2014 | R14-802 | 64720 Michelstadt/Rehbach | 5 | 3 | - | - | 4 | - |
| 2014 | R14-803 | 09322 Penig | 100 | 5 | 2 | 4 | 5 | - |
| 2014 | R14-804 | 04552 Borna/ OT Wyhra | 100 | 4 | 5 | 0 | 5 | - |
| 2014 | R14-805 | 18519 Sundhagen-Horst | 30 | 5 | 0 | 1 | 4 | - |
| 2014 | R14-806 | 04552 Borna | 100 | 1 | 0 | 1 | 2 | - |
| 2014 | R14-807 | 17166 Dalkendorf | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| - | - | not tested | - | - | - | - | - | - |

Dose-response experiments

Dose-response experiments confirmed the results of the monitoring trials in most cases. However, ACCase resistance detected in the Swiss population from Zizers could not be confirmed by dose-response experiments. Furthermore, resistance to the pre-emergence active ingredient flufenacet was found in the populations 'Fargau' and 'Römnitz' (Tab. 4).

Tab. 4 Resistant factors of different *Lolium* populations for various herbicides, based on ED₅₀ values – greenhouse dose-response trial. ED₅₀ values of sensitive populations used for calculation of resistant factors are based on mean ED₅₀ of susceptible populations “variety 1-3” (RI = 1.0).

Tab. 4 Resistenzfaktoren verschiedener *Lolium*-Proben gegenüber verschiedenen Herbiziden – Dosis-Wirkungs-Gewächshausversuch. Als ED₅₀-Wert der sensitiven Population wurde der mittlerer ED₅₀-Wert der sensitiven Standards (variety 1, 2 und 3) verwendet (RF = 1,0).

| Post code | Sample Nr. | Village | region | species | meso- & iodosulfuron | pinoxaden | pyrox- & florasulam | flufenacet | cycloxydim | iodosulfuron | glyphosate |
|------------|------------|-----------------|--------|---------|----------------------|-----------|---------------------|------------|------------|--------------|------------|
| variety 1' | sen 1 | | | 1 | 0.7 | 1.0 | 2.1 | 0.5 | 0.9 | 1.1 | 0.9 |
| variety 2' | sen 2 | | | 2 | 1.7 | 1.0 | 0.7 | 1.8 | 1.2 | 1.0 | 1.1 |
| variety 3' | sen 3 | | | 1 | 0.6 | 1.0 | 0.3 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| D-24256 | 899 | Fargau | SH | 2 | 19.9 | 11.3 | 34.1 | 4.3 | 10.7 | 49.6 | 0.7 |
| D-23909 | R10-802 | Römnitz (Stub.) | MV | 1 | 1.8 | 2.0 | 6.7 | 2.1 | 7.4 | 2.4 | 0.9 |
| D-23909 | R10-803 | Römnitz | MV | 1 | 1.9 | 10.2 | 4.5 | 7.7 | 21.3 | 2.7 | 1.0 |
| CH - 1298 | R11-010 | Céligny | GE | - | 3.9 | 1.1 | 0.8 | 1.5 | 1.2 | 1.2 | 0.9 |
| CH - 7205 | R11-004 | Zizers | GB | - | 0.1 | 1.1 | 1.1 | 0.8 | 1.2 | 0.3 | 1.0 |
| CH - 1299 | R11-008 | Crans près Cél. | GE | - | 1.8 | 1.0 | 0.1 | 1.7 | 0.7 | 1.5 | 0.9 |
| CH - 1565 | R11-007 | Vallon | FR | - | 1.7 | 1.1 | 2.0 | 1.5 | 1.4 | 0.8 | 1.0 |
| CH - 1297 | R11-011 | Founex | GE | - | 0.7 | 1.3 | 1.5 | 2.0 | 1.2 | 1.6 | 0.9 |
| D-18574 | R13-801 | Gustow | MV | - | 2.2 | 1.1 | 2.4 | 1.1 | 0.3 | 1.6 | 0.8 |
| D-17166 | R13-802 | Teschow | MV | - | 3.1 | 5.6 | 2.7 | 1.6 | 13.0 | 12.2 | 1.0 |
| D-23909 | R12-802 | Römnitz | MV | 1 | 5.1 | 7.8 | 33.4 | 3.9 | 18.0 | 13.6 | 1.2 |
| D-19071 | R14-801 | Brüsewitz | MV | 1 | 1.8 | 0.9 | 2.0 | 0.5 | 1.1 | 1.1 | 1.4 |
| D-09322 | R14-803 | Penig | S | 1 | 10.6 | 16.8 | 19.5 | 2.0 | 15.7 | 28.8 | 1.2 |
| D-04552 | R14-804 | Wyhra | S | 1 | 29.5 | 4.9 | 16.0 | 2.3 | 5.2 | 48.4 | 1.2 |
| D-04552 | R14-806 | Borna | S | 3 | 19.5 | 2.2 | 2.5 | 1.0 | 7.3 | 2.0 | 1.2 |

- species unknown; 1 - *Lolium multiflorum*; 2 - *L. perenne*; 3 - *L. temulentum*

CH - Kantone: GE-Genf; GB - Graubünden; FR - Freiburg

D - Federal states: MV-Mecklenburg-Vorpommern; S - Sachsen; SH - Schleswig-Holstein

No resistance to glyphosate could be detected. The cross resistance spectrum of the populations 'Fargau', 'Römnitz', 'Teschow', 'Penig' and 'Wyhra' showed resistance to all used selective and registered ACCase and ALS inhibitors. Consequently, in three different German federal states (Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern and Sachsen) these multiple resistant populations occurred. Resistant factors for some of these populations and herbicides were quite high, indicating presence of target-site resistance to ACCase and/or ALS inhibitors. Dose-response curves for four populations and herbicides are shown in Figure 1.

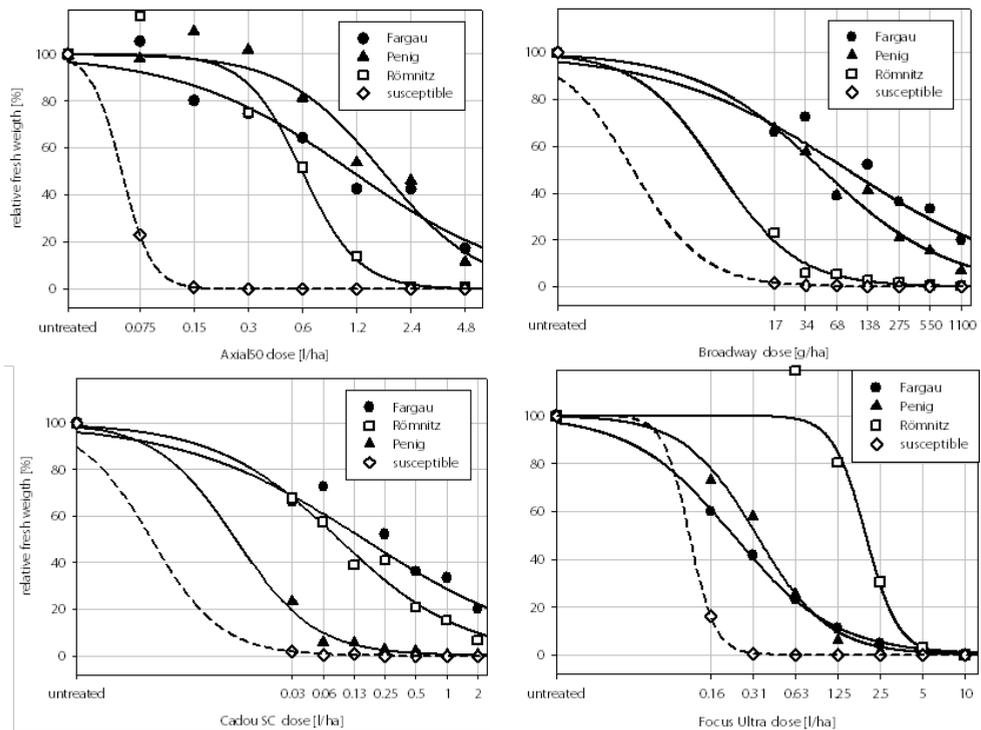


Fig. 1 Dose-response curves of four German *Lolium* spp. populations to four different herbicides (Fargau – 899; Penig - R14-803; Römnitz - We10-803; susceptible: Mean of sensitive populations).

Abb. 1 Dosis-Wirkungskurven von vier deutschen *Lolium*-Herkünften bei vier unterschiedlichen Herbiziden.

Genetic analysis

Analysis of potential target-site resistance in ACCase and ALS genes showed no presence of mutation in the ALS-coding region (Tab. 5). Surprisingly, population R12-801 showed no surviving plants after the meso- + iodosulfuron application which in contrast to the findings of the resistance monitoring.

However, in seven out of eight populations, an ACCase target-site resistance was detected. Mutations were mainly found at positions 2041 and 2078. In six populations, mutations at position 1781 or 2078 were present. As a consequence, resistance to all ACCase inhibitors including 'DIM'-herbicides occurred in these populations. In population Fargau (899), no target-site mutation could be detected. However, this population showed a strong resistance pattern in the glasshouse studies that may indicate effective enhanced metabolic activity. Population R14-804 showed a mutation only at position 2041 which indicates resistance to 'DEN' and 'FOP' herbicides but not to 'DIMs'. Five populations showed two different mutated positions at the ACCase gene. Additionally, mutated homozygous plants were found for position 2078 only while all other detected target-site resistances were based on heterozygous alleles.

Tab. 5 Number of plants with ACCase and/or ALS target-site resistance in eight German herbicide resistant *Lolium* populations (no of plants sampled/population = 5); *wild type / heterozygous / homozygous.

Tab. 5 Anzahl Pflanzen mit ACCase- und/oder ALS-Zielortresistenzen in acht deutschen herbizidresistenten *Lolium*-Herkünften (Anzahl beprobter Pflanzen/Population = 5).

| Population | Pro-197 | Asp-376 | Trp-574 | Ile-1781 | Trp-2027 | Ile-2041 | Asp-2078 | Gly-2096 |
|------------|---------|---------|---------|--------------|----------|--------------|--------------|----------|
| 899 | 5/0/0* | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 |
| We10-802 | n.i. | n.i. | n.i. | 5/0/0 | 5/0/0 | 3/2/0 | 0/0/5 | 5/0/0 |
| R12-801 | n.i. | n.i. | n.i. | 5/0/0 | 5/0/0 | 3/2/0 | 0/0/5 | 5/0/0 |
| R12-802 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 3/2/0 | 0/2/3 | 5/0/0 |
| R14-802 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 3/2/0 | 5/0/0 | 1/4/0 | 5/0/0 | 5/0/0 |
| R14-803 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 0/4/1 | 1/2/2 | 5/0/0 |
| R14-804 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 5/0/0 | 0/5/0 | 5/0/0 | 5/0/0 |
| R14-806 | n.i. | n.i. | n.i. | 5/0/0 | 5/0/0 | 3/2/0 | 0/0/5 | 5/0/0 |

n.i. – not investigated

Discussion

In many regions of the world, *Lolium* spp. are of importance as weeds and control is quite complex due to occurrence of herbicide resistant populations. The situation in Germany is different. At present, *Lolium* species are relatively unimportant arable weeds. Only in some locations with high density farmers must focus their weed control on *Lolium* spp. The first *Lolium perenne* population with resistance to ACCase and ALS inhibitors was identified in Northern Germany (Schleswig-Holstein) in 2008 (KRATO et al., 2009). Since that time, resistant *Lolium* spp. populations appeared also in Mecklenburg and in 2014 in Sachsen and in Hessen. Cross resistance to ACCase and ALS inhibitors occurs quite often. At two locations in Germany, resistance to flufenacet was also found. To our knowledge that are the first flufenacet resistant *Lolium perenne* resp. *L. multiflorum* populations in Europe. Only in the US there is a report on flufenacet resistant *L. perenne* population published (LIU, 2013). Detailed investigations indicate that enhanced metabolic activities may be responsible for flufenacet resistance (DÜCKER et al., 2015).

Cross resistance to post- and pre-emergence herbicides makes it difficult to control resistant *Lolium* populations in cereals. Consequently, in principal, the resistance situation for *Lolium* does not principally differ much compared to *Alopecurus myosuroides*. However, the occurrence of *Lolium* spp. is much lower compared to *A. myosuroides* at the moment. For both species there are no glyphosate resistance cases reported in Germany so far. This indicates that potential metabolic pathways involved in flufenacet, ACCase and ALS inhibitor degradation do not influence glyphosate efficacy in *Lolium* spp.

Target-site resistance could be identified for ACCase inhibitors but not for ALS herbicides. These findings are in contrast to the high resistant factor of some populations even to ALS inhibitors (e.g. population 'Fargau'). This may indicate that resistance is caused by very effective non-target-site resistance mechanism or that another unknown ALS mutation is present in this population. The presence of mutation at ACCase inhibitor relevant positions 1781 and 2078 indicates that not only in cereals but also in dicot crops control of *Lolium* spp. might be difficult at some locations. Furthermore, presence of ACCase target-site mutations indicates potential for rapid spread of resistance to other populations.

An open question is if importance of *Lolium* species as weeds will increase in central Europe. Some indications like climatic change, conservation tillage, management of buffer strips and use of cover crop mixtures including *Lolium* seeds may lead to more and quicker spread of *Lolium* in the future. Due to high genetic diversity in the genus and limited number of different herbicide for selective *Lolium* control, fast development of resistance might be the consequence.

References

- BECKIE, H.J., K.N. HARKER, L.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.
- BECKIE H.J. and F.J. TARDIF, 2012: Herbicide cross-resistance in weeds. *Crop Protection* **35**, 15-28.
- DÜCKER, R., L. LORENTZ, S. IWAKAMI, H. STREK, S. POWLES and R. BEFFA, 2015: Discovering the mechanisms of enhanced metabolism in flufenacet resistant ryegrass (*Lolium* spp.). 17th European Weed Research Society Symposium, 23-26 June 2015, Montpellier, 127.
- HEAP, I., 2015: The international survey of herbicide resistant weeds. www.weedscience.org
- KRATO, C., J. SCHMITT and J. PETERSEN, 2009: Jetzt auch noch Weidelgras - Herbizidresistenz auf dem Vormarsch. *DLG-Mitteilungen* **9/2009**; 47-48.
- LIU, M., 2013: Multiple-resistant Italian ryegrass (*Lolium perenne* spp. *multiflorum*) populations in Oregon. Masterthesis Oregon state university. <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/38094/LiuMingyang2013.pdf>.
- MENEGAT, A., G.C. BAILLY, B. SIEVERNICH, G.M.T. HEINRICH and R. GERHARDS, 2015: Impact of the amino acid substitution ASP376GLU on the efficacy of acetohydroxyacid synthase inhibiting herbicides in *Lolium* sp. (L.). 17th European Weed Research Society Symposium, 23-26 June 2015, Montpellier, 103.
- STREIBIG J.C., 1988: Herbicide bioassay. *Weed Research* **28**, 479–484.

Discovering the mechanism of enhanced metabolism in flufenacet resistant grass weeds

Untersuchung des Mechanismus zum schnelleren Flufenacet-Abbau in resistenten Ungräsern

Rebecka Dücker^{1,2*}, Lothar Lorentz², Richard Hull³, Monte Anderson⁴, Stephen Moss³, Roland Beffa²

¹Georg-August Universität Göttingen, Abt. Allgemeine Pflanzenpathologie und -schutz, Grisebachstr. 6, 37077 Göttingen, Germany

²Bayer CropScience AG, Industriepark Höchst, H872, 65926 Frankfurt am Main, Germany

³Rothamsted Research, West Common, Harpenden, Hertfordshire, AL5 2JQ, UK

⁴Bayer CropScience USA, 16304 South Yancey Lane, Spangle, WA 99031, USA

*Corresponding author, rebecka.duecker@bayer.com



DOI 10.5073/jka.2016.452.005

Abstract

Inhibitors of very long chain fatty acid synthesis (VLCFAs, HRAC group K3) including flufenacet-based products are key herbicides in weed management strategies in particular of Western European cereal growing areas. They offer an alternative mode of action to those of frequently applied post-emergence active ingredients e.g. ACCase and ALS chemistries. In comparison, herbicide resistance to VLCFAs inhibitors develops considerably slower. Yet, resistance to the 'low-risk' herbicide flufenacet was documented in multi-resistant ryegrass (*Lolium* spp.) in the northwestern United States. A 46-fold resistance shift in a population from Washington State was observed in a dose-response bioassay. The resistance levels described in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) field populations are lower and generally within the range of environmentally caused inconsistency in efficacy. An artificial selection of two UK multi-resistant black-grass populations with flufenacet applied annually for eight successive years resulted in resistant progeny surviving the field rate. Besides characterizing the degree of resistance in black-grass and ryegrass populations, we demonstrated that flufenacet resistance in these populations was caused by enhanced metabolism. No cross-resistance between flufenacet and pyroxasulfone, the newest VLCFAs-inhibiting herbicide, occurred in the ryegrass population. A good understanding of the resistance mechanism and early diagnostics can help preserve the efficacy of flufenacet.

Keywords: Enhanced metabolism, flufenacet, grass weeds, pre-emergence herbicides, resistance mechanisms

Zusammenfassung

Inhibitoren der Synthese sehr langkettiger Fettsäuren (VLCFAs, HRAC-GruppeK3) wie z.B. Flufenacetprodukte gehören vor allem in Westeuropa mit zu den entscheidenden Herbiziden der Unkrautbekämpfungsstrategien in Getreide. VLCFAs-Inhibitoren stellen einen alternativen Wirkmechanismus zu den häufig applizierten Wirkstoffen der ACCase- oder ALS-Inhibitoren dar und bieten den Vorteil, dass sich ihnen gegenüber Resistenzen wesentlich langsamer entwickeln. Auch wenn das Resistenzrisiko dieser Herbizide als niedrig eingestuft wird, konnten beispielsweise Resistenzen in Weidelgras-Populationen (*Lolium* spp.) in den nordwestlichen USA festgestellt werden. Bei einer Population aus Washington State konnte in einem Dosis-Wirkungsversuch eine 46-fache Verschiebung des Resistenzniveaus beobachtet werden. Die Resistenzniveaus, die bei Ackerfuchschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Feldpopulationen beobachtet werden sind jedoch wesentlich geringer und liegen innerhalb der für Voraufflaferbizide charakteristischen Wirkungsbreite. Durch künstliche Selektion zweier multi-resistenter *A. myosuroides*-Populationen mit jährlich applizierten Flufenacetdosen konnten in acht aufeinanderfolgenden Jahren resistente Nachkommen selektiert werden, die die empfohlene Feldaufwandmenge überlebten. Wir konnten in dieser Studie das Resistenzlevel der genannten *A. myosuroides*- und *Lolium*-Populationen charakterisieren und den hauptsächlich zugrundeliegenden Resistenzmechanismus als metabolische Resistenz identifizieren. Ein weiteres Experiment zeigte, dass in der getesteten *Lolium*-Population keine Kreuzresistenz mit dem neuesten VLCFAs-Hemmer Pyroxasulfon besteht. Ein gutes Verständnis der Resistenzmechanismen und frühe Resistenzdiagnose können dazu beitragen, die Wirksamkeit von Flufenacet aufrechtzuerhalten.

Stichwörter: Erhöhter Metabolismus, Flufenacet, Resistenzmechanismen, Ungräser, Voraufflaferbizide

Introduction

The evolution of herbicide resistance is an example of fast adaptation in plant populations. Herbicide resistance, particularly to post-emergence herbicides, including the majority of ACCase and ALS chemistries has been described for many weeds in several cropping systems in the world (HEAP, 2015). To better manage this resistance, one tool among several others, is the use of pre-emergence herbicides (MENNE et al., 2012). Among those, flufenacet-based products are widely recommended and used (KLINGENHAGEN, 2012; HULL et al., 2014a). As an oxyacetamide, belonging to the herbicide class active on very long chain fatty acid elongases (VLCFAs), flufenacet adds a different mode of action (VLCFAs, K3) and improves grass weed control in fields where resistance to inhibitors acting on other targets is observed. Although VLCFAs-inhibitors have widely been spared from the development of herbicide resistance since their market introduction over 50 years ago, in a few occasions weed resistance to these herbicides has been described. The weed species *Lolium rigidum* (Gaud.), *Alopecurus myosuroides* (Huds.), *Echinochloa crus-galli* (L.) and *Lolium multiflorum* (Lam.) are reported to be resistant to this group of herbicides (HEAP, 2015). Reduced efficacy of flufenacet has been described in multi-resistant populations of *L. multiflorum* in the North Western USA as well as in multi-resistant populations of *A. myosuroides* in several European locations (RAUCH et al., 2010; HULL and MOSS, 2012). The appearance of multiple herbicide resistance has frequently been explained by detoxification (enhanced plant metabolism) of the active ingredient (CUMMINS et al., 2013, YU and POWLES, 2014). It is expected that various enzymes involved in the condensing steps of VLCFA synthesis are inhibited. Non-target site resistance, e.g. enhanced metabolism, appears to be the most likely mechanism of resistance as mutations of the active sites of several of these enzymes conferring resistance to VLCFAs-inhibitors appears unlikely (BÖGER et al., 2000). Detoxification of VLCFAs inhibitors is already known from the tolerance of some crops e.g. maize (BIESELER et al., 1997). The present study provides further evidence for enhanced metabolism to be one major mechanism of flufenacet resistance in grasses using black-grass and Italian ryegrass as models.

Materials and Methods

Plant material and growing conditions

In this study populations of different origins and resistance levels were used as research material. The term 'population' herein below is generally used for plant seeds collected in one location or within one cross in the breeding process. A flufenacet resistant population of *Lolium multiflorum* was collected from a field in Walla Walla, WA (USA) previously described by RAUCH et al. (2010). Three additional reference populations were used: A sensitive *L. multiflorum* population 'LOLMU', a sensitive *L. rigidum* population 'LOLRI' and the multiple resistant *L. rigidum* population 'VLR69'. The population 'VLR69' was described as resistant to at least nine different chemical classes of herbicides, including VLCFAs-inhibitors (BURNET et al., 1994 a, b). It comprises metabolic resistance at least to photosystem II inhibitors, ALS inhibitors and ACCase inhibitors (PRESTON et al., 1996). In this study 'VLR69' was used as a positive control. An additional set of experiments was carried out with United Kingdom *A. myosuroides* populations collected 1) from Peldon, Essex in 2003 ('Peldon03'), initially resistant to pendimethalin, and 2) Colsterworth, Lincolnshire in 2005 ('Colsterworth05'). Both populations had previously shown evidence of resistance to pendimethalin in petri-dish assays, and were selected with flufenacet (180 g a.i. ha⁻¹) in outdoor containers for eight generations using the methods described by HULL and MOSS in 2012. A sensitive population from Rothamsted, Hertfordshire ('Rothamsted05') was collected in 2005 from a long-term field trial never treated with herbicides and was used as a reference (MOSS et al., 2004). For all pot experiments, seeds were sown in petri-dishes containing 0.7% agar type A and 0.2 M KNO₃ in order to synchronize germination. Petri-dishes were sealed with Parafilm® and stored in the dark at 4 °C for 3 (ryegrass) or 5 (black-grass) days. Afterwards, plants were transferred to the

greenhouse to induce germination at a 16-h photoperiod with a light intensity of > 55 000 Lux at 22 °C and at an 8-h dark period at 16 °C.

Greenhouse bioassays

For dose-response bioassays seedlings were transplanted at BBCH growth stage 05 to 07 into 2 cm diameter pots containing sandy loam with 2.2% organic matter sandy loam and covered with a thin layer of coarse sand. One experiment (Tab. 1) with *Lolium* was conducted with 40 plants per population and treatment with flufenacet (Tiara® 500 SC). Besides that, the other dose-response experiments were performed using 6-8 plants per populations and dose rate, testing pyroxasulfone (Sakura® 20 WP) on *Lolium* and flufenacet (Tiara® 500 SC) on *A. myosuroides*. The plants were sprayed at different dose rates at a volume of 300 L ha⁻¹ on the same day and subsequently watered. Foliage fresh weight and number of surviving plants were assessed 21 days after treatment. The dose-response data were analysed with a three-parameter model according to RITZ and STREIBIG (2005), using the statistical software R (version 3.0.1, R Core Team, 2013).

Metabolism analysis by HPLC

Incubation was done using glass vials filled with 4 mL of coarse sand and 1.2 mL incubation solution. The incubation solution had a concentration of 0.02 M KNO₃ and 1.000.000 dpm mL⁻¹ (7.43·10⁻³ M) deriving from ¹⁴C-radiolabelled flufenacet. The plantlets were placed upright onto the sand and covered with additional 1.5 mL of coarse sand and kept in a climate chamber for 14 h at 17 °C in the light and 10 h at 11 °C in the dark. After various time points the plantlets were washed in 50% acetone and each eight plants were pooled to eight samples per time point and population. The extraction of the radiolabelled compounds was carried out as described by COLLAVO et al. (2012), except for an additional extraction step with 600 µL 90% acetonitrile. The extract was re-suspended in 80% acetone and injected with a volume of about 90µL into a HPLC-system with a 250 x 4.6 mm Synergi™ 4 µm Hydro-RP 80 Å, LC Column (Phenomenex, Aschaffenburg, Germany). Solvents for the mobile phase were 0.04% HCl (mobile phase A), acetonitrile (mobile phase B) and methanol (mobile phase C) at a flow rate of 0.5 mL min⁻¹. The gradient was performed over 40 min as follows: 0.0 min, 70.0% A, 23.0% B, 7.0% C; 1.0 min, 65.5% A, 27.5% B, 7% C; 16.0 min, 55% A, 45% B; 27.0 min, 5.0% A, 95.0% B; 32.0 min, 5.0% A, 95.0% B; 35.0 min, 70.0% A, 23.0% B, 7.0% C; 40 min, 70.0% A, 23.0% B, 7.0% C. The remaining active ingredient was analysed with a log-logistic sigmoidal three-parameter model according to RITZ and STREIBIG (2005), using the statistical software R (version 3.0.1, R Core Team, 2013).

Results

Response of selected *Lolium* populations to flufenacet and pyroxasulfone

The flufenacet rate that reduced the biomass by 90% (ED₉₀) exceeded, with 17218 g a.i. ha⁻¹, a 45-fold of the US-field rate in wheat (Tab. 1). The effective dose that reduced biomass by 50% (ED₅₀) was 276 g a.i. ha⁻¹, 46-fold more than the respective dose for the sensitive LOLMU and LOLRI populations. The ED₅₀-value of population Walla Walla differed significantly from the ED₅₀-values of the populations it was compared with. The multi-resistant population VLR69 showed much lower levels of resistance to flufenacet with an ED₅₀-value of 15 g a.i. ha⁻¹, which was significantly different from both the sensitive reference populations as well as the highly resistant Walla Walla population. The amount of pyroxasulfone necessary to reduce the foliage fresh weight of the *Lolium* populations LOLMU, LOLRI and Walla Walla by 50% ranged from 9.83 to 12.72 g a.i. ha⁻¹ and ED₉₀-values ranged from 30.63 to 49.51 g a.i. ha⁻¹. The differences between populations were not statistically significant.

Tab. 1 Effectiveness of flufenacet (F) and pyroxasulfone (P) on selected *Lolium* populations characterized by the effective dose rate (in g ha⁻¹) necessary to reduce the biomass by 50% (ED₅₀) and 90% (ED₉₀) ± standard error and the resistance factors of ED50-values. Different letters represent significant differences (p<0.05).

Tab. 1 Wirksamkeit von Flufenacet auf ausgewählte *Lolium*-Populationen, charakterisiert durch die Effektivdosen, die zu 50 % (ED₅₀) und 90 % (ED₉₀) Biomassereduktion führen ± Standardfehler, sowie Resistenzfaktoren (RF) der entsprechenden ED50-Werte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05).

| Population | Flufenacet | | | Pyroxasulfone | | | |
|--------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------|
| | ED _{50F} | RF _F | ED _{90F} | ED _{50P} | RF _P | ED _{90P} | |
| LOLMU | 6 ± 0.8 | a | 1 | 24 ± 4.9 | a | 1.1 | 48 ± 3.2 |
| LOLRI | 7 ± 1.0 | a | 1 | 33 ± 7.3 | a | 1.0 | 31 ± 5.2 |
| VLR69 | 15 ± 3.0 | b | 2 | 191 ± 60.3 | - | - | - |
| Walla Walla | 276 ± 75.2 | c | 46 | 17218 ± 7423.8 | a | 1.3 | 50 ± 61.7 |

Flufenacet metabolism in selected *Lolium* populations

The tested populations needed 0.23 to 19.91 hours in order to degrade 50% of the initial amount of ¹⁴C-radio labeled flufenacet (Tab. 2). Population LOLRI degraded 2.22 times faster than the most sensitive population LOLMU and the multiple-resistant population VLR69 degraded the herbicide 6.05 times faster than LOLMU. A T₅₀-value of 86.57, representing the parent compound half-life in the plant tissue, was calculated for population Walla Walla. Each population differed significantly from the other populations tested.

Tab. 2 Flufenacet metabolism in selected *Lolium* populations characterized by time in hours necessary to reduce the initial amount of ¹⁴C-radiolabelled flufenacet by 50% (T₅₀) ± standard error, and a metabolism factor (MF) of the respective T₅₀-value in relation to the most sensitive population. Different letters represent significant differences (p<0.05).

Tab. 2 Flufenacet-Metabolismus in ausgewählten *Lolium*-Populationen, charakterisiert durch benötigte Zeit in Stunden um 50% der applizierten Menge ¹⁴C-radiomarkierten Flufenacets abzubauen (T₅₀) ± Standardfehler, sowie Metabolismusfaktoren (MF) der entsprechenden T₅₀-Werte in Relation zur sensitivsten Population. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05).

| Population | T ₅₀ | Significance | MF (T ₅₀) |
|--------------------|-----------------|--------------|-----------------------|
| LOLMU | 19.9 ± 1.5 | d | 1 |
| LOLRI | 9.0 ± 1.1 | c | 2 |
| VLR69 | 3.2 ± 3.3 | b | 6 |
| Walla Walla | 0.2 ± 0.3 | a | 87 |

Response of selected *A. myosuroides* populations to flufenacet

In this experiment with 6-8 individuals per populations and treatment dose, the ED₅₀-values of the sensitive reference population Rothamsted05 differed significantly from those of the other populations tested. In order to reduce the biomass of the selected population Colsterworth14 by 50% a 2.4-fold higher dose of flufenacet was necessary in comparison to the original population Colsterworth05. In order to reduce the biomass of the selected population Peldon14 by 50% a 7.1-fold greater dose of flufenacet was necessary in comparison to Peldon03. The ED₅₀-values differed significantly between the Colsterworth50 and Colsterworth14 over years. For a biomass reduction of 90% of the selected populations Peldon14 and Colsterworth14 a multiple of the recommended field rate (776 and 3075 g a.i.ha⁻¹) needed to be sprayed.

Tab. 3 Effectiveness of flufenacet on selected *A. myosuroides* populations characterized as described in Table 1. Resistance factors (RF) were calculated by the division of the ED_{50} -value of the selected population by the ED_{50} -value of the original population. Different letters represent significant differences ($p < 0.05$).

Tab. 3 Wirksamkeit von Flufenacet auf ausgewählte *A. myosuroides*-Populationen, charakterisiert wie in Tabelle 1 beschrieben. Resistenzfaktoren (RF) wurden durch Teilung der ED_{50} -Werte der selektierten Population durch die ED_{50} -Werte der Ausgangspopulationen errechnet. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

| Population | ED_{50} | Significance | RF (ED_{50}) | ED_{90} |
|----------------|-------------|--------------|------------------|---------------|
| Rothamsted05 | 17 ± 2.3 | a | - | 34 ± 10.3 |
| Colsterworth05 | 83 ± 15.6 | bc | 1.0 | 173 ± 62.5 |
| Colsterworth14 | 201 ± 60.7 | bc | 2.4 | 776 ± 548.9 |
| Peldon03 | 64 ± 19.6 | b | 1.0 | 147 ± 69.4 |
| Peldon14 | 456 ± 201.6 | c | 7.1 | 3075 ± 3753.0 |

Flufenacet metabolism in selected *A. myosuroides* populations

The degradation of flufenacet was characterized in seedlings of five selected *A. myosuroides* populations using HPLC-methods (Tab. 4). These populations needed 0.6 to 28.9 hours in order to metabolize 50% of the initial amount of ^{14}C -radio labeled flufenacet. The selected populations Colsterworth14 and Peldon14 metabolized the applied flufenacet significantly faster (6.2 and 5.6 times, respectively) in comparison to their respective original population.

Tab. 4 Flufenacet metabolism in selected *A. myosuroides* populations, characterized as described in Table 2. Different letters represent significant differences ($p < 0.05$).

Tab. 4 Flufenacet-Metabolismus in ausgewählten *A. myosuroides*-Populationen, charakterisiert wie in Tabelle 2 beschrieben. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

| Population | T_{50} | Significance | MF (T_{50}) |
|----------------|------------|--------------|-----------------|
| Rothamsted05 | 28.9 ± 2.6 | d | - |
| Colsterworth05 | 8.1 ± 1.2 | c | 1.0 |
| Colsterworth14 | 1.3 ± 0.5 | ab | 6.2 |
| Peldon03 | 3.4 ± 1.0 | b | 1.0 |
| Peldon14 | 0.6 ± 0.4 | a | 5.6 |

Discussion

Since their market introduction, inhibitors of VLCFAs have mostly been spared from the development of weed resistance. Yet, field resistance to flufenacet was observed in *Lolium* spp. in the U.S. states Washington, Oregon and Idaho in the North West of the country (RAUCH et al., 2010; HEAP, 2015). A dose-response bioassay conducted in the greenhouse confirmed that a resistant *Lolium* population from Walla Walla is able to survive a multiple of the recommended field rate in winter wheat of about 380 g flufenacet ha^{-1} . The ED_{90} with a value of 17218 g a.i. ha^{-1} exceeded the 45-fold of the field rate. Also to achieve 50% biomass reduction the 46-fold of the rate necessary to control the sensitive reference population LOLMU had to be applied. Even the multiple and metabolically resistant population VLR69 which was never exposed to flufenacet survived significantly higher dose rates than the sensitive reference populations. VLR69 showed also significantly enhanced flufenacet metabolism in comparison to the sensitive reference populations LOLMU and LOLRI and the most resistant population Walla Walla had degraded more than 80% of the initially applied herbicide within 4 hours after application. The metabolic half-time (T_{50}) shows that Walla Walla degraded flufenacet 87 times faster than the sensitive population LOLMU. The close relationships between the speed of flufenacet degradation and the response in

the greenhouse suggest that enhanced metabolism is one main factor in flufenacet resistance. The Walla Walla population is also able to degrade herbicides belonging to different chemical classes faster (RAUCH et al., 2010; DÜCKER, 2014), whereas it could be controlled with low dose-rates of the latest VLCFAs-inhibiting herbicide, pyroxasulfone. This is a further argument supporting non-target-site resistance and the observation of enhanced metabolic resistance as a cause of the survival of flufenacet resistant weeds. This is in agreement with the hypothesis of BÖGER et al. (2000) which excludes target-site alterations as a cause of flufenacet resistance. The good performance of pyroxasulfone, an isoxazoline herbicide, on resistant *Lolium* (WALSH et al., 2011) could be explained by its different chemical structure. The introduction of new chemistries e.g. pyroxasulfone could reduce the selection pressure that lasts on flufenacet in some areas of Europe with resistance problems, where other modes of actions do not cushion the selection pressure anymore or to a lesser extent. Although among pre-emergence herbicides flufenacet shows to have superior efficacy even on multi-resistant field populations of *A. myosuroides*, shift of activity or resistance at the disputed low-level range (HEAP, 2005) could be observed (KLINGENHAGEN, 2012; PETERSEN and OLF, 2014). The resistance levels described in *A. myosuroides* field populations are lower and generally within the range of environmentally caused inconsistency in efficacy. In another approach, HULL and MOSS (2012) could demonstrate in an experiment started in 2003 how multi-resistant *A. myosuroides* populations can develop flufenacet resistance by recurrent selection with repeated annual treatment with the herbicide. In a dose-response experiment it was shown how these initially pendimethalin resistant populations Peldon03 and Colsterwort05 underwent a 2.4-fold (Colsterwort05) and a 7.1-fold (Peldon03) resistance shift until 2014. The differences between the original populations and the populations evolved by recurrent selection become even higher considering the ED₉₀ which was below the UK field rate of 240 g a.i. ha⁻¹ in case of the original populations, whereas multiples of the field rate had to be applied to control 90% of the selected populations. These results underpin the findings about successive reduction of flufenacet efficacy over about eight years of recurrent selection (HULL and MOSS, 2012), whereas a much slower shift of efficacy can be generally observed in the field (HULL et al. 2014a). The decreased efficacy of flufenacet was correlated with a significantly faster degradation of applied radiolabel led flufenacet in both of the selected populations Peldon14 and Colsterworth14 in comparison to their respective original populations Peldon03 and Colsterworth05. In addition, all four populations degraded the herbicide significantly faster than the sensitive population Rothamsted05. This shows that enhanced flufenacet metabolism could be increased by recurrent selection with repeated herbicide applications as previously described for other herbicides (NEVE and POWLES, 2005; BUSI et al., 2012). In conclusion, it is important to develop the tools to analyse the flufenacet resistance evolution in order to take, when necessary, fast countermeasures to delay its evolution e.g. the application of full dose rates and mixtures (e.g. flufenacet + diflufenican) in combination with well-known measures of cultural control introducing as much diversity as possible in the system. Nevertheless, analyses of *A. myosuroides* field populations confirmed that resistance to pre-emergence herbicides can occur, but resistance tends to be partial and does not appear to increase very rapidly (HULL et al., 2014a and b).

References

- BIESELER, B., C. FEDTKE, T. NEUEFEIND, W. ETZEL, L. PRADÉ and R. REINEMER, 1997: Maize selectivity of FOE 5043: Degradation of active ingredient by glutathione-S-transferases. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* **50**, 117-140.
- BÖGER, P., B. MATTHES and J. SCHMALFUß, 2000: Towards the primary target of chloroacetamides – new findings pave the way. *Pest Manag. Sci.* **56** (6), 497-508.
- BURNET, M.W.M., A.R. BARR and S.B. POWLES, 1994a: Chloroacetamide resistance in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). *Weed Sci.* **42** (2), 55-62.
- BURNET, M.W.M., Q. HART, J.A.M. HOLTUM and S.B. POWLES, 1994b: Resistance to nine herbicide classes in a population of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). *Weed Sci.* **42** (3), 369-377.
- BUSI, R., T. GAINES, M.J. WALSH and S.B. POWLES, 2012: Understanding the potential for resistance evolution to the new herbicide pyroxasulfone: field selection at high doses versus recurrent selection at low doses. *Weed Res.* **52** (6), 489-499.

- COLLAVO, A., H. STREK, R. BEFFA and M. SATTIN, 2013: Management of an ACCase - inhibitor - resistant *Lolium rigidum* population based on the use of ALS inhibitors: weed population evolution observed over a 7 year field - scale investigation. *Pest Manag. Sci.* **69** (2), 200-208.
- CUMMINS, I., D.J. WORTLEY, F. SABBADIN, Z. HE, C.R. COXON, H.E. STRAKER and R. EDWARDS, 2013: Key role for a glutathione transferase in multiple-herbicide resistance in grass weeds. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **110** (15), 5812-5817.
- DÜCKER, R., 2014: Flufenacet activity on ryegrass and black-grass from different origins – investigating resistance mechanisms using selected populations. Master's thesis, Georg-August Universität Göttingen, Göttingen.
- HEAP, I., 2005: Criteria for confirmation of herbicide-resistant weeds – with specific emphasis on confirming low level resistance. International survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.org>, September 2015.
- HEAP, I., 2015: International survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.org>, September 2015.
- HULL, R. and S.R. MOSS, 2012: Is the increasing reliance on residual herbicides for *Alopecurus myosuroides* (black-grass) control sustainable? *Aspects of Appl. Biol.* **117**, Crop Protection in Southern Britain, 25-32.
- HULL, R., L.V. TATNELL, S.K. COOK, R. BEFFA and S.R. MOSS, 2014a: Current status of herbicide-resistant weeds in the UK. *Aspects Appl. Biol.* **127**, Crop Production in Southern Britain, 261- 272.
- HULL, R., S.J. CLARK, L. WESTRUP and S.R. MOSS, 2014b: The efficacy of flufenacet based herbicides on *Alopecurus myosuroides* (black-grass): analysis of data from 375 field trials. *Aspects of Appl. Biol.* **127**, Crop Production in Southern Britain, 49-55.
- KLINGENHAGEN, G., 2012: Comparison of different black-grass populations (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in their susceptibility to herbicides under field conditions. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 81-87.
- 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., J. STORKEY, J. CUSSANS, S.A.M. PERRYMAN and M.V. HEWITT, 2004: The Broadbalk long-term experiment at Rothamsted: what has it told us about weeds? *Weed Sci.* **52** (2), 864-873.
- NEVE, P. and S.B. POWLES, 2005: Recurrent selection with reduced herbicide rates results in the rapid evolution of herbicide resistance in *Lolium rigidum*. *Theor. Appl. Genet.* **110** (6), 1154-1166.
- PETERSEN, J. and F. OLF, 2014: Interaktionen von Vor- und Nachauflaufapplikationen auf die Kontrolle von metabolisch resistenten Ackerfuchsschwanzherkünften. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 297-303.
- PRESTON, C., F.J. TARDIF, J.T. CHRISTOPHER and S.B. POWLES, 1996: Multiple Resistance to Dissimilar Herbicide Chemistries in a Biotype of *Lolium rigidum* Due to Enhanced Activity of Several Herbicide Degrading Enzymes. *Pestic. Biochem. Phys.* **54** (2), 123-134.
- RAUCH, T.A., D.C. THILL, S.A. GERSDORF and W.J. PRICE, 2010: Widespread occurrence of herbicide-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) in Northern Idaho and Eastern Washington. *Weed Technol.* **24** (3), 281-288.
- RITZ, C. and J.C. STREIBIG, 2005: Bioassay analysis using R. *J. Stat. Softw.* **12**, 1-22.
- WALSH, M.J., T.M. FOWLER, B. CROWE, T. AMBE and S.B. POWLES, 2011: The potential for pyroxasulfone to selectively control resistant and susceptible rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) biotypes in Australian grain crop production systems. *Weed Technol.* **25** (1), 30-37.
- YU, Q. and S.B. POWLES, 2014: Metabolism-based herbicide resistance and cross-resistance in crop weeds: a threat to herbicide sustainability and global crop production. *Plant physiol.* **166** (3), 1106-1118.

Linkage of the current ALS-resistance status with field history information of multiple fields infested with blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in southern Germany

Zusammenhang des ALS-Resistenzstatus bei Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) mit den durchgeführten Bewirtschaftungsmaßnahmen auf mehreren Felder in Süddeutschland

Johannes Herrmann^{1,2*}, Martin Hess², Harry Streck², Otto Richter¹, Roland Beffa²

¹TU Braunschweig, Institut für Geoökologie, 38106 Braunschweig, Germany

²Bayer CropScience, 65926 Frankfurt, Germany

*Korrespondierender Autor, Johannes.Herrmann@tu-bs.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.006

Abstract

The repetitive use of herbicides as major tool to control troublesome weeds in agriculture caused an increase in resistant weeds lately, especially when Integrated Weed Management principles were ignored. In a case study approach we sampled blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in three distinctive locations for at least 3 years. Based on field infestation level, greenhouse biotests and laboratory analyses we grouped 23 fields as resistant (R), 28 fields as less sensitive (I) and 39 fields as sensitive (S) with regard to their ALS resistance status. Field history information was collected for 90 fields. Variables regarding the frequency of 1) summer crops, 2) winter cereals, 3) ploughing, 4) herbicide use, and 5) early versus late seeding were calculated. Fields with a higher frequency of summer crops, ploughing and later sowing dates in the crop rotation were less frequently grouped into R and I. No relationship was found between the number of modes of action used and the resistance status. Intensity of ALS-inhibitor use and use of grass herbicides played a role to distinguish resistant from sensitive fields. Our results suggest that cultural measures to bring the blackgrass population size to lower levels are more important than the selection by the herbicide.

Keywords: ACCase inhibitors, ALS inhibitors, blackgrass, Germany, Herbicide Resistance, Integrated Weed Management

Zusammenfassung

Der übermäßige Einsatz von Herbiziden als einzige Maßnahme zur Reduzierung von Problemunkräutern hat in den letzten Jahren zu einer Zunahme resistenter Unkrautpopulationen geführt. Im Rahmen einer Fallstudie wurde daher Ackerfuchsschwanzsamen (*Alopecurus myosuroides* Huds.) an 3 Standorten über einen Zeitraum von mindestens 3 Jahren beprobt. Basierend auf einer Befallseinschätzung im Feld, Gewächshausstests und Laboranalysen wurden 23 Felder als resistent (R), 28 Felder als vermindert sensitiv (I) und 39 Felder als sensitive Felder (S) gegenüber ALS-Inhibitoren klassifiziert. In Interviews mit den Landwirten konnten die Bewirtschaftungsmaßnahmen für diese 90 Felder erfragt werden. Aus diesen wurden Variablen die den Anteil an 1) der Sommerungen in der Fruchtfolge, 2) des Wintergetreides in der Fruchtfolge, 3) den Pflugeinsatz, 4) den Herbizideinsatz sowie 5) die Saatzeitpunktwahl repräsentieren, generiert. Mit einer Zunahme an Sommerungen in der Fruchtfolge, einem erhöhtem Pflugeinsatz sowie der häufigeren Wahl später Saattermine war eine geringere Häufigkeit an resistenten Feldern zu beobachten. Dagegen wurde kein Zusammenhang zwischen der Anzahl der eingesetzten Wirkstoffklassen und dem Resistenzstatus gefunden. Signifikante Unterschiede beim Einsatz von ALS-Inhibitoren waren nur zwischen S und R erkennbar. Unsere Ergebnisse zeigen dass ackerbauliche Maßnahmen eine stärkere Wirkung auf die Resistenzentwicklung haben als die Häufigkeit und Art des Herbizid-Einsatzes.

Stichwörter: ACCase-Inhibitoren, Ackerfuchsschwanz, ALS-Inhibitoren, Deutschland, Herbizidresistenz, Integrierte Unkrautbekämpfung

Introduction

Weed control to ensure crop yields is essential and herbicides are the primary option used for that purpose. However, due to the overreliance on single Modes of Actions (MoA) and a decrease of additional Integrated Weed Management (IWM) measures, herbicide resistance increased and threatens crop production not only in Europe (HEAP, 2013; POWLES and YU, 2010). Many herbicides against grass weeds currently used in Europe are targeting either the acetyl-coenzyme A carboxylase (ACCCase) or the acetolactate synthase (ALS). Focusing on blackgrass (*Alopecurus*

myosuroides Huds.), an annual weed species, the use pattern of ACCase inhibitors in the 80s and 90s has led to a significant development of resistance to these graminicides in western Europe (DÉLYE et al., 2010; MOSS et al., 2007). Consequently, there is the potential risk that resistance to the ALS- inhibitor family will increase in acreage as well. However, there is a lack of studies focusing on the evolutionary dynamics of resistance at the field level that aim on identifying and quantifying the driving factors behind (NEVE et al., 2014). Investigations into the spatial and temporal development of resistance showed that many individual resistance events occur simultaneously in different fields and that spread of resistance by seeds or pollen plays only a minor role (MENCHARI et al., 2007; BAUCOM and MAURICIO, 2007; HERRMANN et al., 2014). Instead, each resistant population has its own distinct resistance profile composed of different ratios of target-site mutations (HERRMANN et al., 2014).

The aim of this case study approach is to analyze and quantify the variability in resistance patterns among fields within a small scale on nearby fields. Furthermore underlying management and also possible ecological factors shall be identified (HERRMANN et al., 2014). Fields in southern Germany were therefore sampled in consecutive years. Infestation level was assessed and greenhouse bioassays conducted with the seeds of field survivors. To better determine the exact cause of resistance SNP-Analyses were carried out with plants surviving herbicide treatment in the greenhouse. Our hypothesis was that the variation in the resistance level was mainly attributed to a lack of diversity in management, an overreliance on single modes of action and herbicide applications as suggested elsewhere (LUTMAN et al., 2013; POWLES and Yu, 2010).

Materials and Methods

Data collection

Seeds of *A. myosuroides* were sampled from fields with different infestation levels in 3 to 5 consecutive years and greenhouse whole plant bioassays and laboratory test were carried out with them. The detailed procedure was reported elsewhere (HERRMANN et al., 2014; HESS et al., 2012). Intensive Interviews with the farmers were carried out to obtain information of the field management for the past 10 years. A complete information set was obtained for 90 fields that are used herein.

Data preparation

To analyze the data in a quantitative form, several indices were calculated (Tab. 1). Based on the observations in HERRMANN et al. (2014) a classification of the resistance status was derived and fields thereafter grouped into resistant (R), less sensitive (I) and sensitive (S) fields. Preliminary analysis showed that fields that were grouped in R had changes in their management (crop rotation, tillage, herbicide use) to counteract the resistance while this was not observed in the other two groups (data not shown). This led to the conclusion that field management data prior to resistance occurrence need to be analyzed for that group. We therefore focused our analysis of the field management on the six years 2005-2010 for the R samples, and 2007-2013 for the I and S samples. Data from 2012 was excluded since it was not considered representative due to a strong winter with crop failure and resulting summer crop seeding.

Statistical analysis

Statistical analysis was carried out with R 3.1.2 (R Core Team, 2015). Frequency data was analyzed using Fishers Exact G-Test with a significance level of $\alpha=0.05$. Cluster analysis was carried out using the function "hclust" with euclidean distance and the "ward.D" method. The classification tree was created with the package "partly" using the "ctree" function (HOTHORN et al., 2006).

Tab. 1 Abbreviations and description of variables created to analyze field management data.**Tab. 1** Abkürzungen und Beschreibungen der analysierten Bewirtschaftungsvariablen.

| Variable | Explanation |
|--------------------|--|
| WCereals | The portion of winter cereals in the crop rotation |
| SCrops | The portion of summer crops in the crop rotation |
| NCrops | Number of different crops used (winter wheat, triticale and spelt were counted as one) divided by the number of years observed (6 years) |
| Ploughing | The portion of ploughing in the crop rotation |
| SeedingDate | The portion of delayed seeding events in the crop rotation. Early, average and late seeding dates for the various crops were determined together with a local crop advisor |
| UniqueMoA | The number of different Modes of Action used against blackgrass divided by the number of years observed (6 years) |
| ALOMYHerb | The number of herbicide applications against blackgrass divided by the number of years observed (6 years) |
| ALOMYGrpB | The number of ALS-Inhibitor applications (HRAC Group B) divided by the number of years observed (6 years) |

Results

Variable distribution

Non-Chemical Measures

The portion of WCereals, SCrops, NCrops, Ploughing and SeedingDate were regarded as non-chemical measures (Tab. 2). Winter cereal cropping (WCereals) ranged from 33% to 83% in the crop rotation with a significantly higher portion in fields being classified as R or I compared to the sensitive fields. No difference was observed between resistant and intermediate fields. The portion of summer crops (SCrops) was significantly different between all three groups with the highest portion (64%) occurring in the sensitive fields. No summer crop was grown in most of the resistant fields (87%). The number of crops (NCrops) was significantly different between sensitive and resistant/intermediate fields. The number of different crops grown ranged from two to five. The three fields with only 2 crops had an oilseed rape -winter wheat -winter triticale crop rotation for the resistant field and a maize - winter wheat crop rotation for the two sensitive fields. Note again that winter wheat and triticale were counted as one crop as both were winter sown and treated with an ALS-inhibitor. Crop rotations comprising of five crops had winter wheat, winter barley, spring barley, oilseed rape, sugar beet and oats in the rotation (S). The resistant field with 5 crops was cropped with oilseed rape, winter wheat, oats, winter barley and spring barley. Ploughing ranged from 0/6 (no ploughing) to 6/6 (ploughing every year). A significant difference was only found for the comparison of S/R while the other two comparisons were not significantly different from each other. Seeding dates were found to be significantly different between S/R and I/R but not between S/I. This shows that earlier seeding is especially done in the resistant fields.

Tab. 2 Distribution of frequency of non-chemical management data with total sums of observations (Sum) and the corresponding ALS resistance status (AS). "Pair" indicates the corresponding variable Groupings of AS for Fishers Exact G-Test together with the corresponding p-values.

Tab. 2 Verteilung der Häufigkeiten der nicht-chemischen Maßnahmen und die Summe der Beobachtungen (Sum) für die verschiedenen ALS-Resistenzausprägungen (AS). „Pair“ gibt die verschiedenen Vergleiche der ALS-Resistenzsituation mit dem dazugehörigen p-Wert (p-Value) an.

| Variable | AS | 0/6 | 1/6 | 2/6 | 3/6 | 4/6 | 5/6 | 6/6 | >6/6 | Sum | Pair | p-Value |
|--------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|---------|
| WCereals | S | | | 5 | 9 | 21 | 4 | | | 39 | S/I | 0.0302 |
| | I | | | 1 | 2 | 15 | 10 | | | 28 | S/R | 0.0001 |
| | R | | | | 1 | 8 | 14 | | | 23 | I/R | 0.2843 |
| | Total | | | 6 | 12 | 44 | 28 | | | 90 | | |
| SCrops | S | 13 | 16 | 9 | 1 | | | | | 39 | S/I | 0.0457 |
| | I | 16 | 11 | 1 | | | | | | 28 | S/R | 0.0002 |
| | R | 20 | 3 | | | | | | | 23 | I/R | 0.0421 |
| | Total | 49 | 30 | 10 | 1 | | | | | 90 | | |
| NCrops | S | | | 2 | 13 | 21 | 3 | | | 39 | S/I | 0.0483 |
| | I | | | | 18 | 8 | 2 | | | 28 | S/R | 0.0000 |
| | R | | | 1 | 20 | 1 | 1 | | | 23 | I/R | 0.0435 |
| | Total | | | 3 | 51 | 30 | 6 | | | 90 | | |
| Ploughing | S | 4 | 4 | 7 | 6 | 12 | 5 | 1 | | 39 | S/I | 0.2489 |
| | I | 4 | 5 | 10 | 4 | 3 | 1 | 1 | | 28 | S/R | 0.0146 |
| | R | 9 | 3 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 23 | I/R | 0.5039 |
| | Total | 17 | 12 | 24 | 11 | 16 | 7 | 3 | | 90 | | |
| SeedingDate | S | 16 | 14 | 2 | 4 | 3 | | | | 39 | S/I | 0.4313 |
| | I | 12 | 14 | 1 | | 1 | | | | 28 | S/R | 0.0154 |
| | R | 19 | 3 | 1 | | | | | | 23 | I/R | 0.0067 |
| | Total | 47 | 31 | 4 | 4 | 4 | | | | 90 | | |

Chemical measures

Frequency of herbicide applications against grasses (ALOMYHerb) and ALS inhibitors applications against grasses (ALOMYGrpB) together with the number of Modes of Action (UniqueMoA) were regarded as chemical measures against blackgrass. Each field received herbicide treatments as no field was grouped into 0/6 for ALOMYHerb. Significant differences between resistant and sensitive fields were observed for ALOMYHerb and ALOMYGrpB but not for UniqueMoA (Tab. 3). The comparison between sensitive and intermediate fields was only barely significant for ALOMYHerb ($p=0.04$) while it was not significant for UniqueMoA and ALOMYGrpB at $p=0.05$. Significant differences between intermediate and resistant fields were not observed for the three variables (Tab. 3).

Variable correlation

As management factors are typically not independent from each other the correlation between the variables was assessed (Tab. 4). As it can be seen in Table 4 a higher diversity of Crops (NCrops) is negatively correlated with ALS-inhibitor intensity ($r=-0.34$, $N=90$, $p=0.012$). Furthermore the portion of winter cereals and ploughing were negatively correlated ($r=-0.37$, $N=90$, $p=0.0003$). There was also a positive correlation found between the portion of winter cereals and the usage of

ALS inhibitors ($p=0.33$, $N=90$, $p=0.0017$). The overall herbicide intensity seemed to decrease with an increase in summer crops ($r=-0.34$, $N=90$, $p=0.009$). Furthermore we found the number of MoA used to decrease with an increase in summer crops ($r=-0.29$, $N=90$, $p=0.006$). There was also a positive correlation between delayed seeding and increase in summer crops ($r=0.49$, $N=90$, $p<0.001$). With an increase in herbicide intensity there was generally also an increase in ALS-inhibitors observed.

Tab. 3 Distribution of chemical management data with total sums of observations and the corresponding ALS Resistance Status (AS). "Pair" indicates the corresponding variable Groupings for Fishers Exact G-Test are displayed together with the corresponding p-values.

Tab. 3 Verteilung der Häufigkeiten der chemischen Maßnahmen und die Summe der Beobachtungen (Sum) für die verschiedenen ALS-Resistenzausprägungen (AS). „Pair“ gibt die verschiedenen Vergleiche der ALS-Resistenzsituation mit dem dazugehörigen p-Wert (p-Value) an.

| Variable | AS | 0/6 | <2/6 | <4/6 | <6/6 | <8/6 | <10/6 | <12/6 | >12/6 | Sum | Pair | p-value |
|------------------|-------|-----|------|------|------|------|-------|-------|-------|-----|------|---------|
| ALOMYHerb | S | | | 4 | 9 | 21 | 4 | 1 | | 39 | S/I | 0.0407 |
| | I | | | | 7 | 10 | 10 | 1 | | 28 | S/R | 0.0266 |
| | R | | | | 6 | 7 | 5 | 5 | | 23 | I/R | 0.2341 |
| | Total | | | 4 | 22 | 38 | 19 | 7 | | 90 | | |
| UniqueMoa | S | 4 | | 26 | 9 | | | | | 39 | S/I | 0.0726 |
| | I | | | 18 | 7 | 3 | | | | 28 | S/R | 0.5957 |
| | R | 4 | | 13 | 6 | | | | | 23 | I/R | 0.0594 |
| | Total | 8 | | 57 | 22 | 3 | | | | 90 | | |
| ALOMYGrpB | S | 23 | | 14 | 2 | | | | | 39 | S/I | 0.0935 |
| | I | 9 | | 16 | 3 | | | | | 28 | S/R | 0.0025 |
| | R | 4 | | 13 | 4 | 2 | | | | 23 | I/R | 0.2768 |
| | Total | 36 | | 43 | 9 | 2 | | | | 90 | | |

Tab. 4 Correlation Matrix of the different management factors. Values indicate pearsons correlation coefficient. Significance levels are indicated with $p<0.001$ ***, $p<0.01$ ** and $p<0.05$ *).

Tab. 4 Korrelationsmatrix der verschiedenen Management-Faktoren. Die Werte stellen Pearsons-Korrelationskoeffizienten dar. Signifikanzen sind mit $p<0.001$ ***, $p<0.01$ ** und $p<0.05$ * angegeben.

| | WCereals | SCrops | NCrops | Ploughing | ALOMYHerb | ALOMYGrpB | UniqueMoA |
|--------------------|----------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| WCereals | | | | | | | |
| SCrops | -0.46*** | | | | | | |
| NCrops | -0.61*** | 0.40*** | | | | | |
| Ploughing | -0.37*** | 0.10 | 0.23* | | | | |
| ALOMYHerb | -0.01 | -0.34*** | 0.01 | -0.07 | | | |
| ALOMYGrpB | 0.33** | -0.12 | -0.34** | -0.23* | 0.37*** | | |
| UniqueMoA | 0.06 | -0.29** | 0.07 | 0.04 | 0.53*** | 0.01 | |
| SeedingDate | -0.15 | 0.49*** | -0.16 | 0.12 | -0.35*** | -0.05 | -0.31** |

Clustering of groups and feature identification

To analyze the hypothesis that equal management leads to an equal resistance status all fields were grouped based on the eight management variables assessed using cluster analysis. Three distinctive groups (clusters) that show similar values for the variables assessed were extracted from the dataset (Tab. 5). All clusters were of almost equal size. Cluster 1 contains 73% sensitive

fields and 10% resistant fields, while cluster 3 only contains 10% sensitive fields but 90% of fields were resistance was detectable (I+R). Cluster 2 contains 48% sensitive fields (Tab. 5) indicating that at least some resistance was detectable in 52% of the fields in this cluster.

Recursive partitioning was done to separate these three clusters and identify the underlying management factors that characterize every group (Fig. 1). It was found that cluster 3 contains fields that are mostly characterized by a high herbicide use with 50% or more of winter cereals in the crop rotation while only 10% of these samples had less than 50% winter cereals in the rotation (Node 8 and 9, Fig. 1). Among the fields in cluster 1 63% showed lower intensity of herbicide use compared to group 3 with higher intensities of ploughing compared to the majority of fields of group 2 (Node 5 and 6, Fig. 1). Group 2 differed from group 3 in a lower herbicide intensity. 59% showed also lower portions of ploughing. However, there was a smaller portion in this group (28%) that was similar to group 1 but showed lower levels of herbicide intensity (Node 5, Fig. 1). Group 2 seems therefore to be a group that is not clearly separable from group 1 which contains mostly sensitive fields and indicates that this type of management does not fully explain the resistance status as we see it at the moment. Management by itself is therefore only one of the aspects resulting in the distribution of fields with different ALS resistance statuses within this group. Other factors not considered within this analysis (quality of the management factors, ecological field factors) might therefore also be of importance.

Tab. 5 Cluster Solution of field management variables and frequency of every ALS Resistance Status (AS) found within each group.

Tab. 5 Cluster-Gruppierungen der Variablen zur Bewirtschaftung und Häufigkeit des Auftretens nach Status der ALS Resistenz (AS).

| AS | Group 1 | Group 2 | Group 3 | Sum |
|--------------|---------|---------|---------|-----|
| S | 22 | 14 | 3 | 39 |
| I | 5 | 9 | 14 | 28 |
| R | 3 | 6 | 14 | 23 |
| Total | 30 | 29 | 31 | |

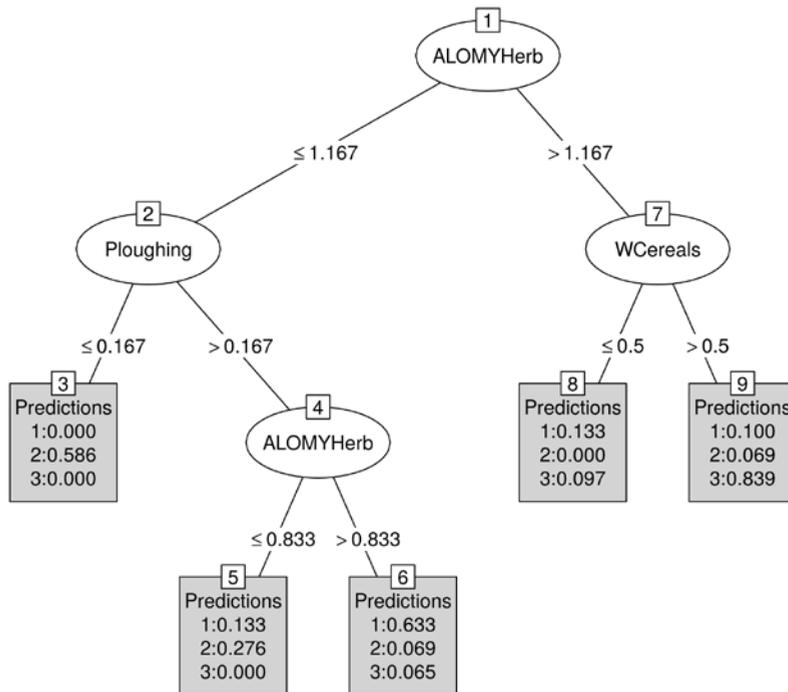


Fig. 1 Separation of the three clusters (groups) identified in Table 5 by management factors. Relative distribution of the three clusters (groups) is indicated by the numbers 1 to 3 in the terminal nodes (grey box).

Abb. 1 Verteilung der drei Gruppen aus Tabelle 5 nach den Hauptmanagementfaktoren. Die Anteilige Verteilung der Gruppen ist durch die Nummern 1 bis 3 dargestellt (graue Box).

Discussion

Non-chemical measures in combination with herbicides (Integrated Weed Management) is less frequently used in agriculture in our days because of the uncertainty of its success, its higher time consumption and its often higher costs (LUTMAN et al., 2013). We report here for the first time an analysis of a random field sampling survey that assessed the outcome of different weed management strategies used by farmers under practical conditions over a 6 year time frame. As reported by BECKIE (2009) the risk of resistance was highest among rotations comprising four or more cereal crops in a 6 year rotation. Our findings show a similar trend but differences become clearer if the portion of cereals was exceeding four in six years (Tab. 2). Based on fields showing low product efficacy, DÉLYE et al. (2010) found no significant correlation between resistance and the frequency of winter cereals indicating the importance of a true random sampling for assessment of management factors. A lack of diversity in the crop rotation as indicated by a lower number of crops grown and a lower portion of summer crops was more often found in fields being classified as resistant. Similar results were obtained for *Avena fatua*, from a survey by BECKIE et al. (2008). LUTMAN et al. (2013) ranked summer crops as having the strongest effect in reducing the blackgrass population. In our study maize (*Zea mays*) was a very prominent example of a summer crop that due to its biology is harvested later. The correlation between summer crops and late seeding date can be partially explained by the late seeding dates of the subsequent wheat crop following maize (Tab. 4). In addition maize fields were mostly ploughed in autumn which consequently results in several non-chemical measures that are associated with that particular crop. Ploughing by itself, due to its ability to bury (resistant) seeds in deeper soil layers where they cannot germinate, is also reported to reduce the weed seed bank (LUTMAN et al., 2013; BECKIE, 2009).

Our study suggests that diversity in crop rotations is more important to slow down the evolution of resistance than diversity of herbicide use (Tab. 2, 3). This is confirmed by the data of cluster 3 (Fig. 1, Tab. 5) which is characterized by intensive herbicide use together with mostly high portions of winter cereals. Reducing the selection pressure by introducing more non-chemical measures results therefore in a longer availability of this potent tool. JASIENIUK et al. (2008) found that the level of resistance is quite variable and attributed this to the diversity of management systems resulting in differences in herbicide pressure. It is clear from this study that there are management systems that include more than just one tool to fight blackgrass with the success of less resistance cases resulting in these groups (Fig. 1, Tab. 5). However, our study also shows that management practices cannot explain all observations and that there are certain management strategies that work on one field but not the other. The interviews with farmers revealed that most of their troublesome fields were the ones they converted from grassland to arable land the latest due to a historic risk of water logging. It is known that blackgrass prefers high moisture and high clay contents and that on these fields higher population densities are observed. This might mean that in certain locations, higher risks of weed resistance evolution to herbicides are intrinsically present and in these cases IWM measures should be applied with particular care. The analysis of soil maps to further elucidate the contribution of these environmental factors to herbicide resistance evolution is currently in progress. Due to economical constraints, ideal crop rotation might not always be possible. In that case, rotation of mode of action between autumn and spring application is recommended. However, diversifying the toolbox and the use of all measures of integrated weed management is the key to delay resistance in blackgrass and preserve the existing herbicides.

References

- BAUCOM, R. S. and R. MAURICIO, 2007: The evolution of novel herbicide tolerance in a noxious weed: the geographic mosaic of selection. *Evol. Ecol.* **22** (1), 85–101.
- BECKIE, H. J., 2009: Herbicide Resistance in Weeds: Influence of Farm Practices. *Prairie Soils and Crop. J.* **2**, 17–23
- BECKIE, H.J., J.Y. LEESON, A.G. THOMAS, L.M. HALL and C. BRENZIL, 2008: Risk Assessment of Weed Resistance in the Canadian Prairies. *Weed Technol.* **22** (4), 741–746.
- DÉLYE, C, S. MICHEL, A. BÉRARD, B. CHAUVEL, D. BRUNEL, J.-P. GUILLEMIN, F. DESSAINT and V. LE CORRE, 2010: Geographical variation in resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase-inhibiting herbicides across the range of the arable weed *Alopecurus myosuroides* (black-grass). *New Phytol.* **186** (4), 1005–1017.
- HEAP, I. 2013: International Survey Of Herbicide Resistant Weeds. www.weedscience.org
- HERRMANN, J., M. HESS, T. SCHUBEL, H. STREK, O. RICHTER and R. BEFFA, 2014: Spatial and temporal development of ACCase and ALS resistant Black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) populations in neighboring fields in Germany. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 273–279.
- 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**, 1–8.
- HOTHORN, T., K. HORNIK and A. ZEILEIS, 2006: Unbiased recursive partitioning: A conditional inference framework. *J. Comput. Graph. Stat.* **15**(3), 651–674.
- JASIENIUK, M., R. AHMAD, A.M. SHERWOOD, J.L. FIRESTONE, A. PEREZ-JONES, W.T. LANINI, C. MALLORY-SMITH and Z. STEDNICK, 2008: Glyphosate-Resistant Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum*) in California: Distribution, Response to Glyphosate, and Molecular Evidence for an Altered Target Enzyme. *Weed Sci.* **56** (4), 496–502.
- LUTMAN, P., S. R. MOSS, S. COOK and S. J. WELHAM, 2013: A review of the effects of crop agronomy on the management of *Alopecurus myosuroides*. *Weed Res.* **53** (5), 299–313.
- MENCHARI, Y., C. DÉLYE and V. LE CORRE, 2007: Genetic variation and population structure in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.), a successful, herbicide-resistant, annual grass weed of winter cereal fields. *Mol. Ecol.* **16**(15), 3161–3172.
- MOSS, S., S. PERRYMAN and L. TATNELL, 2007: Managing Herbicide Resistant Blackgrass (*Alopecurus myosuroides*): Theory and Practice. *Weed Technol.* **21** (2), 300–309.
- NEVE, P, R. BUSI, M. RENTON and M. VILA-AIUB, 2014: Expanding the eco-evolutionary context of herbicide resistance research. *Pest Management Science* **70** (9), 1385–1393.
- POWLES, S. and Q. YU, 2010: Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annu. Rev. Plant Biol.* **61**, 317–347.
- R CORE TEAM, 2015: R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2015. www.R-project.org.

Impact of the safener Mefenpyr-diethyl on herbicide resistance evolution in *Alopecurus myosuroides* (Huds.) biotypes

Einfluss des Safeners Mefenpyr-diethyl auf die Entwicklung von Herbizidresistenz bei *Alopecurus myosuroides* (Huds.)-Biotypen

Maria Rosenhauer¹, Chris Rosinger², Jan Petersen^{1*}

¹Fachhochschule Bingen, Fachbereich Life Science and Engineering, Fachrichtung Agrarwirtschaft, Berlinstr. 109, 55144 Bingen, Germany

²Bayer Crop Science AG, Industriepark Höchst, H872, 65926 Frankfurt, Germany

*Corresponding author, petersen@fh-bingen.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.007

Abstract

The evolution of herbicide resistance is an important topic in plant protection and agricultural practice. Safeners are commonly used in herbicides to protect crops against herbicidal damage. Although no effect on the weed control is expected, it has been theorized that the rate of evolution of non-target site resistance (NTSR) in weeds in cereals may be enhanced by use of herbicide products containing safeners. One of the most important safeners in cereals is mefenpyr-diethyl. Therefore, the possible influence of mefenpyr on herbicide resistance was studied in cooperative trials between Bayer CropScience (BCS, F-Höchst) and FH Bingen. The trials tested in parallel different herbicide resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides* (Huds.)) biotypes under greenhouse conditions. The biotypes were chosen due to known NTSR against Atlantis WG® (4 highly resistant and 5 moderately resistant) as well as two susceptible biotypes. The populations were treated with the following three herbicide/safener regimes in six concentrations adjusted according to the anticipated biotype resistance levels. (1) mesosulfuron + iodosulfuron + without safener formulation, (2) mesosulfuron + iodosulfuron + constant mefenpyr concentration (45g/ha), (3) mesosulfuron + iodosulfuron + varying mefenpyr concentrations (ratio 5:1:15). The treatments were applied in post-emergence based on mesosulfuron to iodosulfuron ratios in Atlantis WG® (5:1). The trials were assessed visually (% effect) and by fresh weight. Dose-response curves were performed and ED₅₀ values for each treatment and biotype were calculated. Results showed a varying effect of safeners which was in the most cases negligible. Depending on the biotypes mostly no impact on the safener was found for herbicide resistance. In conclusion, the trials from Bingen and F-Höchst gave evidence, that there is no significant and consistent influence of the safener mefenpyr on evolution of NTSR black-grass.

Keywords: ALS-inhibitor, black-grass, non-target-site resistance, safener

Zusammenfassung

Eines der wichtigsten Themen im Bereich Pflanzenschutz im Ackerbau ist die Entwicklung von Herbizidresistenzen in Unkräutern. Safener werden gewöhnlich in Herbiziden verwendet, um die Kulturpflanze vor möglichen Schäden zu schützen, ohne die Wirksamkeit gegenüber den Unkräutern zu verringern. Allerdings besteht die Überlegung, dass die Verwendung von Herbiziden mit Safenern auch bei Ungräsern zu einer Veränderung des Herbizidabbaus führt und die Entwicklung von nicht-Zielortresistenzen (NTSR) begünstigen könnten. Da einer der wichtigsten Safener in Getreideherbiziden Mefenpyr-diethyl ist, wurde in der vorliegenden Studie der mögliche Einfluss von Mefenpyr auf die Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz in einem Kooperationsversuch zwischen Bayer CropScience (BCS, F-Höchst) und der FH Bingen untersucht. Es wurden parallel an beiden Standorten Acker-Fuchsschwanzherkünfte (*Alopecurus myosuroides* (Huds.)) mit unterschiedlichen Herbizidresistenzen im Gewächshaus getestet. Die Auswahl der Herkünfte erfolgte anhand bekannter Resistenzen (NTSR) gegen Atlantis WG® (4 stark resistente und 5 mittel resistente, sowie zwei sensitive Herkünfte). Es wurden drei verschiedene Herbizid-Safener Varianten in jeweils 6 Dosierungen, die an das Resistenzlevel der Herkünfte angepasst waren, getestet: (1) Mesosulfuron + Iodosulfuron + ohne Safener Formulierung, (2) Mesosulfuron + Iodosulfuron + konstant 45 g/ha Mefenpyr, (3) Mesosulfuron + Iodosulfuron + abgestufte Mefenpyr Konzentration im Verhältnis 5:1:15. Die Behandlungen wurden im Nachauflauf appliziert und basierten auf einem Mesosulfuron + Iodosulfuron Verhältnis von 5:1 (Atlantis WG®). Die Versuche wurden visuell (% Wirkung) und anhand des Frischgewichts bonitiert. Dosis-Wirkungskurven und ED₅₀-Werte wurden für jede Behandlung und jede Herkunft berechnet. Die Ergebnisse zeigten einen variierenden Einfluss des Safeners auf die Herbizidresistenz der von der Acker-Fuchsschwanzherkunft abhing. In den meisten Fällen erwies sich der Safener Einfluss als nicht groß. Somit konnten die Versuche in F-Höchst

und Bingen zeigen, dass kein signifikanter und übergreifender Einfluss des Safeners Mefenpyr auf die Nicht-Zielortresistenz bei Acker-Fuchsschwanz besteht.

Stichwörter: Acker-Fuchsschwanz, ALS-Hemmer, Nicht-Zielortresistenz (NTSR), Safener

Introduction

Selective grass weed control in cereals has become more and more difficult today, because enhanced metabolic resistance (EMR) often reduce the efficacy of the herbicides. However, EMR seems to be controlled by many genes (PRESTON, 2003; YUAN et al., 2007; DÉLYE et al., 2010, 2013; PETIT et al., 2010; POWLES and YU, 2010). Different gene combinations of different biotypes within a field (or on neighboring fields) may result in a stronger resistant weed generation (MENCHARIE et al., 2006, 2007). As a consequence, weed resistance may affect more herbicides and resistance factors may be higher. Modern selective herbicides often contain a safener to ensure selectivity to the crop (e.g. mefenpyr in Atlantis WG®). These safeners increase the ability of the crop to degrade the herbicide more quickly due to activation of responsible enzymes such as CYP450 and GSTs. Safeners can only be used if there is an effect on the crop but not on the weeds. However, in some grass weeds like *Alopecurus myosuroides* (Huds.) there are biotypes which are able to >detoxify active ingredients of herbicide by similar enzymes which are addressed by the safeners in the crop (CUMMINS et al., 1997; COLE, 1997; HATZIOS and BURGOS, 2004). This leads to the question, of whether safeners can also induce some enzymes in the weed which are responsible for EMR. If this is the case, use of safeners could increase the speed of herbicide resistance evolution. In general safeners are not responsible for evolution of EMR because EMR is an older phenomenon than use of safeners in selective weed control in cereals. However there might be an additional effect by using some safeners in some weed species or biotypes thereof. To detect possible effects of safeners on the evolution of herbicide resistance in *A. myosuroides* a cooperative greenhouse trial was conducted. The aim was to test in parallel different herbicide resistant *A. myosuroides* biotypes under greenhouse conditions in Bingen (FH-Bingen) and at the same time in Frankfurt-Höchst (Bayer CropScience). Three different herbicide treatments of mesosulfuron + iodosulfuron with and without safener mefenpyr were used to address the question, of whether safeners change dose-response curves of herbicides in EMR black-grass biotypes.

Materials and Methods

Dose-response curves of three different herbicide treatments of mesosulfuron + iodosulfuron and mefenpyr, and eleven *A. myosuroides* biotypes were performed in the greenhouses in Bingen and Frankfurt-Höchst (F-Höchst). Five replications with 5 plants per pot were performed in Bingen. In F-Höchst a defined seed density was sown per pot with five replications. The first treatment was a constant portion of blank formulation (without safener) and herbicide, the second treatment was a constant concentration of mefenpyr independent from the herbicide concentration and the third treatment was a varied concentration of safener mefenpyr. Six herbicide dosages per treatment and an untreated control were analysed. The herbicide treatments and rates and the characterization of the biotypes are given in Table 1.

Tab. 1 Herbicide treatments and *A. myosuroides* biotype characterization for the safener trial in Bingen and F-Höchst 2015 (each dose was applied with 1.0 l/ha Biopower as additive).

Tab. 1 Herbizidbehandlungen und Acker-Fuchsschwanz Biotyp Charakterisierung des Safener Versuchs in Bingen und F-Höchst 2015 (jede Dosierung wurde mit 1,0 l/ha Biopower appliziert).

| Treatment | Meso-sulfuron g/ha | Iodo-sulfuron g/ha | Mefenpyr g/ha | | | senH ¹ | senA ¹ | DEU12053 ² | GBR13010 ² | Elbe ² | 710 ² | 601 ³ | A12_508 ³ | A12_522 ³ | A14_616 ³ | A14_575 ³ |
|-----------|--------------------|--------------------|---------------|------------|------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|------------------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | | (1) blank* | (2) const. | (3) varied | | | | | | | | | | | |
| T1 | 0.59 | 0.12 | 0 | 45 | 1.76 | x | x | | | | | | | | | |
| T2 | 1.17 | 0.23 | 0 | 45 | 3.52 | x | x | | | | | x | x | x | x | x |
| T3 | 2.34 | 0.47 | 0 | 45 | 7.03 | x | x | | | | | | | | | |
| T4 | 4.69 | 0.94 | 0 | 45 | 14.06 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| T5 | 9.38 | 1.88 | 0 | 45 | 28.13 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| T6 | 18.75 | 3.75 | 0 | 45 | 56.25 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| T7 | 37.5 | 7.5 | 0 | 45 | 112.5 | | | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| T8 | 75.0 | 15.0 | 0 | 45 | 225.0 | | | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| T9 | 150.0 | 30.0 | 0 | 45 | 450.0 | | | x | x | x | x | | | | | |
| control | none | none | none | none | none | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |

*Biotype characterisation 1=sensitive, 2=high resistance factor,3=moderate resistance factor; *blank formulation without mefenpyr*

None of the biotypes showed target-site resistance (TSR) towards ALS inhibitors but decreased sensitivity towards Atlantis WG®. Biotype "Elbe" showed in previous studies a resistance factor of 19.1, biotype "710" of 6.0, indicating high resistance against Atlantis WG®. Biotype "601" showed a resistance factor of 2.6. The other biotypes were not previously characterized by dose-response curves. Results of monitoring trials showed herbicide efficacies between 10 and 55% for the biotypes "A12_508", "A12_522", "A14_616" and "A14_575". Additional biotypes were offered from Bayer Crop Science ("DEU_12053" and "GBR_13010") previously shown to have high resistance factors (>10).

Herbicide application was done with a precision lab sprayer in BBCH 12 at both trial sites. Herbicide efficacies were assessed visually 21 days after application and single plant fresh weight was measured. Based on the visual assessment and the relative fresh weight dose-response curves were calculated (STREIBIG, 1988) using the statistical software of SigmaPlot (11.0). ED₅₀ values for each biotype and treatment as well as the standard error and the coefficient of determination were calculated. Based on the ED₅₀ mean value of the two susceptible populations (sen A and sen H) resistant factors were calculated for fresh weight data (RF=ED₅₀ res/MV(ED₅₀ senH; ED₅₀ senA)). A two factorial ANOVA (p = 0.05) was conducted for fresh weight data used SAS procedure GLM (software package 9.11). LSD test (Tukey 0.05) was used to compare mean values of different treatments/populations.

Results

Greenhouse trial at Bingen

The ED₅₀ values based on the plant fresh weight are given in Table 2 for the results from Bingen. The ED₅₀ values varied between the biotypes and the treatments. They range between a minimum of 9 ("senA"-varied) and a maximum of 1794 ("Elbe"-blank). A calculation of the ED₅₀ values for biotype "A14_575" was not possible for the treatment with the blank formulation or the varying concentration of mefenpyr. Biotype "710" showed the lowest ED₅₀ value after the treatment with mesosulfuron + iodosulfuron + blank formulation. Biotypes "DEU_12053", "601" and "A12_616" were best controlled with the constant concentration of the safeners and all other biotypes showed highest herbicide efficacy when treated with the varying safener concentration.

Tab. 2 ED₅₀ values, standard errors and coefficients of determination for each *A. myosuroides* biotype and treatment based on relative fresh weight of the trial from Bingen.

Tab. 2 ED₅₀-Werte, Standarderror und Bestimmtheitsmaß für jeden Acker-Fuchsschwanz-Biotyp und Behandlung, basierend auf den relativen Frischgewichten am Versuchsort Bingen.

| | | A. myosuroides biotypes | | | | | | | | | | |
|----------|------------------|-------------------------|------|----------|----------|--------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|
| | | senH | senA | DEU12053 | GBR13010 | Elbe | 710 | 601 | A12_508 | A12_522 | A14_616 | A14_575 |
| BINGEN | ED ₅₀ | 18 | 12 | 885 | 935 | 1794 | 197 | 172 | 21 | 11 | 74 | - |
| | SE | 1.9 | 2.3 | 295.1 | 489.8 | 1134.3 | 74.2 | 97.8 | 2.7 | 1.6 | 39.4 | - |
| | r ² | 0.80 | 0.71 | 0.62 | 0.24 | 0.21 | 0.56 | 0.35 | 0.90 | 0.90 | 0.28 | - |
| CONSTANT | ED ₅₀ | 23 | 25 | 574 | 1211 | 1143 | 487 | 133 | 23 | 13 | 32 | 797 |
| | SE | 3.4 | 2.0 | 90.2 | 623.2 | 232.7 | 655.9 | 70.3 | 1.8 | 1.1 | 29.8 | 264.5 |
| | r ² | 0.72 | 0.86 | 0.70 | 0.32 | 0.31 | 0.24 | 0.35 | 0.96 | 0.94 | 0.23 | 0.40 |
| VARIED | ED ₅₀ | 12 | 9 | 1689 | 426 | 660 | 270 | 207 | 11 | 9 | 44 | - |
| | SE | 1.6 | 1.7 | 910.8 | 135.9 | 121.2 | 62.0 | 271.0 | 0.9 | 2.1 | 38.0 | - |
| | r ² | 0.77 | 0.72 | 0.48 | 0.44 | 0.52 | 0.72 | 0.11 | 0.95 | 0.75 | 0.18 | - |

There were differences between the ED₅₀ values based on the visually estimated herbicide efficacies and the ED₅₀ values based on the relative fresh weights (data not shown). The visual assessment did in most cases not identify those treatments where the lowest ED₅₀ values were found after the fresh weight measurement. Exceptions were biotype “GBR13010”, “Elbe” and “601”. These results indicate that the fresh weight measurement is necessary for the correct evaluation of herbicide efficacies.

A two-factorial ANOVA, based on the relative fresh weight showed no interaction between the *A. myosuroides* biotype and the herbicide treatment (Tab. 3). Therefore, at least the results from Bingen gave evidence, that the hypothesis of a safer effect on herbicide resistance in metabolic resistant *A. myosuroides* biotypes is not true.

Tab. 3 Results of two-factorial ANOVA based on relative fresh weight (trial Bingen; treatment – without safener, constant or variable safener concentration).

Tab. 3 Ergebnisse der zwei-faktoriellen Varianzanalyse (Biotyp x Behandlung) basierend auf den relativen Frischgewichten (Versuchsort Bingen, Behandlung ohne Safener, mit konstanten und variablen Safenerzusatz).

| Dose % | Biotyp | Treatment | Biotyp x treatment |
|--------|--------|-----------|--------------------|
| 0 | n.s. | n.s. | n.s. |
| 3.906 | *** | n.s. | n.s. |
| 7.813 | *** | *** | n.s. |
| 15.63 | n.s. | ** | n.s. |
| 31.25 | *** | n.s. | n.s. |
| 62.5 | *** | n.s. | n.s. |
| 125 | *** | n.s. | n.s. |
| 250 | *** | n.s. | n.s. |
| 500 | *** | n.s. | n.s. |
| 1000 | * | n.s. | n.s. |

n.s. - not significant; *p < 0.05; **p < 0.001; *** p < 0.0001

Summarizing the results of Bingen, no clear effect of the safener mefenpyr was detectable on the herbicide efficacy. There were differences between the biotypes but the resistance level of the biotypes seems to have no influence.

Greenhouse trial at F-Höchst

Results of the calculation of dose-response curves based on the relative fresh weight and the corresponding ED₅₀ values from F-Höchst are given in Table 4.

Tab. 4 ED₅₀ values, standard errors and coefficients of determination for each *A. myosuroides* biotype and treatment based on relative fresh weight of the trial from F-Höchst.

Tab. 4 ED₅₀-Werte, Standardabweichung und Bestimmtheitsmaß für jeden Acker-Fuchsschwanz-Biotyp und Behandlung, basierend auf den rel. Frischgewichten am Versuchsort F-Höchst.

| | | Black-grass biotypes | | | | | | | | | | |
|----------|--------------------|----------------------|------|--------------|--------------|-------|-------|------|---------|---------|---------|---------|
| F-HÖCHST | | senH | senA | DEU120 53 | GBR130 10 | Elbe | 710 | 601 | A12_508 | A12_522 | A14_616 | A14_575 |
| | ED ₅₀ * | 16 | 15 | 324 | 86 | 469 | 108 | 42 | 9 | 8 | 8 | 14 |
| BLANK | SE | 1.7 | 1.5 | 51.9 | 18.9 | 166.8 | 24.9 | 9.8 | 1.8 | 3.3 | 5.0 | 6.9 |
| | r ² | 0.90 | 0.93 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.88 | 0.78 | 0.95 | 0.84 | 0.83 | 0.83 |
| CONSTANT | ED ₅₀ | 19 | 17 | 2090 | 277 | 986 | 157 | 30 | 15 | 12 | 26 | 38 |
| | SE | 1.9 | 1.8 | 1586.2 | 75.4 | 409.9 | 40.2 | 6.2 | 2.2 | 3.4 | 6.6 | 13.6 |
| | r ² | 0.90 | 0.90 | 0.71 | 0.75 | 0.70 | 0.84 | 0.89 | 0.95 | 0.86 | 0.87 | 0.86 |
| VARIED | ED ₅₀ | 10 | 9 | 1224 | 251 | 1187 | 302 | 57 | 12 | 21 | 42 | 94 |
| | SE | 1.0 | 0.0 | 419.7 | 76.1 | 543.5 | 107.7 | 10.5 | 2.4 | 4.8 | 10.6 | 34.8 |
| | r ² | 0.91 | 0.94 | 0.83 | 0.77 | 0.79 | 0.83 | 0.65 | 0.92 | 0.84 | 0.76 | 0.74 |

The ED₅₀ values ranged between a minimum of 8 ("A14_616" – blank) and a maximum of 2090 ("DEU12053" – constant). The ED₅₀ values differed between the biotypes and the treatments. For all biotypes except for the susceptible biotypes "senH" and "senA", and the resistant biotype "601" the lowest ED₅₀ values were found with the blank formulation. A two-factorial ANOVA based on the relative fresh weight showed varying results (Tab. 5). Depending on the herbicide dosages interactions between the biotype and treatment were found.

Tab. 5 Results of two-factorial ANOVA based on relative fresh weight (trial F-Höchst; treatment – without safener, constant or variable safener concentration).

Tab. 5 Ergebnisse der zwei-faktoriellen Varianzanalyse (Biotyp x Behandlung) basierend auf den relativen Frischgewichten (Versuchsort F-Höchst, Behandlung ohne Safener, mit konstanten und variablen Safenerzusatz).

| Dose % | Biotype | Treatment | Biotype x treatment |
|--------|---------|-----------|---------------------|
| 0 | n.s. | n.s. | n.s. |
| 3.906 | * | *** | n.s. |
| 7.813 | ** | n.s. | *** |
| 15.63 | n.s. | *** | n.s. |
| 31.25 | *** | n.s. | n.s. |
| 62.5 | *** | *** | n.s. |
| 125 | *** | n.s. | * |
| 250 | *** | * | ** |
| 500 | *** | ** | ** |
| 1000 | *** | *** | n.s. |

n.s. - not significant; *P < 0.05; ** < 0.001; *** P < 0.0001

Comparison of both trial sites

Summarizing the results from Bingen and F-Höchst, resistance factors were calculated based on the mean value of the susceptible biotypes for each *A. myosuroides* biotype, treatment and trial site (Tab. 6).

Tab. 6 Resistant factors of *A. myosuroides* biotypes treated with different mesosulfuron/iodosulfuron concentrations without and with safener mefenpyr based on ED₅₀ values.

Tab. 6 Resistenzfaktoren der Acker-Fuchsschwanz-Biotypen behandelt mit verschiedenen Mesosulfuron/Iodosulfuron Konzentrationen mit und ohne dem Safener Mefenpyr, basierend auf den ED₅₀-Werten.

| Biotype | BINGEN | | | F-HÖCHST | | |
|----------|--------|--------|----------|----------|--------|----------|
| | blank | varied | constant | blank | varied | constant |
| senH | 1.2 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.0 |
| senA | 0.8 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 1.0 |
| DEU12053 | > 15.0 | > 15.0 | > 15.0 | > 15.0 | > 15.0 | > 15.0 |
| GBR13010 | > 15.0 | > 15.0 | > 15.0 | 5.5 | > 15.0 | > 15.0 |
| Elbe | > 15.0 | > 15.0 | > 15.0 | > 15.0 | > 15.0 | > 15.0 |
| 710 | 13.4 | > 15.0 | > 15.0 | 7.0 | 8.6 | > 15.0 |
| 601 | 11.7 | 5.6 | > 15.0 | 2.7 | 1.6 | 5.9 |
| A12_508 | 1.4 | 1.0 | 1.0 | 0.6 | 0.8 | 1.3 |
| A12_522 | 0.7 | 0.6 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 2.2 |
| A14_616 | 5.0 | 1.3 | 4.3 | 0.5 | 1.4 | 4.3 |
| A14_575 | >> | > 15.0 | >> | 0.9 | 2.1 | 9.8 |

Discussion

The results from F-Höchst differ from the results obtained in Bingen. While the data from F-Höchst suggest that the safener mefenpyr increases the ED₅₀ values for the treatment 'constant' safener concentration, the data from Bingen did not show this influence so clearly. Possible reasons for the variation between the trial locations might be due to differences in, for example sowing, and application methods and growing conditions on the efficacy of herbicides. In Bingen, five pre-germinated seeds per pot were analysed whereas in F-Höchst the seed density was defined with a constant seed weight per pot. Therefore, different seed densities were given at both trial locations. The seed densities clearly influenced the plant growth and might influence the herbicide efficacy (MENNE et al., 2012). Additionally, the fresh weight measurement was different. Single plant weights were obtained in Bingen, whereas all plant from one pot were measured in F-Höchst. Another explanation for the varying results between F-Höchst and Bingen might be the trial design. In Bingen a randomized setting was performed to exclude side effects as far as possible. In F-Höchst the pots were placed in blocks without randomization, clustering all pots treated with mesosulfuron + iodosulfuron + blank formulation, mesosulfuron + iodosulfuron + varied safener concentration, and mesosulfuron + iodosulfuron + constant safener concentration. It seems to be possible, that the cluster treated with the blank formulation had better conditions for herbicide efficacy.

The visual assessment of the herbicide efficacy resulted in different results between Bingen and F-Höchst. The environmental influences on herbicide efficacy are bigger than suggested. However, the trials from Bingen and F-Höchst gave evidence, that there is no significant and consistent influence of the safener mefenpyr on NTSR in *A. myosuroides*.

References

- COLE, D.J., 1997: Detoxification and activation of agrichemicals in plants. *Pesticide Science* **42**, 209-222.
- CUMMINS, I., S. MOSS, D.J. COLE and R. EDWARDS, 1997: Glutathione transferases in herbicide-resistant and herbicide susceptible black-grass (*Alopecurus myosuroides*). toxification and activation of agrichemicals in plants. *Pesticide Science* **51**, 244-250.
- DÉLYE, C., J.A.C. CARDIN, K. BOUCANSOUD, B. CHAUVEL and C. PETIT, 2011: Non-target-site-based resistance should be the centre of attention for herbicide resistance research: *Alopecurus myosuroides* as an illustration. *Weed Research* **51**, 433-437.
- DÉLYE, C., J.A.C. CARDIN, K. BOUCANSOUD, B. CHAUVEL and C. PETIT, 2013: Unravelling the genetic bases of non-target-site-based resistance (NTSR) to herbicides: a major challenge for weed science in the forthcoming decade. *Pest Management Science* **69**, 179-187.
- HATZIOS, K.K. and N. BURGOS, 2004: Metabolism-based herbicide resistance: regulation by safeners. *Weed Science* **52**, 454-467.
- MENCHARI, Y., C. CALMILLERI, C. MICHEL, S. BRUNEL, F. BESSAINT, V. LE CORRE and C. DÉLYE, 2006: Weed response to herbicides: regional-scale distribution of herbicide resistance alleles in the grass weed (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *New Phytologist* **17**, 861-874.

- MENCHARI, Y., C. DÉLYE and V. LE CORRE, 2007: Genetic variation and population structure in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.), a successful, herbicide-resistant, annual grass weed of winter cereal fields. *Molecular Ecology* **16**, 3161-3172.
- 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.
- 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.
- POWLES, S.B. and Q. YU, 2010: Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. *Annual Review of Plant Biology* **61**, 317-347.
- PRESTON, C., 2003: Inheritance and linkage of metabolism-based herbicide cross-resistance in rigid ryegrass. *Weed Science* **51**, 4-12.
- STREIBIG, J.C., 1988: Herbicide bioassay. *Weed Research* **28**, 479-484.
- YUAN, J.S., P.J. TRANEL and C.N. STEWART, 2007: None-target-site herbicide resistance: a family business. *Trends in Plant Science* **12**, 6-13.

Chlorophyll fluorescence response to herbicide stress in *Alopecurus myosuroides*

Chlorophyll-Fluoreszenz-Reaktion auf Herbizidstress bei *Alopecurus myosuroides*

Pei Wang*, Hui Li, Roland Gerhards

Institute for Phytomedicine 360, Department of Weed Science,
University of Hohenheim, Otto-Sander-Strasse 5, 70599 Stuttgart, Germany

*Corresponding author, wang.pei@uni-hohenheim.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.008

Abstract

Herbicide resistance has been a widely spread problem all over the world. The resistance detection is usually complicated and financial resources consuming. A sensor based monitoring of herbicide resistance would make the resistance detection much faster and spends less. In this research, greenhouse and field experiments with susceptible and resistant populations were conducted to study the chlorophyll fluorescence response of *Alopecurus myosuroides* after herbicide treatment. The fluorescence sensor WEED-PAM was used for measuring the maximum photosynthesis system II quantum yield (Fv/Fm) of *Alopecurus myosuroides* after the application for two weeks.

The Fv/Fm values of all untreated plants were around 0.7. In the greenhouse, Fv/Fm values of treated susceptible plants reduced significantly from 0.7 to 0.6-0.65 since 3 DAT (days after treatment), but Fv/Fm values of herbicide resistant populations show no significant reductions with ALS and ACCase treatments. With the treatment of PSII inhibitors the Fv/Fm values of susceptible and resistant plants decreased to 0.25 and 0.6 (3DAT) and further to 0.1 and 0.5 (14 DAT), respectively. The field experiments show corresponding results to the greenhouse test. With ALS and ACCase treatment, significant Fv/Fm reduction for the susceptible populations can be detected between 3-7 DAT. During the measurement of PS II inhibitor treatment, Fv/Fm values of susceptible plants decreased continuously from 0.5 to 0.2, while the value of resistant population kept stable in range 0.3-0.4.

The prototype WEED-PAM is suitable for the detection of herbicide effects based on Fv/Fm values and takes less time than visual assessment. This research shows the potential usage of fluorescence meter in herbicide resistance detection.

Keywords: Chlorophyll fluorescence, herbicide stress, resistance management, sensor detection, weed

Zusammenfassung

Herbizidresistenz ist zu einem weit verbreiteten Problem weltweit geworden. Die Detektion von Resistenzen ist in der Regel kompliziert und kostenintensiv. Eine sensorbasierte Überwachung von Herbizidresistenz würde deren Bestimmung viel schneller und günstiger machen. In dieser Arbeit wurden Feld- und Gewächshausexperimente mit sensitiven und resistenten Populationen von *Alopecurus myosuroides* durchgeführt. Hierbei wurde die Chlorophyllfluoreszenz der Pflanzen gemessen um die Wirkung von Herbizid-Behandlungen zu untersuchen. Die maximale Quantenausbeute des Photosystem II (Fv/Fm) von *Alopecurus myosuroides* wurde nach der Herbizid-Behandlung für zwei Wochen mit dem Chlorophyll-Fluoreszenz-Sensor WEEDPAM gemessen.

Die unbehandelten Kontrollpflanzen zeigten stabile Fv/Fm Werte von rund 0,7. In den Gewächshausversuchen mit ALS und ACCase Hemmern sanken die Fv/Fm Werte der behandelten sensitiven Pflanzen 3 TnA (Tage nach Applikation) signifikant von 0,7 auf 0,6-0,65 ab. Die resistenten Pflanzen hingegen zeigten keine signifikanten Abnahmen. Die Fv/Fm-Werte sanken in der Behandlung mit PS II-Inhibitoren innerhalb von 3-4 Tagen in der sensitiven Population auf 0,25 und in den resistenten Pflanzen auf 0,6, 14 TnA zeigten sich für sensitive Pflanzen noch niedrigere Werte von 0,1, wohingegen resistente Pflanzen Werte von 0,5 aufwiesen. Die Feldversuche zeigten ähnliche Ergebnisse wie die Gewächshausversuche. In den ALS- und ACCase Behandlungen wurden für die sensitiven Populationen signifikante Fv/Fm Reduktionen bereits nach 3-7 TnA festgestellt. In den Behandlungen mit PS II Inhibitoren fielen die Fv/Fm Werte der sensitiven Pflanzen kontinuierlich von 0,5 auf 0,2 ab (innerhalb von 14 Tagen), während die resistenten Pflanzen stabil auf einem Wert von 0,3-0,4 blieben. Der WEED-PAM Prototyp eignet sich für die sensorbasierte Stress-Detektion von Herbizideffekten mittels der Fv/Fm Werte. Weiterhin ist diese Methode sehr viel schneller als die visuelle Beurteilung der Herbizidsymptome. Diese Untersuchung zeigt den potentiellen Nutzen von Fluoreszenzmessgeräten für die Erfassung von Herbizidresistenzen.

Stichwörter: Chlorophyll-Fluoreszenz, Herbizid-Stress, Resistenzmanagement, Sensorerkennung, Unkraut

Introduction

Weeds are an important factor in agriculture. Weeds affects crop yield. Generally 13% yield losses due to the weed competition against the cereals are reported (OERKE et al., 1995). What is worse, because continuous application of herbicides in same mode of actions, herbicide resistance has been discovered in 239 weed species (139 dicotyledons and 100 monocotyledons) during the past decades (HEAP, 2015). This made weed management strategies more complicated in recent years (MOSS ET AL., 2007).

In Europe, *Alopecurus myosuroides* (blackgrass) is one of the most widespread herbicide resistant grassweed. The occurrence has been reported in ten countries (MOSS, 2004). Both target site resistance (TSR) and non-target site resistance (NTSR) mechanisms have taken place to survive resistant *Alopecurus myosuroides* populations from herbicide treatments with different modes of action (DÉLYE et al., 2011). On worse aspect, cross-resistant and multiple resistant populations appeared after the over usage of herbicides mixture (DE PRADO et al., 2004). It results in greater economic losses for farmers, considering the additional input and lower yields (ORSON, 1999; GERHARDS, 2009).

In order to establish the control strategies for resistant weeds, diagnostic approaches of the specie characters should be constructed. Up to date, there are four methods, including greenhouse bioassays, biochemical assays, molecular assays and analytical assays, being generally used for the weed resistance diagnostic by weed researchers (BEFFA, 2012). However, the mentioned diagnostics are laboratory or greenhouse based. That request long period of time, high financial support, specific laboratory instruments and equipment, expertise knowledge and special experimental skills (KAISER et al., 2013; BURGOS et al., 2013).

In 1984, induction of chlorophyll fluorescence was observed on barley leaves when the carbon assimilation was affected (QUICK and HORTON, 1984). It starts an era for stress detection on photosynthesis with chlorophyll fluorescence measurement. In weed science, herbicide stress on PS II was used for the dose optimization by measuring photosynthetic efficiency (KEMPENAAR et al., 2010). Also in laboratory and greenhouse studies, the chlorophyll fluorescence was used to quantify the agar based Syngenta 'RISQ' test and detected the herbicide resistance in *Alopecurus myosuroides* depending on the dose response analysis (KAUNDUN et al., 2011; KAISER et al., 2013; WANG et al., 2015). There is few publications focus on the approaches for real-time herbicide resistance detection yet.

The objectives of this study is to develop a portable sensor which would be capable to use in the field for measuring chlorophyll fluorescence quantum yield of PSII (Fv/Fm); and secondly, work up a sensor based assessment to find out the herbicide stress shortly after application, which corresponds to the bioassay of the plants surviving herbicide treatments. The results would contribute to the strategy decision for farmers and researchers to control herbicide resistant weeds in the future.

The hypothesis of this paper is that the stress from inhibitors of ALS (branched chain amino acid synthesis) and ACCase (lipid synthesis) interfere the electron transport systems of plants including the steps in photosynthesis systems (RIETHMUELLER-HAAGE et al., 2006a, b). Furthermore, different responses of chlorophyll fluorescence intensity correspond to the herbicide mode of action and the duration after treatments (OORSCHOT and LEEUWEN, 1992).

Materials and Methods

Experiment design and seed origin for greenhouse tests

Seeds of one multiple resistant population and one susceptible population were sowed separately in the greenhouse. The multiple resistant seeds were collected from greenhouse cultivated

Alopecurus myosuroides that had been proved to be strongly resistant to herbicides with modes of action in ALS, ACCase and PS II due to the greenhouse bioassay (population from Heilbronn, Baden-Wuerttemberg, Germany) (GERHARDS, 2013). The seeds of susceptible population were bought from HerbiSeed (Twyford, UK). The seeds were sown in 15 × 20 cm pots filled with vermiculite for germination. The plants were transplanted into 8 × 8cm paper pots (Jiffy, 4 plants per pot) when the first true leaf emerged from coleoptile (BBCH 10). The transferred plants were separated into eight groups. Three replicate of pots were setup for each subgroup. The plants were treated with herbicides at the growth stages of BBCH 22-23. The herbicide treatment was listed in Table 1. Herbicide spray was conducted with a spray chamber according to the recommended dose of each herbicide. The spray volume was calibrated to 200 L/ha. The pots were placed in greenhouse with completely randomized design.

Tab. 1 Treatment herbicides and dose rates for greenhouse test. MoA: Mode of Action.

Tab. 1 Herbizidbehandlungen und Aufwandmengen im Gewächshausversuch. MoA: Wirkungsweise.

| No. | Treatments | MoA | Water [L/ha] | Herbicide [g/ha or L/ha] | Additive [L/ha] |
|-----|---|---------|--------------|--------------------------|-----------------|
| 1 | control | - | 200L | - | - |
| 2 | mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl-natrium | ALS | 200L | 500g | 1L |
| 3 | propoxycarbazone-Na | ALS | 200L | 100g | - |
| 4 | pyroxsulam + florasulam | ALS | 200L | 220g | 1L |
| 5 | pinoxaden | ACCcase | 200L | 1.2L | - |
| 6 | pinoxaden + clodinafop-propargyl | ACCcase | 200L | 1.2L | - |
| 7 | isoproturon | PS II | 200L | 3L | - |

Experiment design and seed origin for field test

Four field experiments with randomized complete block design were conducted in three sites in south-western Germany, Wurmberg in April 2014 with resistant *Alopecurus myosuroides* populations, Renningen in April 2014 (Research station Ihinger Hof of the University of Hohenheim) and Hohenheim in December 2014 and March 2015 (Research station Goldener Acker of the University of Hohenheim) sown with susceptible *Alopecurus myosuroides* population. The herbicide resistant population at site Wurmberg was screened by GERHARDS (2014). It shew high tolerance to isoproturon. The susceptible population was ordered from the company HerbiSeed, Twyford, UK. Four blocks were set in each experiment. Each plot is set with the width of 2m and length of 5m. Three herbicides were applied at site Wurmberg, two herbicides were used at site Renningen, two herbicides were used at site Hohenheim in 2014 and five herbicides were used at site Hohenheim in 2015. Variant of control plot was reserved in each block. The herbicide treatments are listed in Table 2.

Herbicides in groups of ALS, ACCase and PS II inhibitors were involved in this research, including Attribut®, propoxycarbazone-Na, 700 g a.i. kg⁻¹ (Bayer CropScience) (a.i., active ingredients); Atlantis® WG, mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl-natrium + mefenpyr-diethyl, 30 g a.i. kg⁻¹ + 6 g a.i. kg⁻¹ + 90 g a.i. kg⁻¹ (safener) (Bayer CropScience); Broadway®, pyroxsulam + florasulam + cloquintocet - mexyl (safener), 68.3 g a.i. kg⁻¹ + 22.8 g a.i. kg⁻¹ + 68.3 g a.i. kg⁻¹ (Dow AgroSciences); Topik® 100, Clodinafop, 89.1 g a.i. L⁻¹ (Syngenta Agro); Arelon® Top, isoproturon, 500 g a.i. L⁻¹ (Cheminova Deutschland GmbH); Axial® 50, pinoxaden + cloquintocet-mexyl (safener), 50 g a.i. L⁻¹ + 12 g a.i. L⁻¹ (Syngenta Agro); Atlantis adjunct, fatty alcohol ether sulphate, 27% (Bayer CropScience); Broadway adjunct, methyl esters in rapeseed oil (Dow AgroSciences)

Tab. 2 Treatment herbicides and dose rates for field test. MoA: Mode of Action.**Tab. 2** Herbizidbehandlungen und Aufwandmengen in Feldversuchen. MoA: Wirkungsweise.

| Location | No. | Treatments | MoA | Water [L/ha] | Herbicide [g/ha or L/ha] | Additive [L/ha] |
|--------------------------------|-----|---|---------|--------------|--------------------------|-----------------|
| Wurmberg | 1 | control | - | 200 | - | - |
| | 2 | isoproturon | PS II | 200 | 3 L | - |
| | 3 | mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl-natrium | ALS | 200 | 500 g | 1 |
| | 4 | pyroxsulam + florasulam | ALS | 200 | 220 g | 1 |
| Renningen | 1 | control | - | 200 | - | - |
| | 2 | clodinafop | ACCCase | 200 | 0.6 L | - |
| | 3 | pyroxsulam + florasulam | ALS | 200 | 220 g | 1 |
| Hohenheim (Autumn 2014) | 1 | control | - | 200 | - | - |
| | 2 | pinoxaden | ACCCase | 200 | 1.2 L | - |
| | 3 | isoproturon | PS II | 200 | 3 L | - |
| Hohenheim (Spring 2015) | 1 | control | - | 200 | - | - |
| | 2 | propoxycarbazone-Na | ALS | 200 | 100 g | - |
| | 3 | mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl-natrium | ALS | 200 | 500 g | 1 |
| | 4 | pyroxsulam + florasulam | ALS | 200 | 220 g | 1 |
| | 5 | clodinafop | ACCCase | 200 | 0.6 L | - |
| | 6 | pinoxaden | ACCCase | 200 | 1.2 L | - |

Chlorophyll fluorescence and WEED-PAM

Photosynthesis is driven by excited chlorophyll molecule and gains the energy when it dissipates the absorbed light. The rest energy is released either as heat in non-photochemical quenching or as fluorescence. When the chlorophyll molecules transition to non-excited state from excited state, energy is emitted as light, called chlorophyll fluorescence. It indicates the photosynthetic energy conversion.

The sensor WEED-PAM was developed from the MINI IMAGING-PAM® fluorescence sensor of the Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Germany. The sensor is equipped with LEDs for generating blue light at 460 nm. These LEDs emit alternately measuring flashes with constant amplitude and strong pulses to light-saturate photosystem II photochemistry. Chlorophyll fluorescence is released from the plant after applying the measuring light. It can be detected by a camera that is mounted on the sensor head. The measured signal corresponds to the fluorescence yield variation during the light application. This fluorescence-meter is operated by the software "ImagingWin for WEED-PAM" (Heinz Walz GmbH). It controls the function of LED lights and generates pictures for the fluorescence response of the measured plants. By recording the value of F_0 , minimum fluorescence in dark acclimated state, and F_m , maximum fluorescence in dark acclimated state in the presence of a saturation measuring pulse, the software calculates and the parameter $F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m$ and generates the images describe the F_v/F_m value for plant leaf inside the measured area.

Measurement and data analysis

The F_v/F_m values of the weeds were measured after the herbicide treatment. The plants were dark acclimated with plastic covers for 30 ± 5 minutes before the measurement. The measurements were done 3, 7 and 14 DAT (days after treatment) on the plants in greenhouse and at sites Wurmberg and Renningen. For each treatment, measurements were done for three replicates in greenhouse and eight replicates in the two field sites. At site Hohenheim, measurements were done 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10 and 14 DAT and 40 replicates were done for each variant. F_v/F_m values were measured of the same plants on each measuring date. Visual assessment for the herbicide efficacy on *Alopecurus myosuroides* was taken on 21 DAT due to the method that was described by Hess et al. (2012).

Data analysis was done with statistic software R. Analysis of variance (ANOVA) and Tukey's HSD test were done to identify the herbicide effect on Fv/Fm. Package *multcomp* and *ggplot2* were used (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008).

Results

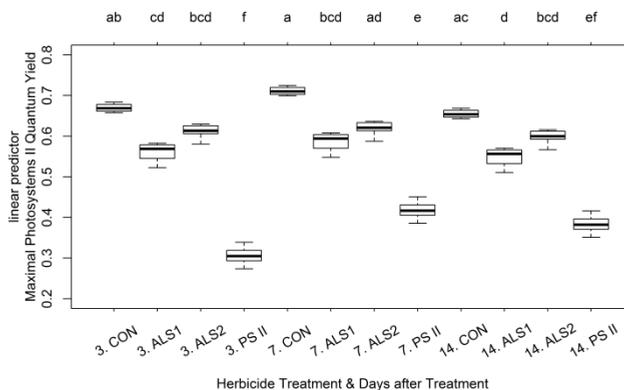
According to Table 3 - Treatment 1, values of control plants remain around 0.73 in low fluctuation during the 14 days after treatment. The analysis results show that Fv/Fm value of susceptible plants would reduce significantly since 3 DAT. Meanwhile, there is none significant decrease for the Fv/Fm value of resistant population except the treatment of isoproturon.

Tab. 3 Average value of Fv/Fm in greenhouse test and the Tukey's HSD test results of treated and untreated plants. Significant codes due to p values: 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 ' 0.1 ' ' 1. The treatment numbers represent the herbicide treatments described in Table 1.

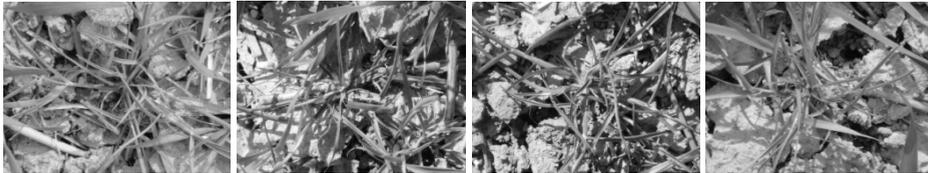
Tab. 3 Mittelwerte der Fv/Fm Werte im Gewächshausversuch sowie die Ergebnisse des paarweisen Tukey Tests für unbehandelte und behandelte Pflanzen. Kodierung der Signifikanzen anhand der p-Werte: 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 ' 0.1 ' ' 1. Die Behandlungszahlen beziehen sich auf die genannten Behandlungen in Tabelle 1.

| Population | DAT | Treatments | | | | | | |
|------------|-----|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Susceptive | 3 | 0.744 | 0.694* | 0.712 | 0.703* | 0.632** | 0.699*** | 0.254*** |
| | 7 | 0.746 | 0.657*** | 0.662* | 0.659*** | 0.532*** | 0.709*** | 0.207*** |
| | 14 | 0.720 | 0.693** | 0.678*** | 0.672*** | 0.478*** | 0.645*** | 0.137*** |
| Resistant | 3 | 0.731 | 0.704 | 0.735 | 0.708 | 0.722 | 0.701 | 0.616*** |
| | 7 | 0.729 | 0.729 | 0.722 | 0.725 | 0.728 | 0.716 | 0.551*** |
| | 14 | 0.734 | 0.737 | 0.720 | 0.717 | 0.732 | 0.724 | 0.511*** |

Figure 1a presents the result of the experiment at site Wurmberg (Baden-Wuerttemberg, Germany). According to the figures and the data analysis of ANOVA, the Fv/Fm value of the herbicide treated plants reduced significantly since 3 DAT comparing with the control group. This phenomenon shows good efficacy of the ALS herbicide mesosulfuron-methyl plus iodosulfuron-methyl-natrium and the pyroxsulam plus florasulam. By treatment of PS II inhibitor isoproturon, the Fv/Fm value reduced significantly since 3 DAT and even lower than the other groups treated with ALS herbicides. Figure 1b shows the efficacy of each herbicide on *Alopecurus myosuroides* at 21 DAT. The plants by ALS treatments were dead and the plants with PSII treatment survived.



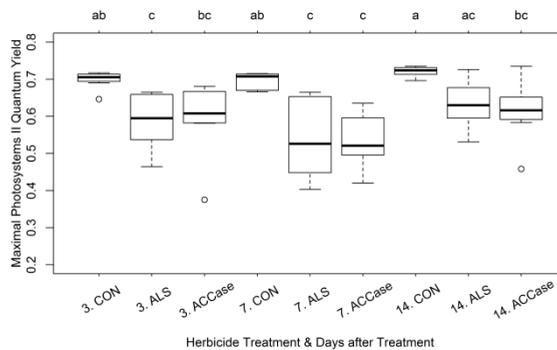
(a)



(b)

Fig. 1 Maximum PS II quantum yield for weeds after herbicide treatments at site Wurmberg. (a) Maximum PS II quantum yield; (b) Efficacy of herbicides (left to right: CON-ALS1-ALS2-PSII). Abbreviation: CON, control groups; ALS1, mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl-natrium; ALS2, pyroxsulam plus florasulam; PS II, isoproturon.

Abb. 1 Maximale Quantenausbeute des PSII Systems für Ungräser nach den Herbizidbehandlungen am Standort Wurmberg. (a) Maximale PS II Quantenausbeute..(b) Wirksamkeit von Herbiziden (links nach rechts: CON-ALS1-ALS2-PSII). Abkürzung: CON, Kontrollgruppe; ALS1, Mesosulfuron-methyl + Iodosulfuron-methyl-natrium; ALS2, Pyroxsulam plus Florasulam; PS II, Isoproturon.



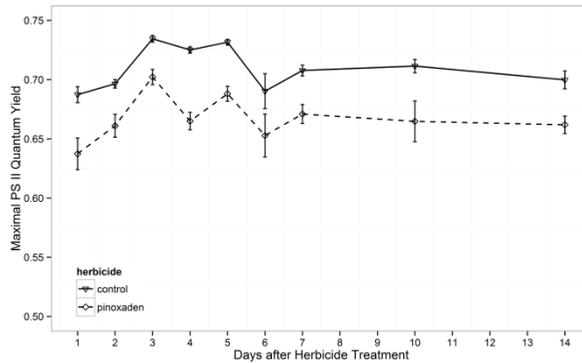
(a)



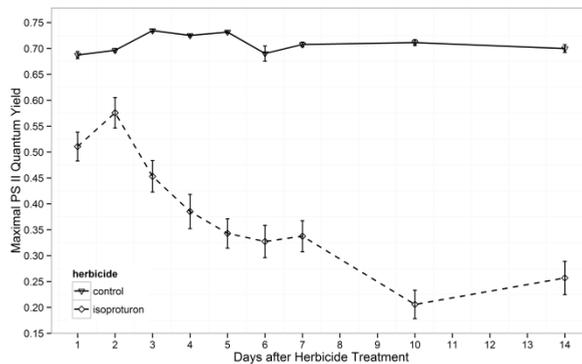
(b)

Fig. 2 Maximum PS II quantum yield for weeds after herbicide treatments at site Ihinger Hof. (a) Maximum PS II quantum yield; (b) Efficacy of herbicides (left to right: CON-ALS-ACCcase). Abbreviation: CON, control; ALS, pyroxsulam plus florasulam; ACCcase, clodinafop.

Abb. 2 Maximale Quantenausbeute des PSII Systems für Ungräser nach den Herbizidbehandlungen am Standort Wurmberg. (a) Maximale PS II Quantenausbeute..(b) Wirksamkeit von Herbiziden (links nach rechts: CON-ALS-ACCcase) ...Abkürzung: CON, Kontrollgruppe; ALS, Pyroxsulam plus Florasulam; ACCCase, Clodinafop.



(a)



(b)

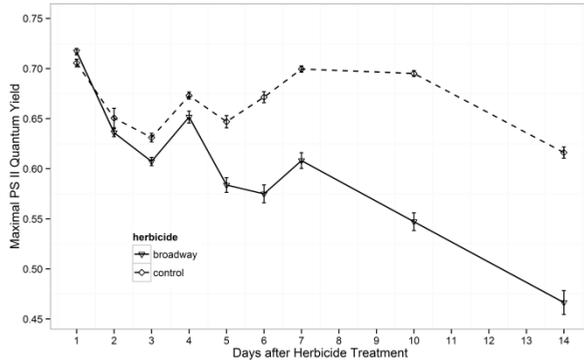
Fig. 3 Maximum PS II quantum yield for weeds after herbicide treatments at site Hohenheim of autumn application in December 2014. (a) Treatment of pinoxaden, (b) Treatment of isoproturon.

Abb. 3 Maximale PS II Quantenausbeute für Ungräser nach der Herbstbehandlung mit Herbiziden im Dezember 2014 am Standort Hohenheim. (a) Behandlung mit Pinoxaden, (b) Behandlung mit Isoproturon.

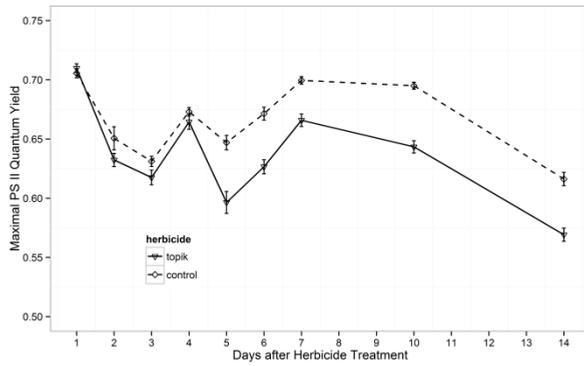
At site Ihnger Hof (Renningen, Baden-Wuerttemberg, Germany), Fv/Fm value for both of the ALS and ACCase herbicide treated plants decreased significantly since 3 to 7 DAT comparing with the control group. As is shown in Figure 2b the treated plants were proved to be dead as they were checked 21 DAT.

After the autumn treatment, significant reduction of Fv/Fm occurred since 1 DAT in the pinoxaden applied group. The value kept around 0.1 lower than the Fv/Fm value of the control group. The Fv/Fm value of isoproturon treated plants kept reducing until 10 DAT. All the plants with herbicide treatments were dead at 21 DAT.

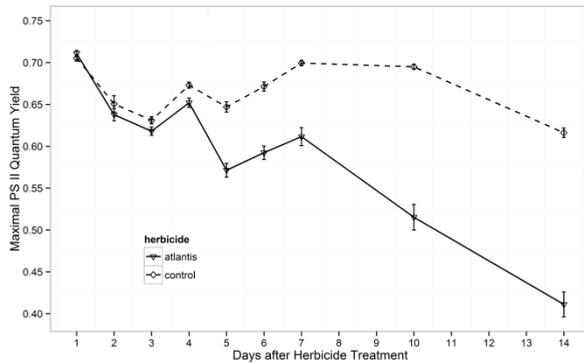
After the spring application, the Fv/Fm value of herbicide treated plants got lower than the control group on 2 DAT. The significant difference occurred since 5 DAT for all the herbicides. By the visual assessment on 21 DAT, all the plants with herbicide treatments were proved to be dead.



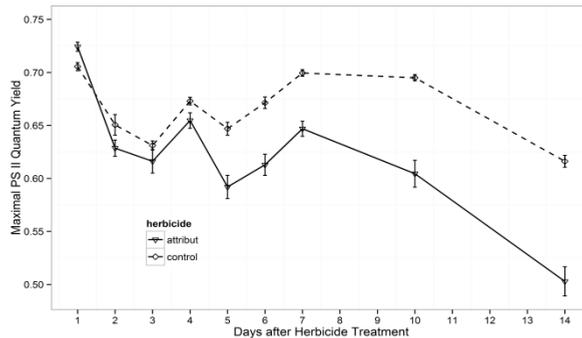
(a)



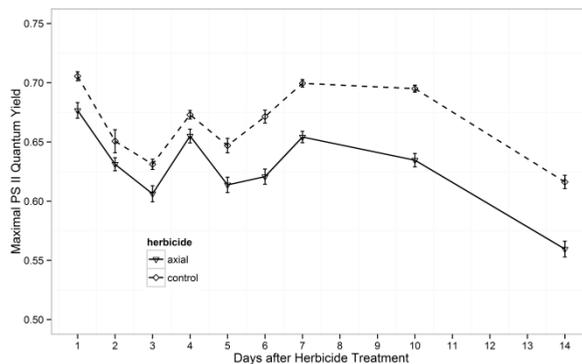
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 4 Maximum PS II quantum yield for weeds after herbicide treatments at site Hohenheim of spring application in March 2015. (a) Treatment of pyroxsulam plus florasulam, (b) Treatment of clodinafop, (c) Treatment of mesosulfuron-methyl plus iodosulfuron-methyl-natrium, (d) Treatment of propoxycarbazone-Na, (e) Treatment of pinoxaden.

Abb. 4 Maximale PS II Quantenausbeute für Ungräser nach der Frühjahrsbehandlung mit Herbiziden im März 2015 am Standort Hohenheim (a) Behandlung mit Pyroxsulam plus Florasulam, (b) Behandlung mit Clodinafop, (c) Behandlung mit Mesosulfuron-methyl plus Iodosulfuron-methyl-natrium, (d) Behandlung mit Propoxycarbazone-Na, (e) Behandlung mit Pinoxaden.

Discussion

All the herbicides involved in this research, as either PS II inhibitor or in other modes of action such as ALS and ACCase inhibitors, stressed the process of photosynthesis system II of susceptible population of *Alopecurus myosuroides* and decreased Fv/Fm value of the plants. The herbicide resistant plants exhibit none or less Fv/Fm reduction than the susceptible plants by the treatment respectively. Meanwhile, the study presented different performance of the herbicide modes on maximum PSII quantum yield.

According to the greenhouse test with ALS and ACCase inhibitors, the resistant plants show none significant lower Fv/Fm values than the control group. But the Fv/Fm values of susceptible plants reduced significantly on 3 DAT. In the field experiments at site Hohenheim, after the treatment of different ALS herbicides and ACCase herbicide clodinafop, the Fv/Fm values of the treated susceptible plants get lower than the untreated plants. But the difference of Fv/Fm values between control groups and treated groups is not significant during 1 to 2 DAT. Since 3 or 4 DAT, the Fv/Fm value of the treated susceptible plants decreased significantly, while the values of resistant and

untreated plants still show none significant difference. This means that the effect of ALS and ACCase inhibitors on PSII system of susceptible plants can be detected since 3 or 4 DAT.

Figure 2a presents the measurement results of site Renningen. This population was screened as susceptible to clodinafop and pyroxsulam plus florasulam (GERHARDS, 2014). The reduction of Fv/Fm values on 3 and 7 DAT corresponds to the other experiments on relative susceptible populations. In the Renningen experiment, increase of Fv/Fm values at 14th DAT in all groups can be found. That was influenced by the PS II fluorescence of moss. The *Alopecurus myosuroides* plants were too weak to process photosynthesis on 14 DAT. In that case, the measuring light on the plants was reflected and few photochemical quenching was released from the measured plant leaves. Then the chlorophyll fluorescence of the weed plants could no longer be detected. The sensor detected the PS II fluorescence emitted by moss instead of *Alopecurus myosuroides* plants.

According to Figure 3a of autumn treatment and Figure 4e of spring treatment, after the application of pinoxaden, an ACCase herbicide, the Fv/Fm values of *Alopecurus myosuroides* plants at site Hohenheim decreased and got significantly lower than the Fv/Fm values of control group since 1 DAT. The expanding of value difference between treated plants and the control group is not significant during the two weeks measuring duration. It means that the ingredient pinoxaden had affected PS II system of susceptible plants since 1 DAT (OETTMEIER, 2014).

The greenhouse experiment shows that Fv/Fm values of both susceptible and resistant plants reduced significantly after treatment of isoproturon. The average value of resistant group is higher than the value of susceptible group. Meanwhile, autumn experiment shows the same effect of isoproturon on the susceptible plants at site Hohenheim. The value difference between treated plants and control group keeps expanding during 1 to 14 DAT. For the PSII inhibitor resistant population at site Wurmberg, the Fv/Fm value difference between treated and untreated groups shrunk on 14 DAT. It indicates the plants recovered from PSII inhibitor stress (LEITSCH, 1994). This phenomenon corresponds the visual assessment result on 21 DAT at site Wurmberg that all the plants under PSII treatment survived. Therefore, the population with PS II inhibitor resistant can only be detected with the comparison with a standard Fv/Fm value of the susceptible plants.

In the greenhouse experiment, the Fv/Fm values of the control plants as both of susceptible and resistant populations are generally stable in the range 0.72 to 0.74. However in the field experiments, the Fv/Fm values of control groups exhibited a wider fluctuation range between 0.65 and 0.73. Furthermore, Fv/Fm values of herbicide treated plants present the fluctuation in similar trends with the value of relative control groups. This points out the research forward in the future, that environmental factors such as weather indexes or soil conditions should also be considered for influence on the activity of PSII unit (MAXWELL and JOHNSON, 2000). More statistical methods such as principal component analysis, support vector machine or neural networks may be applied for further model foundation of the resistance classification (WEIS and SOEKEFELD, 2009).

Conclusion

With the WEED-PAM sensor, it is able to detect herbicide resistance shortly after application. The duration takes less time than visual assessment, as visual test takes more than three weeks for *Alopecurus myosuroides* to display the typical herbicide stress symptoms. In the future, this sensor could be practically used in agricultural fields after the calibration of Fv/Fm values for different herbicides and environmental factors. By quick herbicide resistance test, this prototype sensor will save the precious time and financial input on herbicide resistance discovery and management for farmers and agricultural researchers.

References

- BEFFA, R., A. FIGGE, L. LORENTZ, M. HESS, B. LABER and J.P. RUIZ-SANTAELLA, 2012: Weed resistance diagnostic technologies to detect herbicide resistance in cereal-growing areas. A review. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 75-78.
- BURGOS, N.R., P.J. TRANEL, J.C. STREIBIG, V.M. DAVIS, D. SHANER, J.K. NORSEWORTHY and C. RITZ, 2013: Review: confirmation of resistance to herbicides and evaluation of resistance levels. *Weed Science* **61**, 4-20.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- BUTLER, W.L., 1978: Energy distribution in the photochemical apparatus of photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology* **29**, 457–478.
- DÉLYE, C. GARDIN, J.A.C., BOUCANSAUD, K., CHAUVEL, B. and C. PETIT, 2011: Non-target-site-based resistance should be the centre of attention for herbicide resistance research: *Alopecurus myosuroides* as an illustration. *Weed Research* **51**, 433-437.
- DE PRADO, A. RAFAEL, FRANCO and R. ANTONIO, 2004: Cross-resistance and herbicide metabolism in grass weeds in Europe: biochemical and physiological aspects. *Weed Science* **52**, 441–447.
- GENTY, B., J.M. BRIANTAIS and N.R. BAKER, 1989: The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects* **990**, 87-92.
- GERHARDS, R., 2009: Unkrautbekaempfung in Winterweizen (Weed Control in Winter wheat). In: *Winterweizen – Das Handbuch fuer Profis (Winter Wheat Handbook)*, (ed. O. Christen), 155–176. DLG-Verlag, Frankfurt, Germany.
- GERHARDS, R., 2013: Gemeinschaftsversuche Baden-Wuerttemberg 2013, Berichte aus dem Fachgebiet Herbologie der Universitaet Hohenheim. Technical report, Weed Science Department, University of Hohenheim, 2013, 99.
- GERHARDS, R., 2014: Gemeinschaftsversuche Baden-Wuerttemberg 2014, Berichte aus dem Fachgebiet Herbologie der Universitaet Hohenheim. Technical report, Weed Science Department, University of Hohenheim, 2014, 93.
- HEAP, I., 2015: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. *Internet*. Wednesday, January 14, 2015.
- HESS, M., R. BEFFA, J. KAISER, B. LABER, H. MENNE and H. STREK, 2012: Status and development of ACCase and ALS inhibitor resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in neighboring fields in Germany. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 163-170.
- KAISER, Y.I., A. MENEGAT and R. GERHARDS, 2013: Chlorophyll fluorescence imaging: a new method for rapid detection of herbicide resistance in *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* **53**, 399–406.
- KEMPENAAR, C., L.A.P. LOTZ, J.F.H. SNEL, V. SMUTNY and H. J. ZHANG, 2011: Predicting herbicidal plant mortality with mobile photosynthesis meters. *Weed Research* **51**, 12-22.
- KAUNDUN, S.S., S.J. HUTCHINGS, R.P. DALE, G.C. BAILLY and P. GLANFIELD, 2011: Syngenta _RISQ_ test: a novel in-season method for detecting resistance to post-emergence ACCase and ALS inhibitor herbicides in grass weeds. *Weed Research* **51**, 284–293.
- KRAUSE, G.H. and E. WEIS, 1991: Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis: The Basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **42**, 313-349.
- LEITSCH, J., B. SCHNETTGER, C. CRITCHLEY and G.H. KRAUSE, 1994: Two mechanisms of recovery from photoinhibition in vivo: Reactivation of photosystem II related and unrelated to D1-protein turnover. *Planta* **194**, 15-21
- MAXWELL, K. and G.N. JOHNSON, 2000: Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *Journal of Experimental Botany* **51**, 659-668.
- MOSS, S.R., S.A.M. PERRYMAN and L.V. TATNELL, 2007: Managing herbicide-resistant blackgrass (*Alopecurus myosuroides*): Theory and practice. *Weed Technology* **21**, 300-309.
- MOSS, S.R., 2004: Herbicide-resistant weeds in Europe: the wider implications. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* **69**, 3-11.
- OERKE, E.C., H.W. DEHNE, F. SCHONBECK and A. WEBER, 1994: Estimated Losses in Major Food and Cash Crops. In: *Crop Production and Crop Protection*. Amsterdam, Netherlands, Elsevier.
- OETTMEIER, W., 1999: Herbicide resistance and supersensitivity in photosystem II. *Cellular and Molecular Life Sciences (CMLS)*, **55**, 1255–1277.
- ORSON, J.H., 1999: The cost to the farmer of herbicide resistance. *Weed Technology* **13**, 607-611.
- PFÜNDEL, E., 1998: Estimating the contribution of Photosystem I to total leaf chlorophyll fluorescence. *Photosynthesis Research* **56**, 185–195.
- QUICK, W.P. and P. HORTON, 1984: Studies on the induction of chlorophyll fluorescence in barley protoplasts. Factors affecting the observation of oscillations in the yield of chlorophyll fluorescence and rate of oxygen evolution. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* **220**, 361-370.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008: R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. ISBN 3-900051-07-0.
- RIETHMUELLER-HAAGE, I., L. BASTIAANS, J. HARBINSON, C. KEMPENAAR and M.J. KROPPF, 2006a: Influence of the acetolactate synthase inhibitor metsulfuron-methyl on the operation, regulation and organisation of photosynthesis in *Solanum nigrum*. *Photosynthesis Research* **88**, 331–341.
- RIETHMUELLER-HAAGE, I., L. BASTIAANS, J. HARBINSON, C. KEMPENAAR and M.J. KROPPF, 2006b: Can photosynthesis-related parameters be used to establish the activity of acetolactate synthase-inhibiting herbicides on weeds? *Weed Science* **54**, 974–982.
- VAN KOOTEN, O. and J.F. SNEL, 1990: The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research* **25**, 147-150.
- VAN OORSCHOT, J.L.P. and P.H. VAN LEEUWEN, 1992: Use of fluorescence induction to diagnose resistance of *Alopecurus myosuroides* Huds. (Blackgrass) to Chlorotoluron. *Weed Research* **32**, 473–482.
- WANG, P., Y.I. KAISER, A. MENEGAT and R. GERHARDS, 2015: Weed PAM: A rapid in-season herbicide resistance detector. 17th European Weed Research Society Symposium, 137.
- WEIS, M. and M. SOEKEFELD, 2009: Detection and identification of weeds. In: *Precision Crop Protection – The Challenge and use of Heterogeneity*, (eds E. Oerke, G. Menz, R. Gerhards and R. Sikora), 119–134. Springer Verlag, Dordrecht, the Netherlands.

Untersuchungen zur Resistenz von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Gemeiner Windhalm) gegenüber Herbiziden unterschiedlicher HRAC-Klassen in Hessen

Investigations on Apera spica-venti (L.) P. Beauv. (loose silky-bent grass) resistance against herbicides from different HRAC-classes in Hessen

Dominik Dicke^{1*}, Christian Henschke², Jan Petersen³, Roland Gerhards⁴

¹Regierungspräsidium Gießen, Pflanzenschutzdienst Hessen, Schanzenfeldstraße 8, 35578 Wetzlar

²An den Gärten 2, 34311 Heimarshausen

³Fachhochschule Bingen, Berlinstraße 109, 55411 Bingen am Rhein

⁴Universität Hohenheim, Institut für Phytomedizin (360), Otto-Sander Str. 5, 70599 Stuttgart

*Korrespondierender Autor, dominik.dicke@rpgi.hessen.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.009

Zusammenfassung

Im Sommer 2014 wurden Windhalmrispen von 109 hessischen Standorten gesammelt, um die Verbreitung der Resistenz des Gemeinen Windhalms gegenüber Herbiziden der HRAC-Klassen A, B und F1/K3 im Biotest zu überprüfen. Sowohl Windhalmrispen aus angelegten Spritzfenstern als auch Rispen, die vor der Ernte in „Windhalmnestern“ innerhalb hessischer Getreidefelder auffielen, wurden in das Monitoring einbezogen. Im Dezember 2014 wurden Windhalmsamen aller Biotypen in Töpfe ausgesät und im Gewächshaus des hessischen Pflanzenschutzdienstes in Wetzlar angezogen. Die jungen Windhalmpflanzen wurden mit Herbiziden der HRAC-Klassen A, B und F1/K3 zum für das jeweilige Herbizid optimalen BBCH-Stadium behandelt. Die Wirkungsgrade wurden im Biotest ermittelt. Jede Herkunft wurde molekulargenetisch auf Mutationen untersucht, die eine Veränderung der Aminosäuresequenz der Acetolactat-Synthase (ALS) bewirken. Herkünfte, die im Biotest eine Minderwirkung gegen das Herbizid der Wirkstoffklasse A zeigten, wurden molekulargenetisch auf Mutationen untersucht, die eine Veränderung der Aminosäuresequenz der Acetyl-Coenzym-A-Carboxylase (ACCCase) bewirken. Nahezu alle Windhalmherkünfte konnten durch das Herbizid der Wirkstoffklasse F1/K3 bekämpft werden. Ebenso zeigte die Wirkstoffklasse A mit wenigen Ausnahmen eine hohe Wirkungssicherheit. Dagegen wurde mit Herbiziden der Wirkstoffklasse B nur in bis zu 12 Herkünften ein Wirkungsgrad von mehr als 90 % erzielt. In 45 Herkünften wurden Mutationen festgestellt, die eine Resistenz gegenüber der Wirkstoffklasse B bewirken. In einer Herkunft wurde eine Mutation gefunden, die zu einer Veränderung der Aminosäuresequenz der ACCCase führt. Die Ergebnisse der Untersuchung sollen als Basis für eine Folgeuntersuchung dienen, um Unterschiede in der Bewirtschaftungsweise zwischen Resistenzstandorten und sensitiven Standorten aufzudecken. Daraus sollen Beratungsempfehlungen geschaffen werden, die helfen sollen, eine Ausbreitung von Resistenzen zu verlangsamen.

Stichwörter: ALS-Hemmer, Gemeiner Windhalm, Herbizide, Resistenzmonitoring, Wirkortresistenz

Abstract

In the summer of 2014, panicles from loose silky-bent grass (*Apera spica-venti*) were collected at 109 sites across the federal state Hessen, to analyze the level of loose silky-bent grass resistance against herbicides from HRAC-class A, B and F1/K3. Panicles from established spraying windows as well as panicles from *A. spica-venti* patches, which were identified at time of harvest within cereal fields, were included into the monitoring. In December 2014 the loose silky-bent grass seeds were seeded into pots and placed in the greenhouse of plant protection service Hessen in Wetzlar. The young seedlings were sprayed (repeated) with herbicides from HRAC group A, B and F1/K3 at BBCH-stages which provided optimal efficacy for each individual herbicide. Efficacy was rated. Each biotype was tested for well-known mutations, which modify the amino acid sequence of acetolactate-synthase (ALS). Biotypes, in which the herbicide from HRAC group A reached low efficacy, were tested for well-known mutations in the acetyl coenzyme a carboxylase (ACCCase) gene. The treatments with the herbicide from HRAC group F1/K3 reached very high efficacy up to 100% in nearly all biotypes. The herbicide treatment with an herbicide from HRAC group A reached high efficacy in most cases. However, all herbicides from HRAC group B showed very low efficacy. Only 12 biotypes could be controlled with an efficacy of more than 90%. 45 biotypes contained several mutations in the ALS gene, which cause ALS-resistance. Only one biotype contained a mutation, which can cause ACCCase resistance. These results will be used to study reasons for development of resistance in order to develop guidance information to prevent further increase of resistance.

Keywords: ALS inhibitor, herbicides, loose silky-bent grass, resistance monitoring, target-site resistance

Einleitung

Der Gemeine Windhalm (*Apera spica-venti*) gehört neben dem Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) zu den bedeutendsten Leitungsgräsern im Ackerbau. Durch die intensive Bestockung kann seine Konkurrenzkraft gegenüber Wintergetreide stark und ertragsmindernd sein (NIEMANN und ZWERTGER, 2006), sodass eine Bekämpfung in der Regel notwendig ist. Oftmals sind Acker-Fuchsschwanz und Windhalm auf den Feldern miteinander vergesellschaftet. Versuchsergebnisse zeigen, dass Windhalm sich in der Regel sehr gut mit Bodenherbiziden bekämpfen lässt, während diese bei der Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz oft Minderwirkungen aufweisen. Daher setzen die Praktiker zur Bekämpfung von Mischverungrasungen im Herbst Herbizide der Wirkstoffklasse B zu, um den Wirkungsgrad gegen Acker-Fuchsschwanz zu erhöhen. Viele Betriebe verzichten sogar ganz auf die Herbstbehandlung mit Bodenherbiziden und bekämpfen die Gräser im Frühjahr ausschließlich mit Herbiziden der Wirkstoffklasse B, zu der auch die Sulfonylharnstoffe gehören. Durch den wiederholten Einsatz von Herbiziden mit demselben Wirkmechanismus, wie bei der ausschließlichen Frühjahrsbehandlung mit HRAC-Klasse B, wird jedoch ein Selektionsprozess auf resistente Biotypen ausgelöst (WOLBER, 2014). In Deutschland wurden erste Windhalmherbizidresistenzen bereits 1997 gegenüber PS-II Inhibitoren festgestellt (NIEMANN, 2000). Mutationen, die Zielortresistenzen gegenüber Vertretern der Wirkstoffklasse B auslösen, wurden bei MASSA et al. (2011) beschrieben. Über Nicht-Zielortresistenzen und Resistenzmuster bei Windhalm wurde bei PETERSEN et al. (2012) berichtet. Im Jahr 2009 wurden erstmals Resistenzen gegenüber Vertretern der Wirkstoffklasse B in Hessen (Raum Gießen) festgestellt. Immer wieder fallen in hessischen Getreidefeldern im Rahmen der Schaderregerüberwachung zur Ernte einzelne Nester mit durchgewachsenen Windhalmpflanzen auf. Die Ursachen können durch widrige Anwendungsbedingungen für Herbizide oder Anwendungsfehler, wie z. B. verspätete Behandlungstermine, begründet sein. Andererseits liegt der Verdacht nahe, dass es sich um Resistenzen handeln könnte. Ziel dieser Untersuchung war es, resistente Biotypen von Windhalm zu identifizieren sowie einen Überblick über die Verteilung von resistentem Windhalm gegenüber ausgewählten Wirkstoffklassen in Hessen zu erlangen. Der Überblick soll der Beratung als Basis dienen, um Antiresistenzstrategien optimieren zu können.

Material und Methoden

Biotest

Im Jahr 2014 wurden hessenweit Windhalmrispen von 109 Wintergetreidefeldern vor der Ernte gesammelt. Sowohl Rispen aus bereits im Herbst 2013 angelegten Spritzfenstern, als auch durchgewachsene Windhalmrispen aus Windhalmnestern von zufällig ausgewählten Wintergetreidebeständen, die vor der Ernte zu sehen waren, wurden berücksichtigt. Nach Aufbereitung der Samen und zweiwöchiger Kältelagerung bei 5 ° C wurden diese am 18. Dezember 2014 in Töpfen für einen Wirksamkeitsversuch angezogen. Als Substrat wurde ein Ackerboden der Region um Wetzlar verwendet, der vorher gedämpft worden ist, um die im Boden vorhandenen Unkrautsamen abzutöten. Die Temperatur im Anzuchttraum wurde ab Aussaatdatum tagsüber auf 12 °C, nachts auf 10 °C, eingestellt. Die Bewässerung erfolgte ab Aussaat einheitlich über die integrierte automatische Steuerungseinheit (Anstaubewässerung). Es wurde ein mehrfach wiederholter Wirksamkeitsversuch angelegt. Die Wirkung von 5 verschiedenen Herbiziden aus 3 Wirkstoffklassen auf die 109 Herkünfte wurde untersucht (Tab. 1) Die Herbizidapplikationen der Töpfe erfolgten mit einer Parzellenspritze im Freien. Nach der Applikation wurden die Töpfe vollständige randomisiert auf Tischen im Gewächshaus des hessischen Pflanzenschutzdienstes in Wetzlar platziert. Die Bewässerung erfolgte nach der Herbizidbehandlung „über Kopf“. Ab der Spritzung wurde die Temperatur im Gewächshaus tagsüber auf 14 °C, nachts auf 12 °C eingestellt.

Tab. 1 Herbizide und Aufwandmengen des Wirksamkeitsversuches.

Tab. 1 *Herbicides and doses used in the efficacy experiment.*

| Herbizide | Wirkstoff, Konzentration (g a.i.*l ⁻¹ bzw. kg ⁻¹) | HRAC-Klasse | Aufwandmeng (l bzw.kg*ha ⁻¹) + FHS | Wiederholungen |
|----------------|--|-------------|---|----------------|
| Kontrolle | - | - | 0 | Je Herkunft 1x |
| Herold SC* | Flufenacet 400 + Diflufenican 200 | F1/K3 | 0,6 | Je Herkunft 3x |
| Atlantis WG ** | Mesosulfuron 30 + Iodosulfuron 6 | B | 0,3 + 0,6 | Je Herkunft 4x |
| Broadway** | Pyroxsulam 68 + Florasulam 23 | B | 0,13 + 0,6 | Je Herkunft 4x |
| Husar Plus** | Mesosulfuron 7 + Iodosulfuron 47 + Mefenpyr 213 | B | 0,2 | Je Herkunft 4x |
| Axial 50** | Pinoxaden 50 | A | 0,9 | Je Herkunft 4x |

*Behandlungstermin Herold SC: 08.01.15 (BBCH 09-11) **Behandlungstermin: 13.01.15 (BBCH 11-13)

Die Wirkungsbonitur erfolgte am 09.02.2015 und der erzielte Wirkungsgrad wurde für jeden Topf nach ABBOTT (1925) berechnet. Basis des jeweiligen Wertes in „unbehandelt“ war die Anzahl der Pflanzen im jeweiligen Topf vor der Behandlung. In Anlehnung an die Resistenztestung nach MOSS et al. (2007) wurden 6 Wirkungsbereiche gebildet. Je nachdem, welcher Wirkungsgrad durch die einzelnen Herbizide erzielt worden ist, wurden die Biotypen den entsprechenden Wirkungsbereichen zugeordnet und aufsummiert. Die Positionen der Herkünfte wurden jeweils als Punkt mit einer Open GIS-Software in separaten Karten (Abb. 2) dargestellt. Die Wirkbereiche für jedes Herbizid wurden farblich gekennzeichnet.

Molekulargenetische Analysen

Die molekulargenetischen Analysen wurden im Auftrag durch die Firma Identxx durchgeführt. Für diese Analysen wurde je 20 mg Blattmaterial von jeweils acht Windhalmplanzen aus den Kontrollen aller Biotypen verwendet. Aus dem Blattmaterial wurde die DNA mit einem kommerziell erhältlichen Kit isoliert. Mittels PCR wurden dann aus der Gesamt-DNA kurze DNA-Fragmente des *ALS*-Gens sowie des *ACCase*-Gens vervielfältigt, die die Informationen der polymorphen Positionen enthielten. Dabei handelt es sich um Positionen, die im *ALS*-Gen für Pro-197 (wt: CCC) und Trp-574 (wt: TGG) codieren sowie um Positionen, die für Ile-1781 (wt:ATA), Trp-2027 (wt:TGG), Ile-2041 (wt: ATT), Asp-2078 (wt: GAT) und Gly-2096 (wt: GGT) im *ACCase*-Gen codieren. Als Grundlage für das Design von PCR und Pyrosequencing diente das *ALS*-Gen sowie das *ACCase*-Gen von *Arabidopsis thaliana*. Für die Amplifikation mittels PCR wurden verschiedene Sets von Primer-Paaren eingesetzt. Die PCR wurde in einem Reaktionsansatz von 25 µl mit einem kommerziellen Master-Mix Kit durchgeführt. Die Konzentration der Primer betrug 10 µM (jeweils) und als PCR-Template wurden 4 µl der DNA-Extrakte eingesetzt. Die Reaktion wurde in einem Thermocycler mit dem folgendem Temperatur-Profil durchgeführt: Denaturierung bei 94 °C für 5 Minuten, danach 40 Zyklen (Denaturierung: 94 °C, 30 s, Annealing, 30 s und Elongation bei 72 °C für 20 s). Anschließend wurde die Sequenz PCR-Produkte mit Hilfe eines Pyrosequencers (Pyromark Q24, Qiagen) nach Herstellerangaben analysiert.

Ergebnisse

Die folgende Abbildung zeigt die Anzahl der Biotypen in den definierten Wirkungsbereichen (Abb. 1).

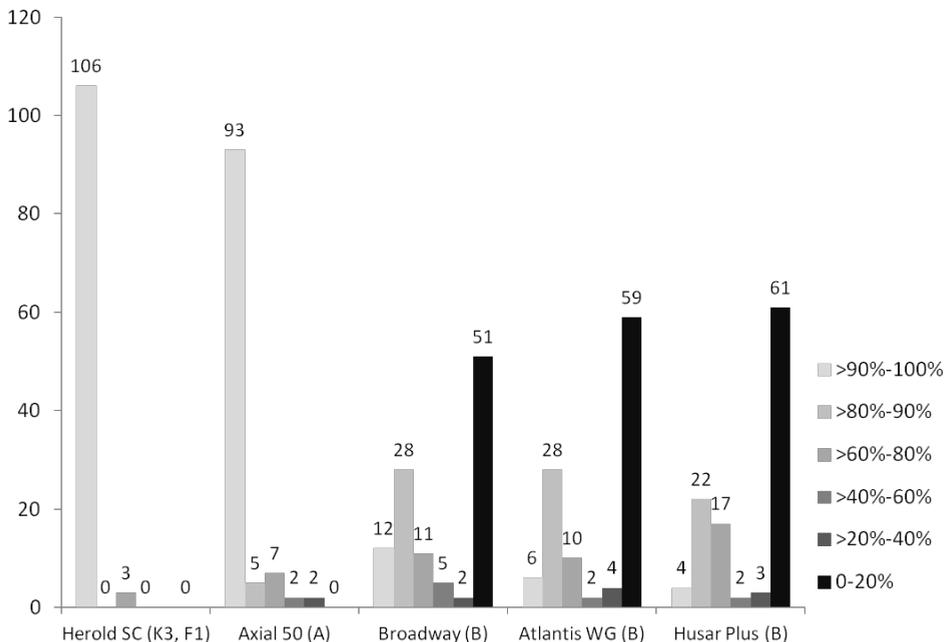


Abb. 1 Anzahl an Biotypen in den Wirkungsbereichen der getesteten Herbizide einschließlich HRAC-Klasse.

Fig. 1 Biotypes separated into herbicide efficacy classes according to the applied herbicides, with HRAC group.

Das Herbizid Herold SC (WK K3/F1) erzielte bei nahezu allen geprüften Biotypen hohe Wirkungsgrade. Nur drei der insgesamt 109 geprüften Biotypen wurden in den Wirkungsbereich >60 % bis 80 % eingestuft. Auch Axial 50 lag bei den meisten Biotypen im höchsten Wirkungsbereich. Gegen 16 Biotypen konnte jedoch hier kein ausreichender Wirkungsgrad erzielt werden. Anlass zur Sorge geben die erzielten Wirkungsgrade der Präparate aus der HRAC-Klasse B: Bei mehr als der Hälfte der getesteten Biotypen wurde nur ein Wirkungsgrad zwischen 0 und 20 % erzielt. Weniger als 10 - 15 % der Biotypen konnten mit einem Wirkungsgrad zwischen >90 - 100 % bekämpft werden. Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung der Standorte mit Wirksamkeitseinstufung für Atlantis (WK B), Broadway (WK B) sowie Herold (WK K3, F1) und Axial 50 (WK A) (Abb. 2). Aus den Karten ist ersichtlich, dass die niedrigen Wirkungsgrade der HRAC-Klasse B über ganz Hessen verteilt sind. Eine Ausnahme bilden die Bereiche zwischen Marburg und Bad Wildungen. Im Gegensatz dazu wurden insbesondere mit dem Bodenherbizid Herold landesweit zufriedenstellende Wirkungsgrade erzielt. Axial 50 hat auf einigen wenigen Standorten bei Wetzlar, Marburg, Bad Arolsen und südöstlich von Frankfurt im Biotest unzureichende Wirkungsgrade gezeigt.

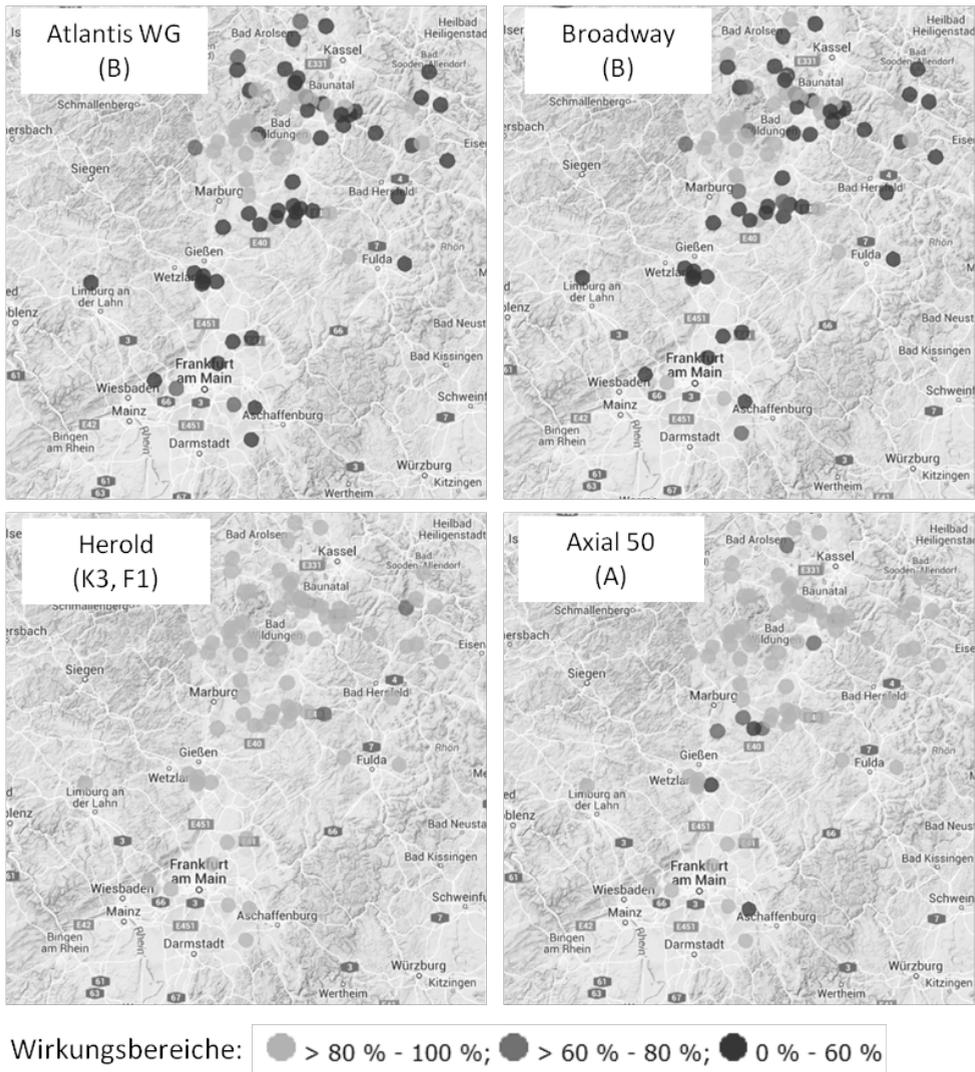


Abb. 2 Karte mit hessischen Standorten (ein Punkt = ein Biotyp), mit Einteilung in definierte (farblich markierte) Wirkungsbereiche, jeweils für die Herbizide Atlantis WG, Broadway, Herold SC und Axial 50.

Fig. 2 Locations, where biotypes of *Apera spica-venti* were collected (one point=one biotype); colors indicate the efficacy classes of the herbicides Atlantis WG, Broadway, Herold SC and Axial 50.

Tabelle 2 zeigt die durch Molekularanalyse nachgewiesenen Mutationen auf. 45 Biotypen waren an den Position Pro-197 und/oder Trp-574 des ALS-Gens homo- oder heterozygot für eine Mutation. Bei neun Biotypen konnten an beiden Positionen Mutationen nachgewiesen werden. An der Position Pro-197 traten bei fünf Biotypen unterschiedliche Mutationen auf. An der Position Trp-574 war dieses bei einem Biotyp der Fall. Zur Veranschaulichung wurden die gemittelten Wirkungsgrade der Herbizide Atlantis WG und Broadway als Vertreter der HRAC-Klasse B hinter der jeweiligen Mutation bzw. Mutationskombination mit aufgeführt. Mit Ausnahme von sechs Biotypen, die in sehr geringer Frequenz (siehe Sternchen) Mutationen aufwiesen, lagen die Wirkungsgrade bei Atlantis WG in den meisten Fällen unter 15 %. Die Wirkungsgrade von

Broadway lagen im Vergleich zu Atlantis WG insbesondere bei Biotypen mit den Mutationen A/C-CC (Pro/Thr) sowie ACC (Thr) höher. Das Niveau der Wirkungsgrade (in den meisten Fällen unter 30 %) zeigt jedoch auch hier eine insgesamt ungenügende Wirkung an. Kombinationen aus mehreren Mutationen führten zu stärkeren Wirkungsverlusten.

Tab. 2 Anzahl an Biotypen mit unterschiedlichen Mutationen an den Positionen Pro-197 und Trp-574 des ALS-Gens mit gemittelten Wirkungsgraden der Herbizide Atlantis WG und Broadway.

Tab. 2 Number of biotypes with different mutations at the positions Pro-197 and Trp-574 of the ALS gene in comparison to the efficacy of the herbicides Atlantis WG and Broadway.

| Mutation an Position Pro-197 (wt: CCC) | an | Mutation an Position Trp-574 (wt: TGG) | Anzahl Biotypen | WG (%) Biotest Atlantis WG* | WG (%) Biotest Broadway* |
|--|----|--|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| A/C-CC (Pro/Thr) | - | | 7 | 6,4 | 29,4 |
| ACC (Thr) | | | 5 | 9,5 | 18,3 |
| A/T-CC (Thr/Ser) | - | | 1 | 1,0 | 0,5 |
| A/C-CC (Pro/Thr) | + | | | | |
| T/C-CC (Pro/Ser) | | | 1 | 26** | 68,8** |
| ACC(Thr)+A/C-CC (Pro/Thr) | - | | 1 | 0,5 | 1 |
| - | | T-T/G-G (Trp/Leu) | 21 | 12,2 | 14 |
| A/C-CC (Pro/Thr) | | T-T/G-G (Trp/Leu) | 2 | 0,25 | 5,75 |
| ACC (Thr) | | T-T/G-G (Trp/Leu) | 2 | 40,8** | 46,3** |
| A/C-CC (Pro/Thr) | + | T-T/G-G (Trp/Leu) | | | |
| T/C-CC (Pro/Ser) | | | 2 | 41,8** | 46** |
| T/C-CC (Pro/Ser) | | TTG (Leu)+T-T/G-G (Trp/Leu) | 1 | 97** | 97** |
| ACC(Thr)+A/C-CC (Pro/Thr) | | T-T/G-G (Trp/Leu) | 2 | 0,5 | 0,6 |

* Mittelwert der Wirkungsgrade (WG) aus allen zum jeweiligen Biotyp zugehörigen Wiederholungen

** Niedrige Mutationsfrequenz in jeweils 8 geprüften Windhalmpflanzen je Biotyp (oft nur in 2-4 von 8 Pflanzen eine Mutation)

Bei der Prüfung der Positionen des ACCase-Gens trat nur bei einem Biotyp an der Position Asp-2078 die Mutation G-G/A-T (Asp/Gly) in sehr niedriger Frequenz, d.h. in einer von acht geprüften Windhalmpflanzen des Biotyps auf. Der Wirkungsgrad des Herbizids Axial 50, welches auf die ACCase wirkt, lag hier bei 80 %.

Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung der insgesamt 64 Biotypen ohne Mutationen auf die definierten Wirkbereiche am Beispiel Atlantis WG und Broadway (Abb. 3). Nur die Hälfte der Biotypen ohne nachgewiesene Mutationen konnten mit einem Wirkungsgrad zwischen 80 und 100 % durch die ausgewählten Vertreter der Wirkstoffklasse B (Atlantis WG und Broadway) bekämpft werden. Bei etwa einem Drittel der mit diesen Herbiziden geprüften Biotypen lag der Wirkungsgrad nur zwischen 0 und 20 %.

In der Tendenz erreicht das Herbizid Broadway zwar auf einem niedrigen Niveau leicht höhere Wirkungsgrade. Das Gesamtbild ist allerdings nahezu identisch mit dem von Atlantis WG.

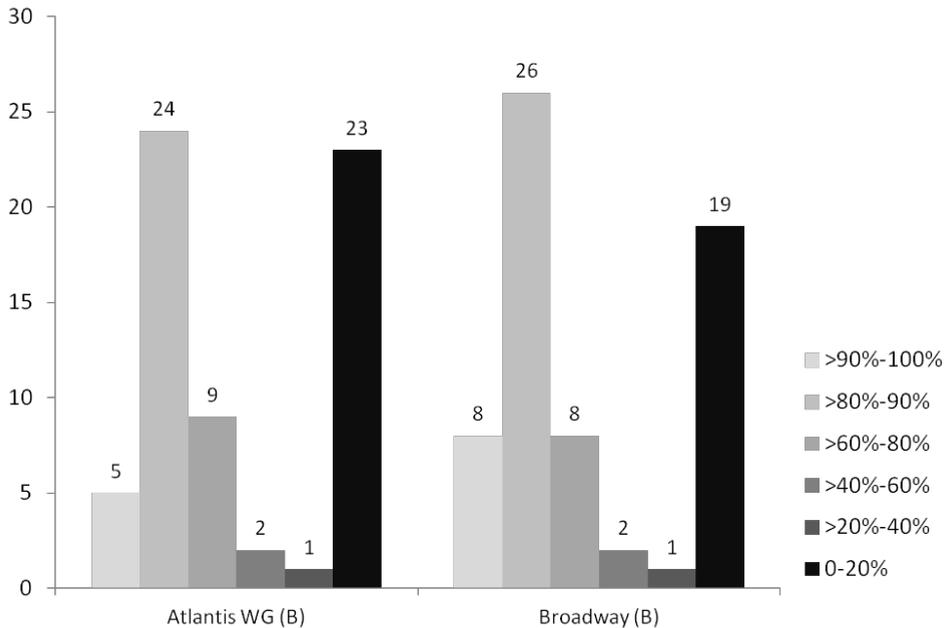


Abb. 3 Anzahl an Biotypen, in denen keine Mutationen nachgewiesen wurden, in unterschiedlichen Wirkungsbereichen für Atlantis WG und Broadway (beide HRAC-Gruppe B).

Fig. 3 *Biotypes without detected mutations separated into herbicide efficacy classes of Atlantis WG and Broadway (both HRAC group B).*

Diskussion

Durch diese Untersuchung konnte ein Einblick in die Resistenzsituation bei Windhalm im Land Hessen realisiert sowie landesweit vorhandene Wirkungsschwächen bei Herbiziden der Wirkstoffklasse B aufgedeckt werden. Dabei ist anzumerken, dass sich die Wirkungsschwächen auf einzelne Windhalmnester innerhalb von Flächen beziehen, in denen die Proben entnommen wurden. Ganzflächig mit Windhalm überwachsene Flächen traten nicht auf. Nahezu alle der 45 Biotypen, die Mutationen im ALS-Gen aufwiesen, wurden jedoch auch im Biotest mit hohen Wirkungsverlusten bis hin zur Nullwirkung auffällig. Das zeigt, dass Wirkortresistenzen verbreitet in Hessen zu finden sind. Mutationen an der Position Pro 197 wirkten sich stärker auf die Wirksamkeit von Atlantis WG aus als auf die Wirksamkeit von Broadway. Die Mutation T-T/GG an der Position Trp-574, die eine Substitution von Trp-574 durch Leu zur Folge hat, beeinflusst die Wirksamkeit von Atlantis WG und Broadway etwa gleichermaßen. Broadway enthält den Wirkstoff Pyroxsulam, der innerhalb der WK B zur Untergruppe der Triazolpyrimidine gehört, während Atlantis WG mit den Wirkstoffen Metsulfuron und Iodosulfuron ebenso wie auch das mit geprüfte Husar Plus (Mefenpyr, Iodo- und Mesosulfuron) ein Sulfonylharnstoff ist. Die Ergebnisse geben einen Hinweis darauf, dass Triazolpyrimidine ggf. nicht so stark auf die Pro197 zu Thr Substitution reagieren, wie Sulfonylharnstoffe. Der durch diese Mutationen bedingte Wirkungsverlust ist allerdings zu hoch, um in dieser Hinsicht von einem Vorteil der Triazolpyrimidine gegenüber Sulfonylharnstoffen sprechen zu können. Etwa ein Drittel der mutationsfreien Biotypen konnte mit Herbiziden der Wirkstoffklasse B nicht bekämpft werden. Dieses könnte entweder durch eine stark ausgeprägte metabolische Resistenz begründet sein, oder diese Biotypen beinhalten Mutationen an weiteren Positionen im ALS-Gen, die jedoch in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurden. Für die Praxis lässt sich aus der Untersuchung ableiten, dass bei der Windhalmbekämpfung im Herbst in Getreide der Einsatz von Bodenherbiziden auf Flufenacet-

Basis wie z.B. Herold SC im Herbst ein Basisbaustein werden sollte. Ist Windhalm mit Ackerfuchsschwanz vergesellschaftet, sollte ebenfalls stets ein bodenwirksamer Partner zugemischt werden, da eine allein auf HRAC-Klasse B ausgerichtete Bekämpfung die Gefahr birgt, resistente Biotypen heraus zu selektieren.

Diese Untersuchung zeigt die dringende Notwendigkeit auf, ackerbauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Ungrasbesatzes gezielt einzusetzen, wie bei DICKE et al. (2014) zusammengefasst. In einer Folgeuntersuchung soll nun, über eine Befragung der an dieser Untersuchung beteiligten Landwirte, evaluiert werden, welche Unterschiede in der Bewirtschaftung auf Resistenzstandorten im Vergleich zu sensitiven Standorten vorliegen. Die gewonnenen Informationen sollen helfen, derzeit etablierte Resistenzstrategien zu optimieren, um eine Ausbreitung von Resistenzen, die derzeit noch in einzelnen Ungrasnestern innerhalb von Flächen auftreten, möglichst lange aufzuhalten.

Literatur

- ABBOTT, W.S., 1925: A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* **18**, 265-267.
- DICKE, D., J. WAGNER, E. CRAMER und M. KIRCHNER, 2014: Erstnachweis einer Wirkortresistenz von Tauber Trespe (*Bromus sterilis*) gegenüber ACCase-Hemmern. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 304-310.
- 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.
- MOSS S.R., S.A.M. PERRYMAN und L. V. TATNELL, 2007: Managing herbicide-resistant black grass (*Alopecurus myosuroides*): theory and practice. *Weed Technology* **21**, 300-309.
- NIEMANN, P., 2000: Resistance of silky bentgrass (*Apera spica-venti*) against Isoproturon. *Mitt. Biol. Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* **376**, 147-148.
- NIEMANN, P. und P. ZWERGER, 2006: Über Herbizidresistenz bei *Apera spica venti* (L.). *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XX*, 81-88.
- PETERSEN, J., G. NARUHN und H. RAFFEL, 2012: Nicht- Zielresistenzen bei *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti*- Resistenzmuster und Resistenzfaktoren. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 43-50.
- WOLBER, D.M., 2014: Resistenzentwicklungen von *Apera spica-venti* (L.) O. Beauv. (Gemeiner Windhalm) in Niedersachsen 2013-zunehmend auch gegen Pinoxaden. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 280-286.

Sektion 2: Populationsdynamik und Biodiversität

Section 2: Population dynamics and biodiversity

Arable weed flora in the Western Siberian grain belt

Segetalvegetation des Westsibirischen Getreidegürtels

Immo Kämpf^{1,2*}, Norbert Hölzel², Insa Kühling¹, Kathrin Kiehl¹

¹Faculty of Agricultural Sciences and Landscape Architecture, Osnabrück University of Applied Sciences, Oldenburger Landstr. 24, 49090 Osnabrück, Germany

²Institute of Landscape Ecology, University of Münster, Heisenbergstr. 2, 48149 Münster, Germany

*Corresponding author, immokaempf@uni-muenster.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.010

Abstract

Between Ekaterinburg and Nowosibirsk, in the Western Siberian grain belt, spring wheat is grown on fertile Chernozem soils. Field and farm sizes are large but the land-use intensity per area is low compared to Central Europe. Fertilizers and pesticides are applied only in low to moderate quantities and yields range between 10 and 20 dt ha⁻¹. We studied the arable weed flora in the northern forest steppe zone of Tyumen region using a randomized sampling design. Surprisingly, the species richness was only moderate, on average 9.8 ± 3.8 species per 100 m². Compared to weed communities of Bashkiria (Southern Ural) and less intensively used arable land of Central Europe these numbers are rather low. Moreover, most of the recorded species were cosmopolitans or widely distributed throughout the temperate zone. We suggest that the land use intensity was high enough to reduce the density of a number of weed species in a way that they were not registered by our random sampling design. The limited conservational value of the weed vegetation of large grain fields in Tyumen leads to the conclusion that if intensification of land use is unavoidable, it should be directed to arable land and not to ex-arable land or ancient grassland, which is of higher conservation value.

Keywords: Cropland, land use, phytodiversity, segetal vegetation, summer wheat, Tyumen

Zusammenfassung

Die fruchtbaren Schwarzerden im Westsibirischen Getreidegürtel zwischen Jekaterinburg und Nowosibirsk werden großflächig mit Sommergetreide bestellt. Trotz des großen Anbaumaßstabes ist die Landnutzungsintensität pro Flächeneinheit gering, wenn man sie mit Mitteleuropa vergleicht. Der Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden ist niedrig, und die Erträge liegen zwischen 10 und 20 dt ha⁻¹. Die Verteilung der Probenflächen erfolgte mittels eines randomisierten Samplingdesigns mit 99 Probenflächen à 100 m² im Tjumener Gebiet des Getreidegürtels. Überraschenderweise war der Artenreichtum mit einem Mittelwert von $9,8 \pm 3,8$ Arten niedriger, als bei der geringen Landnutzungsintensität zu erwarten wäre. Verglichen mit Ackergemeinschaften Baschkiriens (Südural) und extensiv bewirtschafteten Flächen in Mitteleuropa sind diese Artenzahlen gering. Außerdem waren die meisten erfassten Arten Kosmopoliten oder in großen Teilen der gemäßigten Zone verbreitete Arten. Aus unseren Ergebnissen schlussfolgern wir, dass die Landnutzungsintensität in Tjumen hoch genug ist, um die Dichten einer Reihe von Segetalarten so zu reduzieren, dass sie mit einem randomisierten Samplingdesign nicht mehr oder nur in geringen Stetigkeiten nachzuweisen sind. Die Unterschiede zum Artenreichtum Mitteleuropäischer Äcker ergeben sich auch aufgrund des geringen Anteils von Archäophyten in der Flora von Tjumen. Hieraus folgt, dass, wenn eine Steigerung der Landnutzungsintensität im Getreidegürtel Westsibiriens unvermeidbar ist, sie auf Ackerflächen stattfinden sollte und nicht auf Ackerbrachen oder Grünlandflächen, die einen höheren naturschutzfachlichen Wert besitzen.

Stichwörter: Acker, Landnutzung, Phytodiversität, Segetalvegetation, Sommerweizen, Tjumen

Introduction

Land-use intensification and the abandonment of marginal land have resulted in the dramatic decline of the biodiversity of agroecosystems in most highly industrialized regions of the world

(STOATE et al., 2001; PEREIRA et al., 2010). In Europe, the proportion of threatened arable plant species per country increases with national wheat yields, and the application of agrochemicals such as fertilizers and herbicides is the most important driver of biodiversity loss on arable land (STORKEY et al., 2012). Nevertheless, the intensification of land use is often considered as without alternative and there is an ongoing debate on how biodiversity conservation and food production can be combined (TSCHARNTKE et al., 2012).

In the Western Siberian grain belt, field and farm sizes are large but the land-use intensity per area is low compared to Central Europe. Fertilizers and pesticides are applied only in low to moderate quantities and yields range between 10 and 20 dt ha⁻¹ (ROSSTAT, 2010). Spring wheat is grown on fertile Chernozem soils, but in the continental climate the agricultural production is constrained by a short growing season and generally poor drainage capacity of the Western Siberian lowland. Although 30% of Russia's arable land is found in the Western Siberian grain belt very little information on the arable weed vegetation is available. MIRKIN et al. (1985) have classified the segetal vegetation in the Bashkir Transural region, but no study exists on the phytodiversity of arable land the Western Siberian grain belt up to now.

The aim of our study is i) to describe the weed vegetation of the Tyumen region, which is located in a central part of the Western Siberian grain belt, and ii) to analyze the effect of land use on the phytodiversity of arable land in this region.

Materials and Methods

Study area

The study area is located in the southern part of the Tyumen region, within the temperate forest steppe zone in the Southwest of the Western Siberian lowland. All sampling was carried out within the SASCHA project (SASCHA, 2015) in three test areas of 20 km x 20 km in size, which are spaced about 150 km apart along a climatic gradient spanning northwest to southeast. The northern test area (*TA North*) is part of the hemi-boreal forest eco-region or *pre-taiga* as referred to in Russian literature (e.g. VOROBEV and BELOV, 1985; WALTER and BRECKLE, 1991). About 100 km south of Tyumen city the hemi-boreal zone is followed by the forest steppe zone. Here, the zonal vegetation consists of a macro-mosaic of birch forests and meadow steppe grasslands (SELEZNEVA, 1973). Within this eco-zone *TA Center* is situated around the small town of Omutinsk, and *TA South* is located 25 km south of the city of Ishim.

The climate is continental with a short vegetation period of 160 days (SELEZNEVA, 1973). The aridity increases from humid in *TA North* to sub-humid in *TA South* (TRABUCCO and ZOMMER, 2009) with mean annual precipitation and temperature of 476 mm and 1.8 °C in Tyumen city and 401 mm and 1.7 °C in Ishim, respectively (DEGEFIE et al., 2014). The parent material for soil development consists of calcareous loess-like sediments (FRANZ, 1973). Main soil types used for arable farming are Chernozems and Phaeozems (SHAHGEDANOVA, 2002). However, gleyic horizons are common in all soil types because of the poor drainage capacity of the Western Siberian plain and extreme seasonal groundwater-level changes (SHAHGEDANOVA, 2002). Due to its location in the fluvial terrace of the Tura river, *TA North* is less elevated (60 m a.s.l.) than *TA Center* and *TA South* (120 m a.s.l.) and has a higher proportion of organic soils.

Tab. 1 Averaged land-use indicator values for arable land over three time steps from 1996 to 2013 for the three test areas of Tyumen region.

Tab. 1 Mittelwerte des Landnutzungsindikators für Ackerland von 1996 bis 2013.

| Test Area | Rayon (district) | Land use indicator |
|-----------|---|--------------------|
| TA North | Tyumenskiy | 0,270 |
| TA Center | Omutinskiy Ishimskiy, Berdyuzhskiy, Kazanskiy | 0,138 |
| TA South | Berdyuzhskiy | 0,251 |

The land use intensity for arable land of the Tyumen districts (rayons) was calculated in means of an indicator by KÜHLING et al. (submitted) by using the fertilizer inputs, the proportion of cropland per province and the proportion of grain crops (Tab. 1). For TA *South* the indicator was calculated as average of the three districts' land use indicators that intersect in this test area, weighted by the area proportion.

Study design and statistical analyses

For the allocation of sampling sites to arable land within the three test areas we used a randomized sampling design. The minimum distance between plots was 500 m and the plots were at minimum 100 m away from the field margin. During the summers of 2012 and 2013, 99 plots 100 m² in size were sampled. Nomenclature of vascular plants follows the standard list for Russia and adjacent countries (CHEREPANOV, 1995). To analyze the completeness and diversity of the Tyumen weed communities we compared our relevés with relevés from the "Segetal communities of Bashkiria" (MIRKIN et al., 1985). Bashkiria = Bashkir Transural region is located at the same latitude as Tyumen region but directly west of the Ural Mountains. Similar to Tyumen region arable land is found in the forest-steppe and partly steppe ecozone. In our study, the effect of spraying was tested on an experimental site near to TA *South* by sampling spray windows that originated from spatial inaccurate application of the herbicide. The spray windows were identified by tracking the route of the sprayer with a GPS device. Sprayed plots were sampled adjacent to the spray window plots on the same field.

The status of origin for all registered species was obtained by analyzing areal diagnostics (MEUSEL and JÄGER, 1965, 1978, 1998), ecological species descriptions (KOMAROV et al., 2004) and distribution maps (HULTEN, 1971). The "Flora of Tyumen", an unpublished Flora by Igor KUZMIN (Tyumen) was used to determine if a species is part of the flora of Tyumen region.

Results

By using phytosociological methods following the classification from Bashkiria of MIRKIN et al. (1985), 86 of the 99 relevés could be assigned to the alliances *Galeopsis bifidae* (35 relevés), *Achillion millefolii* (20 relevés) and *Caucalidion lappulae* (21 relevés) (Tab. 2). Ten relevés contained a mixture of characteristic species from the *Galeopsis* and *Achillion*. However, many relevés seemed to be impoverished. Several relevés contained only one diagnostic species, many diagnostic species had low frequencies and the *Caucalidion* characteristic species *Stachys annua* was completely absent. Especially the *Caucalidion* was not well characterized. Moreover, 13 relevés could not be assigned to any plant community due to the lack of diagnostic species.

Species richness of vascular plants was 9.8 ± 3.8 species per 100 m² (mean \pm 1 SD) and was neither affected by climatic differences nor by differences of land-use intensity between the three test areas (Fig. 1). The mean weed cover was highly variable with average values of $12\% \pm 11\%$. The comparison of the total species lists revealed that most of the weed species from Bashkiria also occur in Tyumen region. There was no annual arable weed species from the *Galeopsis bifidae* and the *Lactucion tataricae* of Bashkiria, which is not part of the Tyumen flora. Although some of these species were not found on the 99 randomized sampling plots, they were recorded by chance

outside of the plots or in other habitat types: *Arenaria serpyllifolia*, *Buglossoides arvensis*, *Capsella bursa-pastoris*, *Galeopsis ladanum*, *Potentilla norvegica*, *Sinapis arvensis*, *Stachys annua* and *Trifolium arvense*, or were listed in the Tyumen flora: *Apera spica-venti*, *Brassica campestris*, *Consolida regalis*, *Galeopsis speciosa*, *Myosotis arvensis* and *Neslia paniculata* (this list includes only species with higher frequency than 2 occurrences in MIRKIN et al. (1985) relevés.

Tab. 2 Diagnostic species frequencies (%) of the weed vegetation of the Western Siberian grain belt sorted by the classification of MIRKIN et al. (1985). *Gal & Ach* = relevés with diagnostic species from the *Galeopsis bifidae* (*Gal*) and the *Achillion millefolii* (*Ach*). *Secalieta* and attendant species are not displayed.

Tab. 2 Stetigkeiten (%) der diagnostischen Arten der Segetalvegetation des Westsibirischen Getreidegürtels, pflanzensoziologische Sortierung nach MIRKIN et al. (1985). *Secalieta*-Arten und Begleiter sind nicht dargestellt.

| | <i>Galeopsis</i> | <i>Gal & Ach</i> | <i>Achillion</i> | <i>Caucalidion</i> | no diagnos- tic species | total |
|-------------------------------------|------------------|----------------------|------------------|--------------------|----------------------------|-------|
| mean no. of species | 11 | 14 | 10 | 9 | 7 | 10 |
| n | 35 | 10 | 20 | 21 | 13 | 99 |
| <i>Galeopsis bifidae</i> | | | | | | |
| <i>Galium aparine</i> | 67 | 60 | 15 | 24 | 0 | 32 |
| <i>Galeopsis bifida</i> | 61 | 50 | 0 | 5 | 0 | 23 |
| <i>Cannabis ruderalis</i> | 56 | 60 | 5 | 10 | 0 | 23 |
| <i>Viola arvensis</i> | 33 | 30 | 10 | 5 | 0 | 15 |
| <i>Fumaria officinalis</i> | 31 | 30 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| <i>Camelina microcarpa</i> | 14 | 10 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| <i>Spergula arvensis</i> | 3 | 10 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Oberna behen</i> | 3 | 10 | 0 | 5 | 0 | 2 |
| <i>Stellaria media</i> | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Lycopsis arvensis</i> | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 2 |
| <i>Achillion millefolii</i>* | | | | | | |
| <i>Tripleurospermum perforatum</i> | 0 | 0 | 35 | 5 | 0 | 8 |
| <i>Taraxacum officinale</i> | 31 | 50 | 85 | 24 | 0 | 33 |
| <i>Linaria vulgaris</i> | 17 | 40 | 35 | 10 | 0 | 15 |
| <i>Nonea pulla</i> | 8 | 10 | 25 | 10 | 0 | 10 |
| <i>Elytrigia repens</i> | 11 | 30 | 20 | 0 | 0 | 8 |
| <i>Plantago major</i> | 11 | 20 | 10 | 0 | 0 | 6 |
| <i>Polygonum aviculare</i> | 6 | 20 | 5 | 0 | 0 | 3 |
| <i>Artemisia vulgaris</i> | 3 | 10 | 5 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Crepis tectorum</i> | 3 | 10 | 0 | 5 | 0 | 2 |
| <i>Berteroa incana</i> | 3 | 10 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Melilotus officinalis</i> | 3 | 10 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Pastinaca sativa</i> | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Dracocephalum thymiflorum</i> | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Lepidium rudemale</i> | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Caucalidion lappulae</i> | | | | | | |
| <i>Lathyrus tuberosus</i> | 11 | 20 | 20 | 57 | 0 | 20 |
| <i>Panicum miliaceum</i> | 3 | 0 | 5 | 29 | 0 | 8 |
| <i>Lactuca tatarica</i> | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 2 |
| <i>Centaurea cyanus</i> | 3 | 10 | 0 | 10 | 0 | 3 |

*This group also contains species from other ruderal plant communities, i.e. *Plantaginetales majoris* and *Artemisietea vulgaris*

The analysis of spray windows showed that herbicide application had a negative effect on plant species richness (Fig. 2). Analyses of distribution maps, areal diagnostics and ecological species

descriptions revealed the floristic status for the weed species of all relevés (Tab. 3). The majority of the species originated from natural habitats. Most of the native species were cosmopolitans or were distributed throughout the whole temperate zone of Eurasia. Only 26% of the species were archaeophytes or anecophytes, most of them with a Mediterranean origin. The two detected Neophytes *Amaranthus retroflexus* and *Conyza canadensis* originated from America. Only 10 species had their main areal in Asia or Eastern Europe, namely *Camelina microcarpa*, *Cannabis ruderalis*, *Dracocephalum thymiflorum*, *Fagopyrum tataricum*, *Lactuca tatarica*, *Lappula squarrosa*, *Lathyrus tuberosus*, *Malva pumila*, *Nonea pulla* and *Thlaspi arvense*.

Tab. 3 Status of origin for the species from 99 relevés on arable land in the Western Siberian grain belt (n = 87)

Tab. 3 Herkunft der Arten der Segetalvegetation des Westsibirischen Getreidegürtels (n = 87).

| Floristic status | no. of species |
|------------------------------|----------------|
| native species | 55 |
| archaeophytes or anecophytes | 23 |
| crop species | 7 |
| neophytes | 2 |

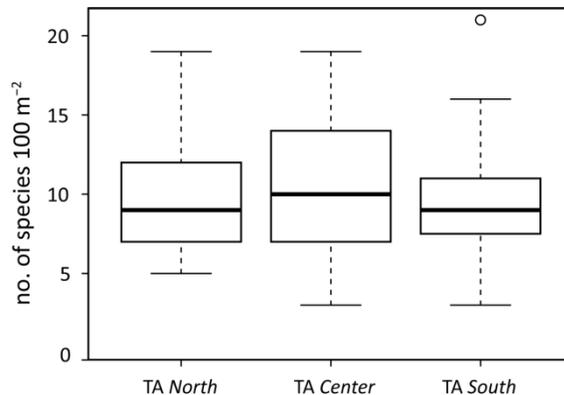


Fig. 1 Floral species richness in arable land of the Western Siberian grain belt along a climatic gradient from N to S (sample sizes: TA North=29, TA Center=30, TA South=40).

Abb. 1 Artenreichtum der Äcker des Westsibirischen Getreidegürtels entlang eines klimatischen Gradienten von N nach S (Stichprobenumfang: TA North=29, TA Center=30, TA South=40).

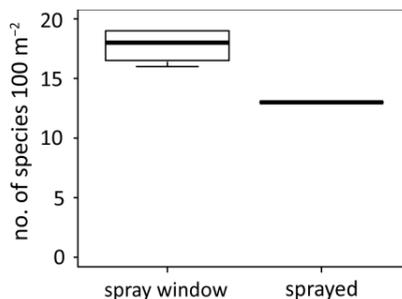


Fig. 2 The effect of herbicide application on the floral species richness of weeds in the Western Siberian grain belt ($n = 4$ in each of the two variants).

Abb. 2 Einfluss von Herbizidanwendung auf den floristischen Artenreichtum von Unkrautgemeinschaften im Westsibirischen Getreidegürtel ($n = 4$ in jeder der beiden Varianten).

Discussion

The analysis of weed vegetation of the Tyumen region revealed no effects of land-use intensity and climate on species richness. However, the registered species richness was rather low compared to the *Caucalidion* and *Galeopsion* communities in Bashkiria, where MIRKIN et al. (1985) with few exceptions found in general 10 to 20 and partly even 20 to 30 vascular plant species on 100 m² plots. Although Bashkiria is about 800 km west of Tyumen region the comparison is reasonable because the relevés were from the same ecozone and the set of species in the relevés from Bashkiria is very similar to the species set which we recorded in Tyumen region. Although our records from Tyumen could partly be assigned to phytosociological units described for Bashkiria, the weed communities of our study region seems to be impoverished, as many diagnostic species had only low frequencies. Since the entire weed species found in Bashkiria are part of the Tyumen flora we conclude that on a larger scale all weed species probably would be present on arable fields. The density of some of the species, however, was strongly reduced by the agricultural management, which results in lower species numbers on plot scale. That species richness of weed vegetation is negatively affected by an agricultural management that is of low intensity when compared with Central Europe was also shown by MIRKIN et al. (2007). They analysed the effect of post-soviet reduction of arable land-use intensity in Bashkir Transural region by comparing relevés from 1985 and 2002 and found an increase of average species numbers from 16 to 21 in the *Galeopsion bifidae* and 9 to 14 in the *Lactucion tataricae*. The increase of species numbers was accompanied by an increase of perennial weeds and grassland species.

In general, the most important management limitations for weed species are high crop densities, efficient seed cleaning and high application rates of fertilizer and herbicides (STORKEY et al., 2012). In Tyumen region crop densities are usually low and fertilizers are applied in low quantities (ROSSTAT, 2010). Therefore, we suggest that herbicide application possibly is one of the main responsible factors for reduced weed densities in Tyumen region (Fig. 2). However, the smaller species richness of Tyumen weed communities compared to Bashkiria can also be a result of methodological differences. In contrast to our randomized sampling design, which avoided for example possibly more species-rich field margins, MIRKIN et al. (1985) used a subjective, targeted sampling design probably choosing only well-developed weed stands. It remains unclear to what extent the differences in species richness are caused by these methodological differences.

The field interior of intensively managed fields in Europe is almost free of weeds, and weeds are restricted to the field margin, for instance with an average of 24 species on 100 m² stripes of field margin (SIMMERING et al., 2013). SEIFERT et al. (2014) recorded on average only roughly 4 species in the field interior and about 10 species at the field margin. In contrast, in Tyumen weeds were present in moderate and occasionally high densities all over the fields. On the other hand arable weed species richness in Central Europe is much higher than in Western Siberia when compared with fields managed according to agro-environmental schemes: about 20 species on average in the field interior (SEIFERT et al., 2014) or when compared with sampling sites, which are chosen in well-developed stands: 30 to 40 species in the segetal vegetation of the Czech Republic (KROPAC, 2006).

The generally low species richness in Tyumen weed vegetation may also be explained by the scarcity of archaeophytes in the Tyumen flora. Archaeophytes are an important part of the Central European weed flora, especially the *Caucalidion* is build up by many thermophilous archeophytic species (KROPAC, 2006). Most of these species originate from the Mediterranean or Southwest Asia which is why many of them reach their eastern distribution limit already west of the Ural Mountains. Due to the extreme continental climate, especially the winter in Tyumen is probably

not warm enough for many archaeophytes, which are often winter annuals. Evidence for the negative effect of harsh climate on archaeophytes was also given by LOSOSOVA et al. (2004), who found decreasing numbers of archaeophytes with increasing altitude. Correspondingly, in Yakutia (Eastern Siberia) – where the climate is extremely cold and arid – weed vegetation has a low cover, is species poor and monotonous: 10–13 species in the southern and 5–10 species in the northern part (MIRKIN et al., 1988).

Conclusion

Despite the low land-use intensity the plant species richness of the Tyumen weed vegetation was low and contained only very few species specific for the region. Results of the SASCHA project show that on the contrary ancient grassland vegetation and also ex-arable land that was left to succession had a significant higher conservation value. We conclude that if an intensification of land use in Tyumen region is unavoidable, it should concentrate on arable land and avoid the (re-)cultivation of ex-arable land and ancient grassland.

Acknowledgements

This work was conducted as part of project SASCHA ('Sustainable land management and adaptation strategies to climate change for the Western Siberian grain belt'). We are grateful for funding by the German Government, Federal Ministry of Education and Research within their Sustainable Land Management funding framework (funding reference 01LL0906E). We want to thank Johannes Kamp, Andrey Tolstikov and Roman Latyntsev for their support by organizing the entire infrastructure that was needed for our fieldwork.

References

- CHEREPANOV, S.K., 1995: Vascular plants of Russia and adjacent countries (within limits of the former USSR). St. Petersburg, Mir i Semya.
- DEGEFIE, D.T., E. FLEISCHER, O. KLEMM, A.V. SOROMOTIN, O.V. SOROMOTINA, A.V. TOLSTIKOV and N.V. ABRAMOV, 2014: Climate extremes in South Western Siberia: past and future. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* **28** (8), 2161-2173.
- FRANZ, H.J., 1973: *Physische Geographie der Sowjetunion*. Gotha/Leipzig, Hermann Haack.
- HULTEN, E., 1971: Atlas of the distribution of Vascular Plants in NW Europe. In: Den virtuella floran. A. ANDERBERG and A.L. ANDERBERG (Eds.), *Naturhistoriska riksmuseet*. <http://linnaeus.nrm.se/flora/welcome.html>, accessed 18 October 2015.
- KOMAROV, V.L., E.G. BOBROV, N.N. TZVELEV and S.G. SHETLER (eds.), 2004: *Flora of the USSR*. Washington D.C., Smithsonian Institution Libraries.
- KROPAC, Z., 2006: Segetal vegetation in the Czech Republic: synthesis and syntaxonomical revision. *Preslia* **78** (2), 123-210.
- KÜHLING, I., G. BROLL and D. TRAUTZ, submitted: Spatio-temporal analysis of land-use intensities in the Western Siberian grain belt. *Science of the total environment*, submitted.
- LOSOSOVA, Z., M. CHYTRY, S. CIMALOVA, Z. KROPAC, Z. OTYPKOVA, P. PYSEK and L. TICHY, 2004: Weed vegetation of arable land in Central Europe: Gradients of diversity and species composition. *Journal of Vegetation Science* **15** (3), 415-422.
- MEUSEL, H., and E. JÄGER, eds., 1965, 1978, 1998: *Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora*. Jena, VEB G. Fischer.
- MIRKIN, B.M., L.M. ABRAMOVA, A.R. ISCHBIRDIN, K.M. RUDAKOV and F.H. CHASNEV, 1985: Segetal communities of Bashkortostan. Ufa, Bashkortostan branch of the Biological Institut of the USSR Academy of Science.
- MIRKIN, B. M., E. F. SHAIKHISLAMOVA, S. M. YAMALOV and Y. T. SUYUNDUKOV, 2007: Analysis of the dynamics of segetal vegetation in the Bashkir Transural region over 20 years (1982-2002) by the Braun-Blanquet method. *Russian Journal of Ecology* **38**, 144-146.
- MIRKIN, B.M., N.P. SLEPCOVA and K.E. KONONOV, 1988: Segetal Vegetation of Central Yakutia. *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica* **23**, 113-143.
- PEREIRA, H.M., P.W. LEADLEY, V. PROENCA, R. ALKEMADE, J.P.W. SCHARLEMANN, J.F. FERNANDEZ-MANJARRES, M.B. ARAUJO, P. BALVANERA, R. BIGGS, W.W.L. CHEUNG, L. CHINI, H.D. COOPER, E.L. GILMAN, S. GUENETTE, G.C. HURTT, H.P. HUNTINGTON, G.M. MACE, T. OBERDORFF, C. REVENGA, P. RODRIGUES, R.J. SCHOLES, U.R. SUMAILA and M. WALPOLE, 2010: Scenarios for Global Biodiversity in the 21st Century. *Science* **330** (6010), 1496-1501.
- ROSSTAT, 2010: *Regions of Russia. Socio-Economic Measures*. (Regiony Rossii. Sotsio-ekonomicheskie Pokazateli). Moscow, Russian Federal Service of State Statistics.
- SASCHA, 2015: Sustainable land management and adaptation strategies to climate change for the Western Siberian Grain Belt. www.uni-muenster.de/SASCHA/en/index.html, accessed 18 October 2015.
- SEIFERT, C., C. LEUSCHNER, S. MEYER and H. CULMSEE, 2014: Inter-relationships between crop type, management intensity and light transmissivity in annual crop systems and their effect on farmland plant diversity. *Agriculture Ecosystems & Environment* **195**, 173-182.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- SELEZNEVA, N.S., 1973: Forest Steppe. Physical geographical zoning of Tyumen Oblast. N. A. Gwosdezkji. Moscow, Moscow University Press, 144-174.
- SHAHGEDANOVA, M., ed., 2002: The physical geography of Northern Eurasia. New York, Oxford University Press.
- SIMMERING, D., R. WALDHARDT and A. OTTE, 2013: Erfassung und Analyse der Pflanzenartenvielfalt in der "Normallandschaft" – ein Beispiel aus Mittelhessen. *Berichte der Reinhard-Tüxen-Gesellschaft* **25**, 73-94.
- STOATE, C., N.D. BOATMAN, R.J. BORRALHO, C.R. CARVALHO, G.R. DE SNOO and P. EDEN, 2001: Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Management* **63** (4), 337-365.
- STORKEY, J., S. MEYER, K.S. STILL and C. LEUSCHNER, 2012: The impact of agricultural intensification and land-use change on the European arable flora. *Proc. R. Soc. B* **279** (1732), 1421-1429.
- TRABUCCO, A., and R.J. ZOMMER, 2009: Global aridity index (Global-Aridity) and global potential evapo-transpiration (Global-PET) geospatial database, CGIAR Consortium for Spatial Information.
- TSCHARNTKE, T., Y. CLOUGH, T.C. WANGER, L. JACKSON, I. MOTZKE, I. PERFECTO, J. VANDERMEER and A. WHITBREAD, 2012: Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation* **151** (1), 53-59.
- VOROBEV, V.V., and A.V. BELOV, eds., 1985: The Vegetation of the Western Siberian Lowland Nowosibirsk. Siberian section "science" press.
- WALTER, H. and S.W. BRECKLE, 1991: *Ökologie der Erde*. Stuttgart, Gustav Fischer press.

Beitrag neuer Energiepflanzen für die Diversifizierung der Beikrautflora in Energieanbausystemen

The impact of new energy crops on weed flora diversification in energy cropping systems

Michael Glemnitz^{1*}, Hans-Jörg Brauckmann²

¹Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Institut für Landnutzungssysteme, Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg

²Universität Osnabrück, Forschungsstelle Nachhaltige Biogaserzeugung, Seminarstr. 19a/b, 49074 Osnabrück

*Korrespondierender Autor, mglemnitz@zalf.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.011

Zusammenfassung

Trotz verschiedener Optionen für die Diversifizierung des landwirtschaftlichen Anbaus durch die energetische Nutzung von Biomasse, z. B. durch die Einführung neuer Kulturpflanzen, herrscht in Deutschland eine einseitige Orientierung auf die Verwendung von Silomais als Biogassubstrat vor. Eine mögliche Ursache dafür, dass die bestehenden Neuerungen bislang nur geringen Eingang in die praktische Anwendung gefunden haben, kann in bestehenden Unsicherheiten bei den Landwirten hinsichtlich der ackerbaulichen Praktikabilität und den ökonomischen sowie ökologischen Effekten vermutet werden. Im Rahmen der Forschungsprojekte "Entwicklung und Vergleich standortangepasster Anbausysteme (EVA)" und "Upscaling der FuE-Ergebnisse zu neuen Kulturen und deren Implementierung (Upscaling)" wurden die möglichen Beiträge von drei neuen Energiepflanzen unter Praxisbedingungen in zwei klimatisch und naturräumlich unterschiedlichen Regionen Ostdeutschlands untersucht. Die großflächigen Feldversuche in Streifenanlage beinhalteten den Vergleich der folgenden Energiepflanzen: 0- Mais als Referenzkultur, 1- Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*), 2- Scharvasigras (*Agropyron elongatum*), 3- mehrjähriges Wildpflanzengemenge.

Die hier dargestellten Untersuchungen bezogen sich auf die nachfolgenden Effekte: α -Diversität auf der Plotebene, Beiträge der einzelnen Kulturen zur β -Diversität zwischen den Kulturarten und den Vergleich der Artenzusammensetzung. Die erzielten Ergebnisse legen nahe, dass durch die Integration neuartiger mehrjähriger Energiepflanzen eine deutliche Anhebung der regionalen Beikrautdiversität erzielt werden kann. Die Artendiversität auf der Plotebene war in allen neuen Energiekulturen um den Faktor 2-4 erhöht. Die neuen Energiepflanzen wiesen dabei deutlich unterschiedliche Artengemeinschaften auf als der Silomais und förderten das Auftreten von Arten, die in Silomais nicht vorkommen. Bei den neuen Energiepflanzen zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen dem mehrjährigen Scharvasigras und den mehrjährigen dikotylen Energiepflanzen Durchwachsene Silphie und Wildpflanzengemenge.

Stichwörter: Beikräuter, α -Diversität, β -Diversität, Redundanzanalyse, Treueindex

Abstract

Despite various options in energy cropping for the diversification of agricultural land use, such as the introduction of new crops, in practice, there is a one-sided orientation toward the use of maize as biogas feedstock in Germany. One reason, why they are not yet introduced in practice, is that for most of them neither the agricultural feasibility nor their ecological and economic benefit could be clearly shown to the farmers up to now. As part of the research projects "Site-adapted Cropping Systems for Energy Crops" (EVA), and "Optimized energy cropping systems for the sustainable biogas production (Upscaling)" the effects of three new energy crops have been tested under real farm conditions in two different regions in the northern part of Germany. The large scale field trial consisted of the comparison of the following energy crops: 0- maize as reference crop, 1- perennial Silphie (*Silphium perfoliatum*), 2- Scharvasi grass (*Agropyron elongatum*), and 3- perennial wild flower mixture.

The trial has been investigated regarding the following effects: α -diversity at the plot scale, contribution to the β -diversity among the crops and species composition. The results suggest that the integration of the new perennial energy crop might contribute to an essential weed diversity enhancement. Weed flora diversity was between 2-4 times higher in most of the cases in the new energy crops compared to maize.

Keywords: α -diversity, β -diversity, fidelity, redundancy analysis, weed

Einleitung

In Deutschland hat die einseitige Orientierung auf Mais als vorherrschendes Biogassubstrat zu einer abnehmenden gesellschaftlichen Akzeptanz des Energiepflanzenanbaus geführt (RUPPERT et al., 2013). Es wird inzwischen allgemein angenommen, dass vom Energiepflanzenanbau ein zusätzlicher Druck auf die Biodiversität in den Agrarlandschaften ausgeht (VOGT et al., 2008; FLADE, 2012). Gleichzeitig gibt es intensive Bestrebungen in der Züchtung, Pflanzenbauforschung und Beratung, alternative Biogassubstrate zum Mais weiterzuentwickeln und praxisfähig zu machen, um damit die Bandbreite der Fruchtarten im Ackerbau zu erweitern. Im Vergleich zu der auf die Lebensmittelproduktion ausgerichteten "traditionellen" Landwirtschaft können im Energiepflanzenanbau völlig neue Fruchtarten, Mischfrüchte und neue Fruchtwechsellkombinationen angebaut werden. Auch mehrjährige Kulturen werden für eine energetische Nutzung wieder attraktiv. Das Spektrum der im Screening befindlichen neuen Energiepflanzen ist dabei sehr breit. Zu den am weitesten bekannten neuen Energiepflanzen für eine Verwertung als Biogas gehören u. a. verschiedene Hirsearten (*Sorghum* sp.), die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*), das Szarvasigras (*Agropyron elongatum*), Miscanthus (*Miscanthus sinensis*), Igniscum (*Fallopia sachalinensis*), Sida (*Sida hermaphrodita*) und Wildpflanzenmischungen.

Viele der vorliegenden Beurteilungen der Biodiversitätseffekte der neuen Energiepflanzen beruhen bislang auf Experteneinschätzungen (VOGT et al., 2008; NABU, 2013). Die neuen Energiepflanzen werden dabei entweder „per se“ als Erhöhung der Kulturartenvielfalt positiv angesehen oder es werden Analogieschlüsse über deren mögliche positive Wirkungen getroffen (Blühaspekt -> Blütenbesucher). Aktuell liegen nur wenige empirische Ergebnisse für die Effekte von neuen Energiepflanzen auf die Biodiversität vor (PEDROLI et al., 2013; MEYER et al., 2014). Die vorliegenden Untersuchungen zu den Effekten einzelner Energiepflanzen auf tierische Organismengruppen legen jedoch nahe, dass neben einigen prinzipiellen Vorteilswirkungen, zum Beispiel beim Ersatz einjähriger durch mehrjährige Kulturpflanzen, für vor allem Bodenorganismen und für mehrjährige Beikräuter die Effekte zwischen den einzelnen neuen Energiepflanzen stark variieren (STANLEY und STOUT, 2013; ROBERTSON et al., 2012).

Untersuchungen zur Anbaugestaltung und zur Quantifizierung der Effekte auf die Biodiversität waren der Gegenstand der beiden Projekte "Upscaling der FuE-Ergebnisse zu neuen Kulturen und deren Implementierung" und "Entwicklung und Vergleich von standortangepassten Anbausystemen – EVA", die in zwei Naturräumen Ostdeutschlands realisiert wurden. Ziel der Untersuchungen war es, die Ertragsleistung und Biodiversitätseffekte im Vergleich zum Mais darzustellen und das Potenzial der neuen Kulturarten zur Aufwertung von Energiepflanzenfruchtfolgen aufzuzeigen.

Material und Methoden

Die Felderhebungen erfolgten auf den Praxisflächen zweier landwirtschaftlicher Betriebe im Bundesland Brandenburg unter klimatisch und naturräumlich unterschiedlichen Rahmenbedingungen (Abb. 1, Tab. 1). Die Untersuchungen wurden an beiden Standorten mit übereinstimmenden Prüfgliedern, gleicher Versuchsanlage und Methode durchgeführt. In beiden Regionen wurden die neuen Energiepflanzen Durchwachsene Silphie, Szarvasigras und ein ausdauerndes Wildpflanzengemenge (letzteres sowohl in Reinsaat als auch in Untersaat in Silomais etabliert) mit der Referenzkultur Silomais in Form einer randomisierten Streifenanlage mit vier Wiederholungen verglichen. Die Größe der einzelnen Streifen variierte dabei entsprechend der örtlichen Gegebenheiten zwischen 60-120 m Breite und 400-600 m Länge (ca. 3-4 ha je Streifen).

Tab. 1 Beschreibung der Standortbedingungen der beiden Untersuchungsflächen.

Tab. 1 *Description of the site conditions.*

| Parameter | Region | |
|---------------------------------|----------|-----------|
| | Prignitz | Uckermark |
| Jahresmitteltemperatur* | 9,0 °C | 8,4 °C |
| Jährlicher Niederschlag* | 574 mm | 620 mm |
| Bodentyp | Gley | Fahlerde |
| Höhe über N.N. | 50 m | 220-250 m |
| Ackerzahl | 25-30 | 45 |

* langjähriges Mittel (1980-2010)



Abb. 1 Lage der Untersuchungsstandorte in Deutschland.

Fig. 1 *Location of the investigational sites.*

Die Versuche wurden im Jahr 2012 etabliert und mit praxisüblicher Technik bewirtschaftet. Die Bewirtschaftung war auf die Bedürfnisse einer optimalen Bestandesführung ausgerichtet (Tab. 2). Die Düngung und Terminierung der Maßnahmen wurde jährlich nach Bedarf angepasst. Während die neuen Energiekulturen ausschließlich mit Gärrest ($N_{ges}/P_2O_5/K_2O$: Prignitz 4/1,6/3,8; Uckermark 4,3/1,8/4,3 $kg \cdot t^{-1}$) gedüngt wurden, erhielt der Mais an beiden Standorten eine mineralische Ergänzungsdüngung in Höhe von 100 kg/ha Harnstoff (46% N; Prignitz) oder Kieserit (25% $MgO + 50\% SO_3$; Uckermark).

Die Untersuchungen zum Beikrautvorkommen wurden nach erfolgreicher Etablierung der Bestände im 2. und 3. Bestandesjahr der Kulturen (2013 und 2014) zusammen mit weiteren zoologischen Erhebungen durchgeführt. Auf jeder der ausgewählten 4 Parzellen je Versuchsstandort wurde in der Feldmitte ein Probenahmetransekt von 40 m Länge und 30 m Breite angelegt. Entlang der Mittellinie dieses Transekts wurden jeweils 10 Boniturquadrate ($1 m^2$) für die Beikrautflora wurden in direkter Nähe links und rechts neben Bodenfallen für zoogische Untersuchungen angeordnet. Auf den Boniturquadraten erfolgte die Bestimmung der folgenden Parameter: Deckungsgrad Vegetation gesamt, Deckungsgrad Kulturpflanze gesamt und einzeln für die Mischungspartner (insofern relevant), Deckungsgrad Beikrautflora gesamt, Deckungsgrad der einzelnen Beikrautarten (modifiziertes Braun-Blanquet) und die Bestandeshöhe. Die Bonituren der Beikrautflora wurden von Anfang Mai bis Ende September im 14-tägigen Rhythmus durchgeführt.

Tab. 2 Beschreibung der Anbauverfahren und Betriebstypen für die Untersuchungsflächen.**Tab. 2** Description of the farming practice on the investigated fields.

| | Untersuchungsstandort Prignitz | | Untersuchungsstandort Uckermark | |
|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| | Durchwachsene Silphie (SIL) | Silomais (SMA) | Szarvasigras (SZG) | Mehrj. Wildpflanzenmischung (WKR) |
| Bodenbearbeitung | Grubber 20 cm (2012) | Grubber 20 cm (April) | Grubber 20 cm (2012) | Grubber 20 cm (2012) |
| Gärrestdüngung | 2013: 40+20 t/ha 2014: 20+20 t/ha | 2013: 30 t/ha 2014: 40 t/ha | 2013: 22+21+11 t/ha 2014: 20+20+20 t/ha | 2013: 40+20 t/ha 2014: 20+20 t/ha |
| Pflanzenschutz | 2013: ohne 2014: ohne | 2013: 1x* 2014: 1x* | 2013: MCPA 500 2014: ohne | 2013: ohne 2014: ohne |
| Ernte | 2013: August 2014: August | 2013: Oktober 2014: September | 2013: Juli 2014: Juni | 2013: August 2014: August |
| | Untersuchungsstandort Prignitz | | Untersuchungsstandort Uckermark | |
| | Durchwachsene Silphie (SIL) | Silomais (SMA) | Szarvasigras (SZG) | Mehrj. Wildpflanzenmischung (WKR) |
| Bodenbearbeitung | Pflügen 25 cm (2012) | Pflügen 20 cm (April) | Pflügen 25 cm (2012) | Pflügen 25 cm (2012) |
| Gärrestdüngung | 2013: 40+15 t/ha 2014: 35 t/ha | 2013: 45 t/ha 2014: 37 t/ha | 2013: 20+20 t/ha 2014: 25+15 t/ha | 2013: 40+15 t/ha 2014: 25 t/ha |
| Pflanzenschutz | 2013: ohne 2014: ohne | 2013: 1x* 2014: 1x* | 2013: MCPA 500 2014: ohne | 2013: ohne 2014: ohne |
| Ernte | 2013: August 2014: August | 2013: Oktober 2014: September | 2013: Juli 2014: Juli | 2013: Juli 2014: Juli |

* Clio Super (1 l*ha⁻¹) + Zeagran ultimate (1 l*ha⁻¹) + Gardo Gold (1 l*ha⁻¹) bei BBCH 12-16

Die Auswertung der α -Diversität (Diversität an den einzelnen Plots) der neuen Energiekulturen und der Maisreferenz erfolgte auf der Grundlage der jährlich vorkommenden Artenanzahlen je Untersuchungsplot. Statistisch wurden die vorgefundenen Unterschiede mit einem Verallgemeinerten linearen Modell (VLM) geprüft, bei welchem die Fruchtarten, die Untersuchungsjahre und die Untersuchungsstandorte und deren Wechselwirkungen als feste Faktoren gesetzt waren. Für die Modellabschätzung wurde eine Poissonverteilung der abhängigen Variable angenommen. Die Parameterschätzung erfolgte mit einem robusten Maximum-Likelihood-Schätzer, als Prüfstatistik diente der Likelihood-Quotient (Profil-Likelihood). In den Ergebnissen werden jeweils die Randmittel der Prüfglieder dargestellt. Der Beitrag der einzelnen Energiekulturen zur regionalen β -Diversität (regionale Diversität in der Gesamtheit aller untersuchten Ackerflächen) wurde unter Verwendung des Fidelity-Indexes nach CHYTRY et al. (2002) untersucht. Mit diesem sogenannten Treueindex wurde untersucht, wie stark das Vorkommen sowie die Abundanz einzelner Arten an spezielle Energiekulturen gebunden ist. Dieser Index ist sehr robust gegenüber seltenen und zufällig vorkommenden Arten. Er erreicht hohe Werte nur dann, wenn einzelne Arten sehr häufig und mit hohen Abundanzen nur in einzelnen Energiekulturen vorkommen. Die Zönosen-Zusammensetzung der Beikräuter in den unterschiedlichen Kulturen wurde mit einer Redundanzanalyse (RDA) verglichen. Vor den Analysen wurden die Artabundanzen je Bonitureinzelfläche über das gesamte Jahr summiert und anschließend einer Hellinger-Transformation (LEGENDRE and GALLAGHER, 2001) unterzogen, um zu vermeiden, dass individuenreiche Arten das Ergebnis der Analyse dominieren.

Ergebnisse

Die Trends in der Artenanzahl der Beikräuter sind an beiden Untersuchungsstandorten in der Höhe und Relation nahezu identisch. Neben signifikanten Unterschieden zwischen den beiden Untersuchungsjahren (in 2014 waren die Artenanzahlen insgesamt höher) verursachte vor allem die Wahl der betrachteten Energiepflanzen signifikante Unterschiede auf den Untersuchungsplots (Abb. 2, 3). An beiden Standorten wies das Szarvasigras die höchste Beikrautdiversität auf. Auch die Durchwachsene Silphie und das Wildkrautgemenge wiesen eine um den Faktor 2-4 höhere Artenanzahl an Beikräutern auf als der Maisanbau. Der Unterschied zwischen der Silphie und dem Wildkrautgemenge war in der Uckermark in beiden Jahren zugunsten der Silphie signifikant, in der Prignitz waren die Artenanzahlen in beiden Kulturen vergleichbar hoch.

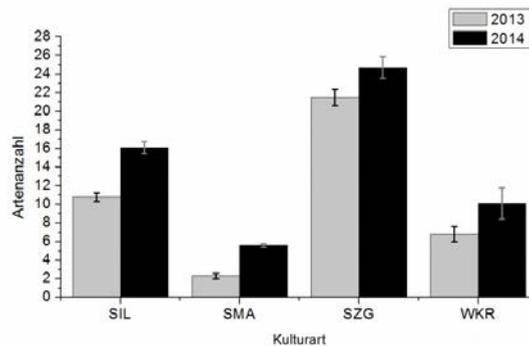


Abb. 2 Mittlere jährliche Artenanzahl in den untersuchten Energiepflanzen am Standort Uckermark (Randmittel aus dem Verallgemeinerten linearen Modell, Maximum-Likelihood-Schätzer, SIL - Durchwachsene Silphie, SMA - Silomais, SZG - Szarvasigras, WKR - mehrjährige Wildpflanzenmischung).

Fig. 2 Averaged annual species richness in the investigated energy crops at the site Uckermark (estimated means from generalized linear model, Maximum-likelihood estimate, SIL - cupplant, SMA - maize for silage, SZG - szarvasi grass, WKR - perennial wildflower mixture).

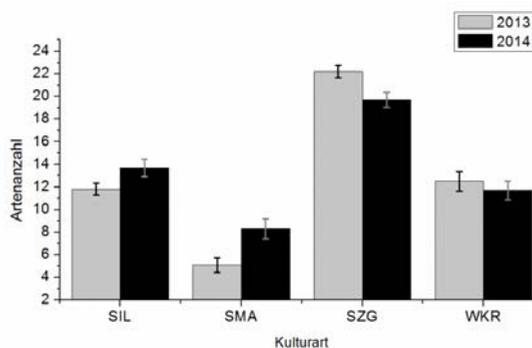


Abb. 3 Mittlere jährliche Artenanzahl in den untersuchten Energiepflanzen am Standort Prignitz (Randmittel aus dem Verallgemeinerten linearen Modell, Maximum-Likelihood-Schätzer, SIL - Durchwachsene Silphie, SMA - Silomais, SZG - Szarvasigras, WKR - mehrjährige Wildpflanzenmischung).

Fig. 3 Averaged annual species richness in the investigated energy crops at the site Prignitz (estimated means from generalized linear model, Maximum-likelihood estimate, SIL - cupplant, SMA - maize for silage, SZG - szarvasi grass, WKR - perennial wildflower mixture).

Der Beitrag der neuen Energiepflanzen für eine Diversifizierung von Anbaufolgen oder im regionalen Kontext lässt sich am ehesten aus der Analyse der Überschneidungen in den Arteninventaren ablesen. Die in Abbildung 4 dargestellten Treuewerte können dabei als Beitrag der einzelnen Energiepflanzen zur β -Diversität interpretiert werden. Aus der Darstellung wird ersichtlich, dass im Mais fast keine Beikrautarten vorkommen, die nicht auch in den anderen Kulturen vorkommen. Das Szarvasigras bereichert die Anbaufolgen um nahezu 15-20 % von Arten, die schwerpunktmäßig nur in dieser Kultur vorkommen, bei der Silphie und der Wildkrautmischung sind es jeweils etwa 10 % oder 6-7 Arten. Die Effekte sind beim Vorkommen der spezifischen Arten geringfügig stärker ausgeprägt als bei der Artmächtigkeit.

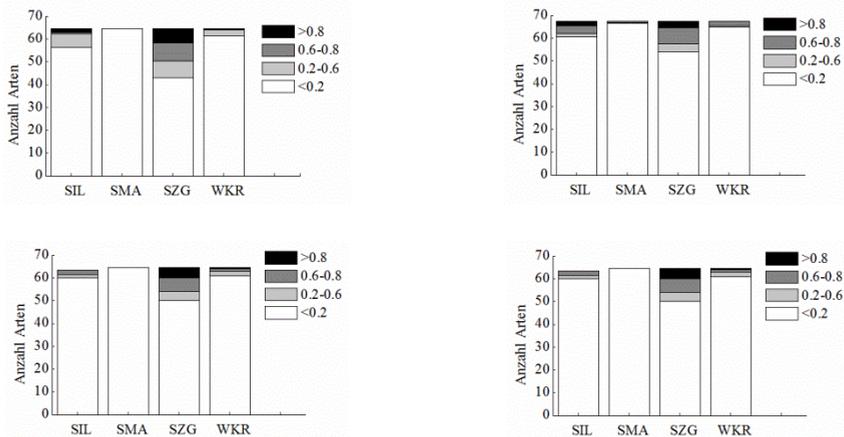


Abb. 4 Anzahl von Arten mit starker Bindung im Vorkommen (oben) bzw. in der Artmächtigkeit (unten) an einzelne Energiekulturen an den Standorten Prignitz (links) und Uckermark (rechts) (Mittelwerte der Anzahl Arten mit hohen Phi-Treuewerten, berechnet nach CHYTRY et al. (2002), SIL - Durchwachsene Silphie, SMA - Silomais, SZG - Szarvasigras, WKR - mehrjährige Wildpflanzenmischung).

Fig. 4 Number of species with high fidelity indices in their occurrence (above) or abundance (below) in specific energy crops at the sites Prignitz (left) and Uckermark (right) (Phi-indices after CHYTRY et al. (2002) averages per plot, SIL - cupplant, SMA - maize for silage, SZG - szarvasi grass, WKR - perennial wildflower mixture).

Die durchgeführte Redundanzanalyse hat einen holistischeren Ansatz und betrachtet die Artenzusammensetzung der Beikrautflora als Ganzes. In Übereinstimmung mit den vorherigen Ergebnissen zeigte sich allerdings auch hier, dass das Szarvasigras am stärksten zu einer Diversifizierung an beiden Standorten beitrug. Diese Kultur erklärte den größten Anteil der Varianz im Beikrautvorkommen (abzulesen aus der Lage zur x-Achse und der Pfeillänge). Die Beikrautflora im Szarvasigras unterschied sich deutlich von der im Mais und in der Durchwachsenen Silphie und dem Wildkrautgemenge. Letztere unterschieden sich wiederum in allen Jahren und an allen Standorten deutlich von der Beikrautflora im Mais, jedoch nicht so stark voneinander. Dies ist beispielhaft aus der Lage der Pfeile für die jeweiligen Energiepflanzen in Abbildung 5 abzulesen. Die Graphen für die einzelnen Anbaujahre und Regionen wiesen jeweils die gleiche Struktur wie in Abbildung 5 auf. Die einzige Ausnahme davon bildete nur die Untersuchungsfläche in der Uckermark im Jahr 2013. In diesem Fall war die Beikrautflora in der Durchwachsenen Silphie noch der Beikrautflora im Silomais ähnlicher als der im Wildkrautgemenge. Die 4 untersuchten Energiepflanzen lieferten Erklärungswerte für die Varianz in der Beikrautflora an den einzelnen Standorten und Jahren zwischen 58,2 und 68,4 %, wobei die Varianzerklärung von 2013 auf 2014 insgesamt leicht zunahm.

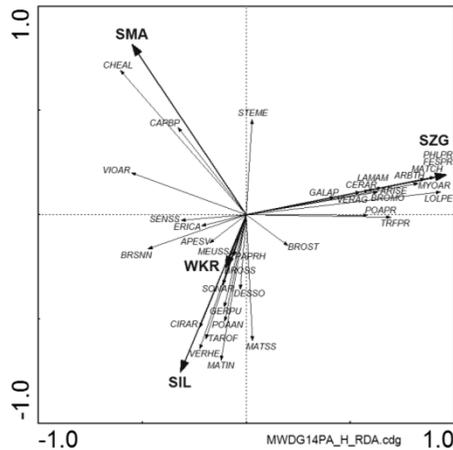


Abb. 5 Einfluss der neuen Energiepflanzen auf die Zusammensetzung der Beikrautzönose am Untersuchungsstandort in der Uckermark im Jahr 2014 (Redundanzanalyse (RDA), Hellinger-Transformation der Einzeldaten, Jahresmittel der Abundanzen der Arten auf den einzelnen Plots, N=40, SIL - Durchwachsene Silphie, SMA - Silomais, SZG - Szarvasigras, WKR – mehrjährige Wildpflanzenmischung).

Fig. 5 Impact of the energy crops at the weed species composition at the site Uckermark in 2014 (redundance analysis (RDA), Hellinger-transformation of the data from the single plots, N=40, SIL - cupplant, SMA - maize for silage, SZG - szarvasi grass, WKR - perennial wildflower mixture).

Diskussion

Die Ergebnisse der Felderhebungen belegen, dass sich die Beikrautflora in den untersuchten drei neuen Energiepflanzen deutlich sowohl in der α - und β -Diversität, aber auch in der Artenzusammensetzung von der Beikrautflora in Silomais unterscheidet. Dieser sehr grundsätzliche positive Effekt scheint in erster Linie auf die Mehrjährigkeit der neuen Energiepflanzen und den ausbleibenden Pflanzenschutz zurückzuführen zu sein. Dieser Fakt bestätigt damit die von anderen Organismengruppen publizierten Aussagen zu den Unterschieden zwischen annuellen und mehrjährigen Kulturpflanzen (ROBERTSON et al., 2012). Während bei den Bodenorganismen sicherlich primär die mehrjährige Bodenruhe die tragende Einflussgröße für diese Effekte darstellt, kommt bei den Beikräutern der ausbleibende Pflanzenschutz als zusätzlicher Faktor hinzu. Konventionelle und Weizenfelder ohne chemischen Pflanzenschutz (ökologisch bewirtschaftet) zeigten in Untersuchungen von GABRIEL et al. (2006) auf der Plotebene (α -Diversität auf der Mikroskala) Diversitätsunterschiede um den Faktor 1,6.

Überraschend stark sind in unseren Untersuchungen die Unterschiede in den Beikräutergemeinschaften zwischen der mehrjährigen monokotylen Energiepflanze Szarvasigras und den dikotylen Energiepflanzen Silphie und Wildkrautgemenge hervorgetreten. Die Zusammensetzung der Beikrautflora betreffend können wir hierbei im Wesentlichen die von STEVENSON und JOHNSON (1999) gemachten Beobachtungen bestätigen, die von einer Zunahme monokotyler Unkräuter und einem Rückgang dikotyler Arten bei zunehmendem Anteil von grasartigen Kulturpflanzen in der Fruchtfolge berichteten. Dieser Effekt könnte demnach auch unabhängig von selektiven Einflüssen der unterschiedlichen Herbizidanwendung in diesen Kulturen auftreten. Die stark erhöhte Artenanzahl im Szarvasigras ist in unseren Untersuchungen nicht unwesentlich dem Umstand geschuldet, dass aufgrund der sehr langsamen anfänglichen Bestandesentwicklung dieser Kulturpflanze auch genügend Freiräume für das Auftreten von Beikräutern zur Verfügung standen. Eine langsame Jugendentwicklung ist von vielen mehrjährigen Energiegräsern bekannt (LEWANDOWSKI et al., 2003). Im Gegensatz zu anderen Untersuchungsstandorten schafft es das Szarvasigras an unseren Standorten auch im zweiten Bestandesjahr nicht, eine ausreichende eigene Konkurrenzstärke zur Kontrolle der Beikräuter zu entwickeln. Die Etablierung im ersten Jahr

ist entscheidend für den Erfolg oder Misserfolg des Anbaus nahezu aller mehrjährigen Kulturen und in der Etablierung liegt auch die größte Herausforderung (HARTMANN und HALLER, 2014).

Die Bestandesentwicklung der untersuchten neuen Energiepflanzen ist mit Ausnahme der geschilderten Situation beim Szarvasigras jedoch keine ausreichende Erklärungsgröße für die festgestellten Unterschiede in den unterschiedlichen Diversitätsparametern der anderen neuen Energiepflanzen. Die Bestandesentwicklung der Silphie war an beiden Standorten sehr unterschiedlich, ohne dass sich dies in den Biodiversitätsparametern der Beikräuter manifestiert hat. Im Untersuchungsgebiet in der Uckermark bildeten die Silphie und die mehrjährigen Wildkräuter bereits früh im Jahresverlauf sehr dichte Bestände nahe am Bestandesschluss. Untersuchungen von SEIFERT et al. (2014) belegen, dass die Lichtverfügbarkeit an der Bodenoberfläche als Ergebnis unterschiedlich stark entwickelter Kulturpflanzenbestände nur bei großen Unterschieden, wie sie etwa zwischen dem Feldinneren und Randstreifen oder zwischen konventionell bewirtschafteten und Schutzäckern auftreten, Einfluss auf die Anzahl der vorkommenden Arten hat, nicht jedoch innerhalb konventionell bewirtschafteter Äcker. Im Umkehrschluss lässt sich daraus ableiten, dass hohe Bestandesdichten und hohe Artendiversität der Beikräuter keinen grundsätzlichen Gegensatz darstellen müssen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass durch die Integration neuer mehrjähriger Energiepflanzen in Energiefruchtfolgen eine deutliche Anhebung der regionalen Beikrautdiversität erzielt werden kann. Die neuen Energiepflanzen weisen dabei deutlich unterschiedliche Artengemeinschaften auf als der Silomais und befördern das Auftreten von Arten, die in Silomais nicht vorkommen.

Danksagung

Die diesen Ergebnissen zugrunde liegenden Forschungsarbeiten wurden gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages im Rahmen der Projekte mit den FKZ 22006112 und FKZ 22017511.

Literatur

- CHYTRÝ, M., L. TICHÝ, J. HOLT und Z. BOTTA-DUKÁT, 2002: Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures. *Journal of Vegetation Science* **13**(1), 79-90.
- FLADE, M., 2012: Von der Energiewende zum Biodiversitäts-Desaster – zur Lage des Vogelschutzes in Deutschland. *Vogelwelt* **133**, 149–158.
- GABRIEL, D., I. ROSCHEWITZ, T. TSCHARNTKE und C. THIES, 2006: Beta diversity at different spatial scales: plant communities in organic and conventional agriculture. *Ecological Applications* **16**(5), 2011-2021.
- HARTMANN, A. und J. HALLER, 2014: Silphie und Co als Biogassubstrat – Erste Ergebnisse aus dem Dauerkulturanbau. TFZ-Merkblatt: 14PHm004, Stand: August 2014, Eigenverlag 1-6, http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/14phtm004_mb_silphie_und_co.pdf.
- LEGENDRE, P. und E. D. GALLAGHER, 2001: Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia* **139**, 271-280.
- LEWANDOWSKI, I., J.M. SCURLOCK, E. LINDVALL und M. CHRISTOU, 2003: The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy* **25**(4), 335-361.
- MEYER, S., S. HOEBER, S. NEHRING und C. LEUSCHNER, 2014: Konsequenzen des Bioenergiepflanzenanbaus für die Segetalvegetation. *Natur und Landschaft* **89**, H 9/10: 429–433.
- NABU, 2013: Naturverträgliche Nutzung ökologischer Vorrangflächen – ein Mehrwert für Biodiversität und Landwirtschaft?. Schlussbericht zum Vorhaben FKZ: 22007512, 83 S.
- PEDROLI, B., B. ELBERSEN, P. FREDERIKSEN et al., 2013: Is energy cropping in Europe compatible with biodiversity? - Opportunities and threats to biodiversity from land-based production of biomass for bioenergy purposes. *Biomass & Bioenergy* **55**, 73-86.
- ROBERTSON, B. A., C. PORTER, D. A. LANDIS und D. W. SCHEMSKE, 2012: Agroenergy crops influence the diversity, biomass, and guild structure of terrestrial arthropod communities. *BioEnergy Research* **5**(1), 179-188.
- RUPPERT, H., M. KAPPAS und J. IBENDORF, 2013: Sustainable Bioenergy Production: An Integrated Perspective. Springer Dordrecht, Heidelberg, New York, London, p 456.
- SEIFERT, C., C. LEUSCHNER, S. MEYER und H. CULMSEE, 2014: Inter-relationships between crop type, management intensity and light transmissivity in annual crop systems and their effect on farmland plant diversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **195**, 173-182.
- STANLEY, D. A. und J. C. STOUT, 2013: Quantifying the impacts of bioenergy crops on pollinating insect abundance and diversity: a field-scale evaluation reveals taxon-specific responses. *Journal of Applied Ecology* **50**, 335-344.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

STEVENSON, F.C. und A.M. JOHNSON, 1999: Annual broadleaf crop frequency and residual weed populations in Saskatchewan parkland. *Weed Science* **47**, 208–214.

VOGT, R., S. GÄRTNER, J. MÜNCH, G. REINHARDT, S. KÖPPEN et al., 2008: Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. 2008. Endbericht F&E-Vorhaben BMU, FKZ: 0327544, 467 S.

About the interplay of sensitive and resistant biotypes in weed populations - simulation exercises for *Echinochloa crus-galli* in maize crops

Über das Zusammenspiel von sensitiven und resistenten Biotypen in Unkrautpopulationen – eine Übung anhand von *Echinochloa crus-galli* in Mais

Christoph von Redwitz*, Heike Pannwitt, Bärbel Gerowitz

Crop health, Faculty of Agricultural and Environmental Science, Rostock, Germany

*Corresponding author, christoph.redwitz@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.012

Abstract

Weed species easily establish in crops with a similar life cycle. Especially mono-cropping provides best conditions for such weeds. In maize this is true for *Echinochloa crus-galli*, which is a C4 plant and one of the worst weeds worldwide. In Germany *E. crus-galli* is one of the few typical weed species in maize. When recurrent herbicide treatments are applied, development of herbicide resistance is likely.

Since maize is typically only treated once with herbicides, later germinating weeds can escape and produce seeds. These escaping weeds are not selected for herbicide resistance. Hence, they still have a more sensitive gene pool. *E. crus-galli* emerges with the highest density in spring and continues to germinate over the whole vegetative period of maize. In that way the early germinating biotypes are selected for herbicide resistance while the later germinating biotypes are not.

To avoid the reproduction of *E. crus-galli* effort is made to suppress these later germinating weeds. Using undersown cover crops is one way to do that. We hypothesize that suppressing the later germinating biotypes enhances the development of herbicide resistance.

We simulated the development of herbicide resistance in populations of *E. crus-galli*, composed of sensitive and resistant biotypes, in a continuous maize cropping system. We used the model PROSPER for our simulations. We assumed three levels of suppression of the later germinating weeds (0%, 30%, and 100%).

The results show a faster development of herbicide resistance, when the later germinating individuals are suppressed. Nevertheless, the suppressive effect of undersown crops is able to lower the weed density even with high resistance level in the population.

Keywords: Cover crop, *Echinochloa crus-galli*, population dynamic, simulation model, suppression

Zusammenfassung

Unkräuter können sich besonders leicht auf solchen Flächen etablieren, auf denen ihnen ähnliche Feldfrüchte stehen. Dabei wird ihre Etablierung durch den kontinuierlichen Anbau dieser Kulturpflanze gefördert. Reguliert werden die Unkrautdichten meist mit wiederholtem Einsatz immer derselben Herbizide. Der Grund dafür ist die geringe Verfügbarkeit von unterschiedlichen Wirkstoffen, mit der Folge einer möglichen Resistenzentwicklung. Im Maisanbau zeigt *Echinochloa crus-galli* so eine Entwicklung. Diese C4-Pflanze ist in Deutschland eines der wichtigsten Unkräuter in Mais.

In Deutschland wird Mais üblicherweise nur einmal mit Herbizid behandelt. Da *E. crus-galli* mit abnehmender Rate über die gesamte Vegetationsperiode von Mais keimt, werden von dieser einen Herbizidbehandlung nur die früh auflaufenden Biotypen unterdrückt. Später auflaufende Unkräuter können ihre sensitive Genetik weiter vermehren. Um die Reproduktion der später auflaufenden Biotypen zu verhindern, werden verschiedene Maßnahmen angewendet. Eine davon ist der Einsatz der Untersaat. Wir behaupten, dass die Unterdrückung der später auflaufenden Biotypen die Entwicklung der Herbizidresistenz verstärkt.

Wir betrachten die Entwicklung der Herbizidresistenz von *E. crus-galli* im kontinuierlichen Maisanbau in drei Varianten: 0%, 30% und 100% Unterdrückung der spät auflaufenden Biotypen. Dazu nutzen wir das populationsdynamische Modell PROSPER.

Bei Unterdrückung der spät auflaufenden Biotypen zeigen die Ergebnisse eine schnellere Entwicklung der Herbizidresistenz. Die Dichte von *E. crus-galli* wird von der Untersaat aber trotz hohem Resistenzniveau gesenkt.

Stichwörter: *Echinochloa crus-galli*, Populationsdynamik, Simulationsmodell, Unterdrückung, Untersaat

Introduction

Echinochloa crus-galli (L.) P. B. is one of the widest spread summer annual weed species on land under arable use worldwide (HOLM et al., 1977). In Germany it has become one of the most important weed in maize cropping (MEHRTENS et al., 2006). The summer annual weed species can produce more than 300.000 seeds/m² with only 10 plants/m² plants (NORRIS, 1992). Most of these seeds feed seed predators undergo decay or lose their viability within one year (BAGAVATHIANNAN and NORSWORTHY, 2013). However, other seeds enter the seed bank and germinate over a long period of time, starting in spring and ends in late summer (OGG and DAWSEN, 1984; NORRIS, 1996).

As a C4 plant *E. crus-galli* possesses best prerequisites to become a serious weed in maize (MURPHY and LEMERLE, 2006). It has the ability to reduce the yield of maize significantly (BOSNIC and SWANTON, 1997), thus it is a serious threat to maize production. Farmers meet this risk by a consequent weed control, including recurred applications of herbicides. However, their usage has a great disadvantage since herbicides induce strong selection pressure with growing probability to develop herbicide resistance (POWLES and YU, 2010). For *E. crus-galli*, target-site resistance against ALS-inhibitors is the main discovered herbicide resistance (HEAP, 2015) but others are likely, including multigene non-target site resistance (CLAERHOUT et al., 2015).

It is difficult, maybe even impossible, to conduct field trials on the development on herbicide resistance. Hence, computer based simulation models are important tools helping to predict and explain this effect on in-field weed populations (RENTON et al., 2014). In this study we use the simulation model PROSPER developed at the University of Rostock (REDWITZ et al., in prep.) provided as an R package to analyse the population development of *E. crus-galli*.

Integrated weed management combines chemical control with non-chemical control methods, including cultural control. A method to increase weed competition of the poorly competing maize crop is to introduce undersown crops, like legumes or grass/legumes mixtures. Acting as cover crops, these crops are undersown in the crop stand of maize four to five weeks after maize and after an initial weed control, which is, at least in conventional agriculture, done with herbicides (JUNG et al., 2012).

We investigated the effects of such undersown cover crops on the population of *E. crus-galli* under continuous maize cropping on the development of herbicide resistance in simulation exercises. We assumed three levels of weed suppression by the undersown cover crop on late germinating seedlings. We hypothesized an effect of the additional weed suppression on both, reduction of the population growth and an enhanced development of herbicide resistance within the population of *E. crus-galli* by additional weed suppression. Hence, our simulation studies reveal, how sensitive and resistant biotypes of a population of *E. crus-galli* interplay with each other and how this interplay is modified by cultural control measures.

Materials and Methods

The simulation model PROSPER

The population dynamic model PROSPER (REDWITZ et al., in prep.) is used to model the effect of a suppressed weed cohort (without selection pressure) on the development of herbicide resistance in *E. crus-galli* population. This model simulates weed population dynamics with specific genetics under selection pressure. It uses the individual genetics to calculate the stochastic reaction of the population. The genetic part is employed according to the published model PERTH (RENTON et al., 2011). PROSPER provides an adaptable standard combination of functions to describe the population dynamic in R (R CORE TEAM, 2015).

We use PROSPER to simulate the development of target-site herbicide resistance of a self-fertile annual weed species in the annual cropping system continuous maize (Fig. 1). At the end of the vegetation period, a certain amount of seeds exists in the autumn seed bank (seed bank autumn). During winter, only a proportion of those seeds survive (seeds_suv_winter) whereas the remaining

seeds are death (seed death). The extant viable seeds form the soil seed storage of the weed population in spring (seed bank spring). In spring the seedlings germinate in two cohorts (seedling 1 and seedling 2). The first cohort is affected by post-emergence herbicides. Assuming resistance is not affecting germination resistant plants in the first cohort has a higher chance to survive. In contrast, the second cohort is not affected by herbicide but is suppressed without any selection pressure. The two cohorts are then affected by a natural dying rate regardless of the resistance status and the applied treatment. The remaining plants produce and shed seeds on the ground (seeds). The number of seeds is reduced by the prevalent post-dispersal seed predators before they enter the seed bank (seed bank autumn). Hence in autumn, the seed bank consists of these new seeds and viable, non-germinated seeds from the summer seed bank (seed bank summer). These seeds together have the chance to survive until the next spring, when the described life-cycle starts again.

Simulation exercise with an undersown cover crop

Tab. 1 Parameters of the population dynamic model PROSPER for *E. crus-galli* with two cohorts of seedlings.

Tab. 1 Parameter des populationsdynamischen Modells PROSPER von *E. crus-galli* mit zwei Kohorten von Keimlingen.

| Parameter | Description | Unit | Value | Source |
|--------------------------------------|---|------------|-----------------|--------------------------------------|
| duration | time span of the simulation | years | 20 | |
| start freq | initial frequency of resistance alleles | | 0.001 | |
| dom | dominance of resistance alleles | | 1 | |
| epistasis | no epistasis used | | | |
| repetitions | repetitions of the simulation | | 15 | |
| suppression | probability of dying due to the cover crop | proportion | 1/0.3/0 | |
| seed production first cohort | $200 * \text{density} / (e^{(0.5)} + \text{density} / 200000)$ | pc. | | BOSNIC and SWANTON, 1997 |
| seed production second cohort | $100 * \text{density} / (e^{(0.5*2)} + \text{density} / 30000)$ | pc. | | BOSNIC and SWANTON, 1997 |
| surv | natural surviving probability of seedlings | proportion | 0.675 ± 0.02062 | CLAY et al., 2005 |
| seed_surv_winter | probability of surviving the winter | proportion | 0.8 | BAGAVATHIANNAN and NORTHWORTHY, 2013 |
| seed_surv_summer | probability of surviving the summer | proportion | 0.1 | BAGAVATHIANNAN and NORTHWORTHY, 2013 |
| germ1 | germination rate | proportion | 0.08 | OGG and DAWSEN, 1984 |
| germ2 | half of germ1 is assumed | proportion | 0.04 | |
| germ 0 | not germinated seeds | pc. | | |
| predation | probability of predation | proportion | 0.65 | BAGAVATHIANNAN and NORTHWORTHY, 2013 |

We simulate a population of *E. crus-galli* in continuous maize with a cover crop as an example for suppression of late germinating weeds. The effect of suppression in the second cohort is simulated on three levels: 0% seedlings suppressed, 30% seedlings suppressed and 100% seedlings suppressed. We did not include a scenario in which the second cohort is again controlled with herbicides. The population was modelled over 20 years and repeated 15 times for

each level of suppression. For this study we implemented parameters for population dynamic from literature. Details of all parameters used are given in Table 1.

Resistance genetics

Our simulation is an exercise to understand general patterns in population behaviour. We chose a simple target-site resistance with complete dominance (dom), no epistasis and a low starting frequency (start freq) to achieve that goal. Additionally, we did not account for the hexaploid genome of *E. crus-galli* (MAUN and BARRET, 1986). In our simulations the *E. crus-galli* has only one copy of the gene and is behaving similar to a diploid species.

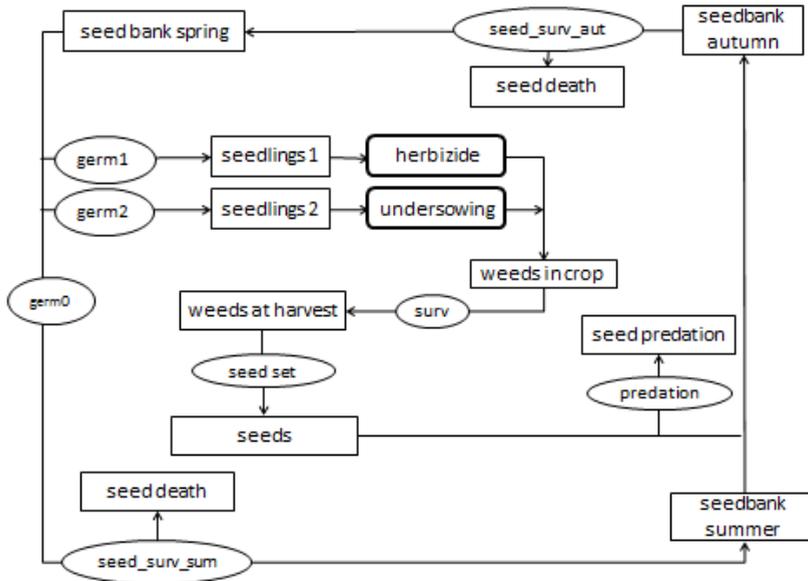


Fig. 1 Structure of the population dynamic model PROSPER adapted for cover crops and two cohorts of seedlings. Rectangles are model results, ovals are parameters. The herbicide effect is dependent on the genetics and a normal distributed random effect of success in spraying. Cover crop has no selection effect and is modeled as complete suppressing seedling 2, partly suppressing seedling 2 and no suppressing of seedling 2.

Abb. 1 Struktur des populationsdynamischen Modell PROSPER angepasst mit zwei Kohorten von Keimlingen und Untersaat mit Rechtecken als Ergebnisse, Kreise als Parameter. Der Wirkungsgrad des Herbizids ist abhängig von der Genetik und Normalverteilung des randomisierten Einfluss des Erfolgs der Applikation. Modellierung der Untersaat (ohne Selektionsdruck): unterdrückt seedling 2 vollständig, teilweise, nicht.

Results

The simulations of the pure maize stand without any other crop results in a high number of weeds at harvest in the first years, which is rapidly decreasing under the suppressive force of herbicides (Fig. 2a). These herbicides on the other hand select for the resistant alleles in the gene pool of the weed population and increase the frequency of resistant alleles reaching 80% after 16 years. The enhanced resistance level in the *E. crus-galli* population is followed by an increase of population size reaching 2800 weeds/m² after 20 years.

Simulating with the same starting population, but adding a 30% suppressive effect on the second cohort of the cover crop undersown in maize lower the weed density at harvest in the beginning (Fig. 2b). Compared to the pure continuous maize cropping the development of herbicide

resistance becomes faster, reaching 80% resistance alleles already after 11 years. The weed density at harvest amounts to 2000 weeds/m² after 16 years.

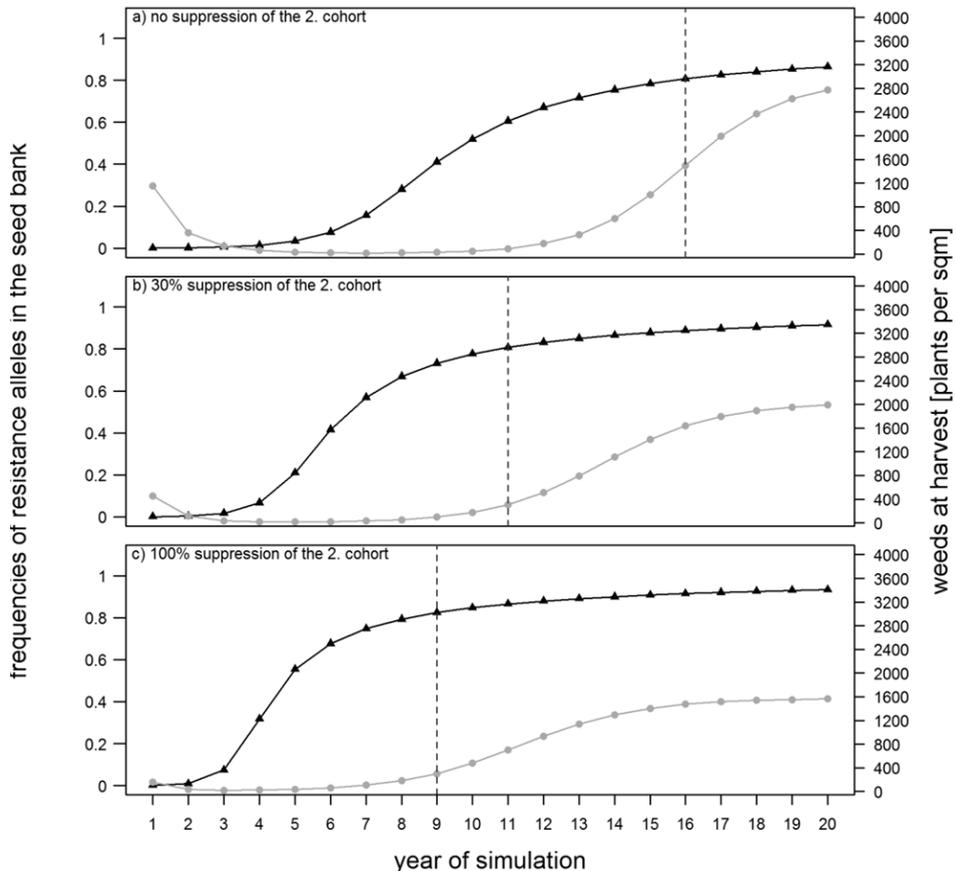


Fig. 2 Results for three simulation runs of PROSPER with different amount of suppression of a second seedling cohort of *E. crus-galli*: (a) 0%, (b) 30% and (c) 100% suppression. Frequency of resistance alleles is black and number of weeds at harvest at grey. For better comparison between the simulations, we marked the point when the frequency of resistance alleles in the population reaches 0.8 with a dashed line.

Abb. 2 Ergebnisse aus drei Simulationsläufen von PROSPER mit unterschiedlichen Anteilen an Unterdrückung der zweiten Kohorte von *E. crus-galli*: (a) 0 %, (b) 30 % und (c) 100 %. Frequenzen der Resistenzallele sind schwarz, Anzahl der Unkräuter vor der Ernte ist grau. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde der Punkt, an dem die Frequenz der Resistenzallele 0.8 erreicht mit einer gestrichelten Linie markiert. Die gestrichelte Linie markiert die 0.8 Marke der Frequenz.

The last simulation represents a complete suppression (100%) of the second cohort, while all other parameters stay the same (Fig. 2c). Such a suppressive cover crop in maize would restrict the number of weeds at harvest to 200 weeds/m² in the starting period. However, the development of herbicide resistance is accelerated reaching 80% frequency of resistant alleles after 11 years. Weed densities at harvest after 20 years are 1600 weeds/m².

Discussion

E. crus-galli is a highly dynamic weed species: the seed production is large (BOSNIC and SWANTON, 1997) and so is their dying rate over the seasons (BAGAVATHIANNAN and NORTHWORTHY, 2013),

resulting in a fast exchange of the seed bank. This flexibility explains our results on the population development. All three simulations result in a similar population development: in the first years the number of weeds at harvest decreases until the frequency of resistant alleles is high and the herbicide loses effectiveness. Then the weed density increase until it reaches a plateau. RENTON et al. (2011) describe a similar development of the population of *Lolium rigidum* in wheat crop under the recurrent selection pressure of herbicides. In their simulation study all applied herbicide rates (75%, 100%, 150%) resulting in a drop down and a later increase of the population after treatment.

The development of herbicide resistance in this simulation (Fig. 2a) shows a common structure: slow start, fast development and slow ending. It has already been shown that a target-site resistance with high dominance can spread within few years (i.e. JASINIUK and MAXWELL, 1994; RENTON et al., 2011). Because of the specific population dynamic *E. crus-galli* has the ability to evolve herbicide resistance even faster: most of the seed bank lasts only one year while *E. crus-galli* produces thousands of seeds with only few individuals (NORRIS, 1992). Thus, the seed bank provides only a relatively small buffer for selection processes to the newly produced seeds with high herbicide resistant allele. Besides the small buffer in the soil, the extended germination period of *E. crus-galli* acts like a second buffer within the germinated population itself.

Later germinating individuals – the second cohort in our simulations – do not undergo selection for herbicide resistance. Even though the second cohort has a much lower potential for seed production than the first (BOSNIC and SWANTON, 1997; TRAVLOS et al., 2011), the small amount of produced seed still have the ability to slow down the development of herbicide resistance for years by providing sensitive seeds. When these later germinating seeds of *E. crus-galli* are suppressed, the development is nearly twice as fast (Fig. 2a compared to 2c). It is evident, that suppression of the second cohort by an additional chemical control instead of cultural control would increase both the weeds at harvest and the share of resistance weeds in the population much more strongly, given that the herbicide is struck by non-target-site resistance in the *E. crus-galli* population.

So far, the model PROSPER and the parameters used have some serious draw backs. One is the missing hexaploid genetic: since most genes in a hexaploid species are three times expressed, selection pressure is diluted and slows down. Another is the high self-pollination rate of *E. crus-galli* (MAUN and BARRET, 1986), which lowers the probability for outcrossing of resistant genes. In the current model we do not account for these effects, hence, the fast development might be slowed down. These are functions that will be implemented in further versions of PROSPER. Research towards a fully parameterized population dynamic of *E. crus-galli* for Northern Germany is in progress (PANNWITT et al., 2015).

Undersown cover crops are a management tool to suppress late emerging seedlings. They are part of the diversified weed control measurements, which is promoted to decelerate the development of herbicide resistances (BECKIE, 2006; HEAP, 2014; NORSWORTHY et al., 2012).

We learned from our simulation exercises that the interplay between resistant and sensitive biotypes is strongly modified by the effects of e.g. undersown cover crops on the population of *E. crus-galli*. While we are not yet able to consider all details of the genetics of *E. crus-galli* in the current model, it is worthwhile to account for this interplay in resistant management strategies. In our scenarios about the effects of undersown cover crop as a cultural control method the population growth of *E. crus-galli* is more capped in the long perspective. However, the share of herbicide resistant biotypes within the population increased.

We do not advertise our simulation studies in order to weaken the role of undersown cover crops as integrated weed management tool. Our results definitely support an adapted weed management based on the biology of the weed species. However, in case of proven herbicide resistance it appeared to be worthwhile in the simulations studies to let those still sensitive parts of the population grow. That later emerging individuals of *E. crus-galli* reduce the yield of maize

only to a very small extent (BOSNIC and SWANTON, 1997), offers good perspectives allowing late emerging sensitive plants to reproduce and thereby diluting the resistance within the seed bank.

References

- BAGAVATHIANNAN, M. V. and J. K. NORSWORTHY, 2013: Postdispersal Loss of Important Arable Weed Seeds in The Midsouthern United States. *Weed Science* **61**, 570-579.
- BECKIE, H.J., 2006: Herbicide-resistant weeds: management tactics and practices. *Weed Technology* **6**, 793-814.
- BOSNIC, A. C. and C. J. SWANTON, 1997: Influence of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) time of emergence and density in corn (*Zea mays*). *Weed Science* **45**, 276-282.
- CLAERHOUT, S., D. REHEUL and B. DE CAUWER, 2015: Sensitivity of *Echinochloa crus-galli* populations to maize herbicides: a comparison between cropping systems. *Weed Science* **55**, 470-481.
- CLAY, S.A., J. KLEINJAN, D.E. CLAY, F. FORCELLA and W. BATCHELOR, 2005: Growth and Fecundity of Several Weed Species in Corn and Soybean. *Agronomy Journal* **97**, 294-302.
- HEAP, I., 2014: Global perspectives of herbicide-resistant weeds. *Pest Management Science* **70**, 1306-1315.
- HEAP, I., 2015: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Available at: www.weedscience.org (last accessed: 2nd October 2015).
- HOLM L.G., D.L. PLUCKNETT, J.V. PANCHO and J.P. HERBERGER, 1977: *The World's Worst Weeds: Distribution and Biology*. The University Press of Hawaii, Honolulu.
- JASIENIUK, M. and B. MAXWELL, 1994: Populations genetics and the evolution of herbicide resistance in weeds. *Phytoprotection* **75**, 25-35.
- JUNG, R., M. STEVER, R. RAUBER and H. BECKER, 2012: Untersaaten mit zusätzlichem Nutzen. *Landwirtschaft ohne Pflug* **5**, 32-37.
- MAUN, M.A. and S.C.H. BARRET, 1986: The biology of Canadian weeds 77. *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. *Canadian Journal of Plant Science* **66**, 739-759.
- MEHRTENS, J., M. SCHULTE and K. HURLE, 2006: Unkrautflora im Mais – Ergebnisse eines Monitorings in Deutschland. *Gesunde Pflanzen* **57**, 206-218.
- MURPHY, C.E. and D. LEMERLE, 2006: Continuous cropping systems and weed selection. *Euphytica* **148**, 61-73.
- NORRIS, R.F., 1992: Case History for Weed Competition/Population Ecology: Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Sugarbeets (*Beta vulgaris*). *Weed Technology* **6**, 220-227.
- NORRIS, R.F., 1996: Morphological and Phenological Variation in Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in California. *Weed Science* **44**, 804-814.
- NORSWORTHY, J.K., S.M. WARD, D R. SHAW, R.S. LLEWELLYN, R.L. NICHOLS, T.M. WEBSTER, K.W. BRADLEY, G. FRISVOLD, S.B. POWLES, N.R. BURGOS, W.W. WITT and M. BARRET, 2012: Reducing the Risks of Herbicide Resistance: Best Management Practices and Recommendations. *Weed Science* **60**, 31-62.
- OGG, A.G. and J.H. DAWSON, 1984: Time of emergence of eight weed species. *Weed Science* **32**, 327-335.
- PANNWITT, H., C. SELIG and P.R. WESTERMAN, 2015: Density-dependent seed predation in maize monoculture. Paper presented at the 17th European Weed Research Society Symposium, Montpellier SupAgro, Montpellier, France.
- POWLES, S.B. and Q. YU, 2010: Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. *Annual Review of Plant Biology* **61**, 317-347.
- R CORE TEAM, 2015: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RENTON, M., A. DIGGLE, S. MANALIL and S. POWLES, 2011: Does cutting herbicide rates threaten the sustainability of weed management in cropping systems. *Journal of Theoretical Biology* **283**, 14-27.
- RENTON, M., R. BUSI, P. NEVE, D. THORNBY and M. VILA-AIUB, 2014: Herbicide resistance modelling: past, present and future. *Pest Management Science* **70**, 1394-1404.
- REDWITZ, C. VON, D. DAEDLOW and F. DE MOL (in prep.): PROSPER: a package for population dynamic modelling.
- TRAVLOS, I.S., G. ECONOMOU and P.J. KANATAS, 2011: Corn and Barnyardgrass Competition as Influenced by Relative Time of Weed Emergence and Corn Hybrid. *Agronomy Journal* **103**, 1-6.

Konkurrenz in Populationen der hemiparasitären Pflanze *Striga hermonthica* auf dem Wirt Sorghum

Competition in populations of the hemi-parasitic plant Striga hermonthica on a sorghum host

Paula R. Westerman^{1*}, Lia Hemerik², Wopke van der Werf³, Tjeerd-Jan Stomph³, Tom A. van Mourik⁴

¹Group Crop Health, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, University of Rostock, Satowerstraße 48, 18051 Rostock, Germany

²Biometris, Mathematical and Statistical Methods, Wageningen University, PO box 16, 6700AA Wageningen, Netherlands

³Centre for Crop Systems Analysis, Plant Sciences, Wageningen University, PO box 430, 6700AK Wageningen, Netherlands

⁴Helen Keller International Senegal, 28, Nord Liberté 6. VDN X Route du Front de Terre à Dakar. N° 1A., Dakar Fann, Senegal

*Corresponding author, paula.westerman@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.013

Zusammenfassung

Striga hermonthica ist eine hemiparasitische Pflanzenart, die Gramineae-Arten parasitiert, einschließlich der Getreidearten Mais, Sorghum, Hirse und Reis. Konkurrenz bei zunehmender Dichte ist wahrscheinlich, wurde aber noch nie vollständig untersucht.

Einzelne Sorghum-Pflanzen wurden in einem Gewächshausversuch verschiedenen Dichten lebensfähiger *S. hermonthica*-Samen ausgesetzt. Die Entwicklung der Parasiten wurde bei der Ernte des Wirtes beurteilt und zur anfänglichen Samendichte in Beziehung gesetzt, wobei eine Modellauswahl zur Überprüfung des Zusammenhangs genutzt wurde.

Wir fanden eine starke innerartliche Konkurrenz innerhalb der Populationen von *S. hermonthica*, die während der holoparasitischen Phase am stärksten war. Ungeachtet der Konkurrenz ist eine ständige und unablässige Anstrengung notwendig, um die *S. hermonthica*-Dichten in den Samenbanken unter dem schädigenden Niveau zu halten.

Stichwörter: Hemiparasitisch, holoparasitisch, Konkurrenz

Abstract

Striga hermonthica is a hemi-parasitic plant species that parasitizes species belonging to the Gramineae, including crop species such as maize, sorghum, millet and rice. Competition to increasing density is likely to occur, but has never been fully studied.

Individual sorghum plants were exposed to different densities of viable *S. hermonthica* seeds in a greenhouse experiment. Parasite performance was evaluated at crop harvest and related to the initial seed density, using model selection to determine the shape of the relationship.

We found strong intraspecific competition in populations of *S. hermonthica*, which was most intense during the holoparasitic phase. Despite competition, a continuous and unrelenting effort will be required to keep *S. hermonthica* seed bank densities below damaging levels.

Keywords: Competition, hemiparasitic, holoparasitic

Einleitung

Striga hermonthica ist eine hemiparasitische Pflanzenart, die Gramineae-Arten parasitiert, einschließlich der Getreidearten Mais, Sorghum, Hirse und Reis. Das Auftreten von Konkurrenz zwischen den Parasiten auf einer Wirtspflanze ist wahrscheinlich, wurde aber noch nicht vollständig untersucht.

Die quantitative Reaktion bei ansteigenden Dichten wurde untersucht indem man Sorghum-Pflanzen unterschiedlichen Samendichten des Parasites ausgesetzt hat, die Entwicklung des Parasites bei der Ernte des Wirtes bewertet und zur anfänglichen Samendichte in Beziehung

gesetzt hat. Die Parasitenentwicklung wurde durch die Anzahl der Parasiten bei verschiedenen Entwicklungsstadien ermittelt.

Wir erwarteten eine stetige Abnahme der *S. hermonthica*-Entwicklung bei steigenden Samendichten sowie einen stärkeren Effekt der Dichte auf die holoparasitischen, unterirdischen Stadien als auf die oberirdischen, hemiparasitischen Stadien.

Material und Methoden

Ein Versuch mit 28 Töpfen wurde im Sommer 2002 in einem Gewächshaus in Wageningen, Niederlande, durchgeführt. In je sechs Töpfe kam eine der vier *S. hermonthica*-Samendichten von 6230, 18710, 37420 und 93520 lebensfähigen Samen Topf⁻¹, die in die ersten 12 cm eingemischt wurden. Vier zusätzliche Töpfe dienten als Kontrolle, hier wurden keine Samen dazugegeben. Neun Tage nach Hinzufügen des Parasites wurde in jeden Topf ein vorgekeimter Sorghum-Samen eingebracht.

Informationen zu den unter- und oberirdischen Entwicklungsstadien des Parasites wurden bei der Ernte der Wirtspflanzen 91 Tage nach Keimung der Sorghum-Pflanzen gesammelt. Die oberirdischen Teile der Sorghum-Keimlinge wurden abgeschnitten, sortiert und gezählt. Das Sorghum-Wurzelsystem wurde ausgewaschen und unter einem Binokular auf Anzeichen von unterirdischem Parasitismus geprüft. Die unterirdischen Parasiten wurden sortiert und gezählt.

Zur Überprüfung des Zusammenhangs wurde eine Modellauswahl genutzt. Es wurden eine Reihe von Gleichungen genutzt, die verschiedene funktionale Zusammenhänge stützen sowie zwei Fehlerverteilungen. Ein linearer Zusammenhang mit einer Steigung von 0 deutet auf eine Dichteunabhängigkeit hin. Eine abnehmende Beziehung ist ein Zeichen für Konkurrenz. Alle Analysen erfolgten mit R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014). Es wurde das Paket 'emdbook' (BOLKER, 2013) genutzt.

Ergebnisse

Der Anteil der Parasiten pro Wirt sank mit zunehmender Samendichte bei allen Entwicklungsstadien steil nach unten, was auf eine starke Konkurrenz hindeutet. Unklar ist, ob die Konkurrenz alle Stadien des Parasiten beeinträchtigt oder nur die ersten Entwicklungsstadien und sich diese Beeinträchtigung auf alle späteren Entwicklungen auswirkt.

Diskussion

Die Untersuchung der Konkurrenz ist wichtig, weil *S. hermonthica* ein Hauptproblem der Kleinbauern und der Ernährungssicherung im subsaharischen Afrika darstellt. Neue Einsichten in die Lebensweise des Parasiten können bei der Entwicklung von auf Ökologie basierten Managementmethoden helfen, indem die Resistenzzüchtung gelenkt oder effektivere Kontroll- und Vorbeugungsstrategien entwickelt werden.

Innerartliche Konkurrenz war offensichtlich, weil der Anteil der Parasiten in allen Stadien mit zunehmender Samendichte sank. Es sieht so aus, als würde sich die Entwicklung von *S. hermonthica* mit zunehmender Dichte verschlechtern, wodurch unsere erste Erwartung bestätigt wird. Bisher wurde die innerartliche Konkurrenz vor allem für die oberirdischen Stadien von *S. hermonthica* beschrieben (e.g. RODENBURG et al., 2006). Diese Untersuchung zeigte außerdem, dass die Konkurrenz während der unterirdisch, holoparasitischen Phase stärker war als während der oberirdisch, hemiparasitischen Phase, was unsere zweite Hypothese bestätigt. Die begrenzten Ressourcen sind wahrscheinlich die Hauptauslöser für die beobachteten Ergebnisse, obwohl auch Toxine involviert sein können.

Ungeachtet der Konkurrenz ist eine ständige und unablässige Anstrengung notwendig, um die *S. hermonthica*-Dichten in den Samenbanken unter dem schädigenden Niveau zu halten.

Danksagung

Wir danken Ans Hofman, Aad van Ast, Erica Jansen und Wouter Stomph für ihre unentbehrliche praktische Unterstützung und dem Unifarm-Team für die Pflanzen- und Gewächshausbetreuung. Die Finanzierung im INCO-DEV-Projekt „Improved *Striga* Control in Maize and Sorghum“ wurde bereitgestellt von der Europäischen Kommission.

Literatur

- BOLKER, B., 2013: Emdbook; ecological models and data (book support). R package version 1.3.4. Available online at <http://cran.r-project.org/web/packages/emdbook/emdbook.pdf>.
- RODENBURG, J., L. BASTIAANS and M.J. KROPPF, 2006: Characterization of host tolerance to *Striga hermonthica*. *Euphytica* **147**, 353–365.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2014) R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. The R Foundation for Statistical Computing. ISBN: 3-900051-07-0. Available online at <http://www.R-project.org/>.

Herbicide hormesis to segregate a weed population? – A case study with *Tripleurospermum perforatum* (Mérat) Lainz

Kann Herbizid-Hormesis eine Unkrautpopulation spalten? – Eine Fallstudie mit *Tripleurospermum perforatum* (Mérat) Lainz

Regina G. Belz^{1*}, Aki Sinkkonen²

¹University of Hohenheim, Agroecology Unit, 70593 Stuttgart, Germany

²University of Helsinki, Department of Environmental Sciences, 15140 Lahti, Finland

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



DOI 10.5073/jka.2016.452.014

Abstract

Weed populations feature within-population genetic differences. Thus, evaluating mean responses in herbicide treated populations may miss ecologically significant individual responses. Since hormesis can likewise vary between individuals, this study investigated the hypothesis that herbicide hormesis within a high-density weed population is different among slowly-growing individuals, as compared to fast-growing individuals. In a dose-response experiment, *Tripleurospermum perforatum* (Mérat) Lainz was exposed to 12 doses of Atlantis WG (mesosulfuron + iodosulfuron) in 24 replicates (50 plants/replicate). Root/shoot growth responses were evaluated as dose-response relationships for the population mean, the 90-97th percentile of the population (fast-growing individuals), and the 5-10th percentile (slow-growing individuals). Growth responses were generally biphasic. Slow-growing individuals had more pronounced hormesis that occurred partially at lower doses as compared to the population mean. With fast-growing individuals, hormesis was instead less pronounced and partially shifted to higher doses. Hence, hormesis was primarily associated with a stimulation of slow-growing individuals, while fast-growing individuals contributed to a lesser extent to the hormetic population response in a dense stand *in vitro*. This discrepancy may have the potential to segregate an herbicide exposed population and alter its sensitivity in the long-run.

Keywords: Biphasic, dose-response, growth stimulation, selective toxicity, sulfonylurea herbicide

Zusammenfassung

Unkrautpopulationen sind durch genetische Unterschiede zwischen Einzelpflanzen charakterisiert, weshalb bei einer üblichen Betrachtung der Gesamtreaktion der Population auf eine Herbizidbehandlung, ökologisch bedeutsame Reaktionen von Individuen nicht in Betracht gezogen werden. Da Hormesis ebenfalls zwischen Individuen variiert, untersuchte diese Studie, ob sich Herbizid-Hormesis innerhalb einer Unkrautpopulation bei hoher Dichte zwischen langsam und schnell wachsenden Individuen unterscheidet. In einem Dosis-Wirkungsexperiment wurde *Tripleurospermum perforatum* (Mérat) Lainz mit 12 Dosierungen von Atlantis WG (Mesosulfuron + Iodosulfuron) in 24 Wiederholungen (50 Pfl./Wiederholung) behandelt. Wachstumseffekte (Wurzel/Spross) wurden in Dosis-Wirkungsbeziehungen für den Mittelwert der Population, das 90-97 % Perzentil (schnell wachsende Individuen) und das 5-10 % Perzentil (langsam wachsende Individuen) modelliert. Die Herbizidwirkung war generell hormetisch, wobei langsam wachsende Individuen am stärksten reagierten im Sinne einer ausgeprägteren Hormesis und einer teilweise nach links verschobenen Dosis-Wirkungsbeziehung im Vergleich zum Populationsmittel. Bei schnell wachsenden Individuen war die Stimulierung weniger ausgeprägt und trat teilweise erst bei höheren Dosierungen auf. Dies deutet darauf hin, dass bei hoher Dichte *in vitro* der Hormesiseffekt primär durch eine Stimulation der langsam wachsenden Individuen zustande kam, während schnell wachsende Individuen in geringerem Maße zur hormetischen Gesamtreaktion der Population beitrugen. Diese Diskrepanz könnte langfristig die Zusammensetzung einer Population und damit auch ihre Herbizidempfindlichkeit verändern.

Stichwörter: Dosis-Wirkungsbeziehung, selektive Toxizität, Sulfonylharnstoff-Herbizide, Wachstumsstimulierung, zweiphasisch

Introduction

A weed population, defined as all the individuals of the same plant species within a geographic area, is composed of individual genotypes contributing gene variants (alleles) to the gene pool of a population. This allelic diversity within the gene pool causes a distinct phenotypic plasticity and substantiates the ability of a population to adapt to local environmental conditions, including

weed control measures (ZIMDAHL, 2013). The adaptation of a weed population to chemical control is most obvious when it comes to the selection of individuals with specific alleles endowing resistance to the herbicide at action. As compared to this high-dose selection of resistance, putative adaptations of weed populations to sublethal low-dose exposures of herbicides as in case of e.g. drift deposition, errors in application, or gaps in effectiveness are rarely being taken into account. Recently, however, low-dose toxicant exposures were observed to influence plant gene expression and plant size distribution of a population in dense stands (AINA et al., 2006; QUAGGIOTTI et al., 2007; SINKKONEN et al., 2008, 2009, 2011). Hence, low toxicant concentrations can result directly or indirectly via gene expression in phenotypic differentiation which may have severe effects on plant populations in the long-run. Therefore, this study investigated if low herbicide doses are also capable of directly differentiating the within-population size distribution in high-density stands.

When it comes to low-dose toxicant responses in plant biology, two aspects are to consider, namely 'selective low-dose toxicity' and low-dose stimulatory effects, known as hormesis. Selective toxicity on subpopulations at doses lacking an effect on most of the population has been observed in dense stands for the most vigorous individuals in plant populations exposed *in vitro* to environmental toxicants (SINKKONEN et al., 2008, 2009, 2011). Deterioration of exceptionally fast-growing individuals at doses that do not affect mean plant size is considered to apply to many toxicants and species, but has not yet been proven for herbicides and their target weeds. However, low toxicant doses do not necessarily leave the mean plant size unchanged, but are also known to stimulate plant growth. Since hormesis studies usually focus on mean responses, it is unknown if and how the within-population size distribution is changed under low-dose exposure to a hormetic compound. Therefore, this study investigated the interplay of both low-dose phenomena in high-density stands, i.e. whether they occur simultaneously, successively, or independent of each other and to what extent hormesis alters the size distribution of the treated population.

The study used *Tripleurospermum perforatum* (Mérat) Lainz exposed to an inhibitor of acetolactate synthase (ALS) since this combination has shown stimulatory responses in a previous study (BELZ, 2014). The experiment was conducted as *in vitro* dose-response germination bioassay processed at a high replication rate and a high plant density. Growth responses were evaluated for the population mean in comparison to the most long-grown ($\geq 90\%$ percentile) and the most short-grown subpopulation ($\leq 10\%$ percentile).

Materials and Methods

Dose-Response Bioassay

The assay was conducted as a complete dose-response germination experiment with *T. perforatum* (Herbiseed, England) as the test species and root and shoot elongation as the response parameter for effects of Atlantis® WG (30 g/kg mesosulfuron-methyl, 6 g/kg iodiosulfuron-methyl-natrium; Bayer CropScience). The assay was done in 6-well cell culture plates (Cellstar, greiner bio-one). Each well was prepared with one layer of filter paper (MN 615, Macherey-Nagel) and 60 *T. perforatum* seeds before 1.5 ml of 12 concentrations of Atlantis WG (0.8 µg a.i./ml to 4.0 µg a.i./ml) were added. A control with demineralized water was prepared similarly. All treatments were replicated 24 times. Plates were sealed with parafilm and cultivated according to a completely randomized design in a growth cabinet (day/night cycle of 12/12 h with 24/18 °C and 50-70/0 µmol m⁻² s⁻¹ photosynthetic active radiation). After 48 h, seedling number was harmonized to 50 per replicate by removing all potentially ungerminated seeds. After ten days, plates were frozen at -4 °C prior to measuring root and shoot length (≥ 1 mm) of all seedlings per well using Fitomed (CASTELLANO et al., 2001). Seedlings with a root or shoot length < 1 mm were counted as zero.

Statistical Analysis

Selective Low-Dose Toxicity. An univariate analysis of variance was performed with *Tukey* test ($\alpha=0.05$) using IBM SPSS to sort out treatments with significantly different values in mean root/shoot length from non-exposed control treatments. If the *Tukey* test indicated no difference in treatment means, we compared seedlings at the right (97, 95 and 90%ile) and left (10, 8, and 5%ile) tails of the size distribution diagrams of control and exposed treatments with *Mann-Whitney U* tests ($\alpha=0.05$) (SINKKONEN et al., 2009, 2011).

Dose-Response Modelling. In order to compare mean dose responses with selective effects on large and short individuals of a population, dose-response relationships were modelled and compared for mean values of the 24 replicates per dose and for the 10 and 95%ile. The NLMIXED procedure of SAS was used to fit root/shoot length values per dose (y) as a nonlinear function of dose (x) to the hormetic dose-response models of BRAIN and COUSENS (1989) or CEDERGREEN et al. (2005). The significance of hormesis was assessed according to SCHABENBERGER et al. (1999) by means of the model parameter f requiring a 95% confidence interval that does not cover the value zero. Besides the directly estimated parameters of the original dose-response functions, further hormetic features were deduced using reparameterizations of the original models (BELZ and PIEPHO, 2012, 2013): the maximum stimulatory response y_{\max} at the dose where hormesis is maximal (M), the *LDS* dose as the upper dose limit for stimulatory responses, and the ED_{50} or ED_{90} as the dose levels of 50 or 90% inhibition. Response variance heterogeneity was accounted for by using the inverse variance of replicates at each dose as weight. Model comparisons for significant differences between dose-response curves were done by pairwise comparisons of regression parameters using the CONTRAST statement within the NLMIXED procedure.

Results

Selective Low-Dose Toxicity

Mean root elongation was not significantly different from the untreated control at eight of the 12 doses (Tab. 1). The average root length of these treatments was 19.3 ± 0.8 mm (mean \pm stdev.). Regarding long-rooted seedlings at the right tail of the size distribution diagram (90, 95, 97%ile), only one treatment ($0.002 \mu\text{g a.i./ml}$) at the 90%ile significantly differed from the control, whereat root length was significantly enhanced. Regarding short-rooted seedlings at the left tail of the size distribution diagram (5, 8, 10%ile), differences between controls and exposed treatments occurred at all three percentiles evaluated such that a dose of $0.0003 \mu\text{g a.i./ml}$ significantly enhanced root elongation. Thus, results provided no indication for selective low-dose toxicity against the most short- or long-rooted seedlings.

Mean shoot elongation was not significantly different from the untreated control at nine of the 12 doses (Tab 1). The average shoot length of these treatments was 3.4 ± 0.2 mm. Regarding short-stemmed seedlings (5, 8, 10%ile), a treatment of $0.0003 \mu\text{g a.i./ml}$ lead to significantly enhanced shoot elongation at all three percentiles evaluated. Thus, results provided no indication for selective low-dose toxicity against the most short-stemmed seedlings. Regarding the most long-stemmed seedlings (90, 95, 97%ile), three doses at the 90%ile showed significantly shorter shoots as compared to the control. Thus, selective low-dose toxicity in shoot elongation appeared among the most long-stemmed seedlings.

Tab. 1 Statistical significance of effects of Atlantis WG (iodosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl) on root and shoot length of *Tripleurospermum perforatum* at the population mean and the 5, 8, 10, 90, 95 or 97%ile. Data given as mean \pm standard deviation.

Tab. 1 Statistisch signifikante Effekte von Atlantis WG (Iodosulfuron-methyl-Natrium/Mesosulfuron-methyl) auf das Wurzel- und Sprosswachstum von *Tripleurospermum perforatum* gemessen am Mittelwert der Population und am 5, 8, 10, 90, 95 oder 97 % Perzentil der Population. Dargestellt ist der Mittelwert \pm Standardabweichung.

| Parameter | Dose ¹ [$\mu\text{g ai./ml}$] | Mean ² | Percentile | | | | | |
|-------------------|---|-------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | 5 th | 8 th | 10 th | 90 th | 95 th | 97 th |
| root length [mm] | control | 19.6 \pm 1.4 | 2.1 \pm 2.8 | 3.6 \pm 3.4 | 4.5 \pm 3.3 | 33.1 \pm 2.9 | 37.6 \pm 4.0 | 39.8 \pm 4.5 |
| | 0.0000008 | 18.1 \pm 2.1 | 1.1 \pm 2.1 | 2.3 \pm 3.0 | 2.9 \pm 3.4 | 32.0 \pm 3.3 | 36.8 \pm 4.2 | 39.6 \pm 4.5 |
| | 0.000008 | 19.3 \pm 2.1 | 3.9 \pm 3.5 | 5.2 \pm 3.8 | 6.0 \pm 4.0 | 32.3 \pm 3.1 | 36.9 \pm 3.3 | 39.2 \pm 4.1 |
| | 0.00006 | 19.4 \pm 2.2 | 2.5 \pm 3.2 | 4.2 \pm 4.0 | 5.5 \pm 4.0 | 34.2 \pm 4.3 | 39.7 \pm 4.7 | 42.6 \pm 5.2 |
| | 0.0003 | 19.1 \pm 1.7 | 5.7 \pm 3.2* | 7.3 \pm 3.0* | 7.9 \pm 3.1* | 31.9 \pm 2.7 | 36.1 \pm 2.6 | 38.5 \pm 3.3 |
| | 0.0006 | 19.8 \pm 1.6 | 1.8 \pm 2.8 | 4.3 \pm 3.4 | 6.1 \pm 3.3 | 32.3 \pm 3.4 | 36.2 \pm 3.3 | 38.2 \pm 3.8 |
| | 0.001 | 19.0 \pm 2.5 | 3.7 \pm 3.3 | 4.8 \pm 3.6 | 5.5 \pm 3.4 | 31.6 \pm 3.3 | 35.3 \pm 3.7 | 38.2 \pm 4.1 |
| | 0.002 | 20.8 \pm 2.1 | 3.2 \pm 3.6 | 4.5 \pm 4.1 | 6.3 \pm 4.0 | 35.2 \pm 4.0* | 39.7 \pm 5.2 | 42.9 \pm 6.3 |
| | 0.005 | 18.8 \pm 1.8 | 2.9 \pm 3.4 | 4.7 \pm 4.3 | 5.9 \pm 4.5 | 31.5 \pm 4.3 | 36.5 \pm 4.7 | 38.9 \pm 5.1 |
| shoot length [mm] | control | 3.6 \pm 0.5 | 0.6 \pm 0.9 | 1.0 \pm 1.0 | 1.4 \pm 0.9 | 5.3 \pm 0.6 | 5.7 \pm 0.7 | 6.0 \pm 0.8 |
| | 0.0000008 | 3.4 \pm 0.7 | 0.5 \pm 0.9 | 0.9 \pm 1.2 | 1.0 \pm 1.2 | 5.4 \pm 0.8 | 5.7 \pm 0.7 | 6.0 \pm 0.8 |
| | 0.000008 | 3.2 \pm 0.3 | 1.0 \pm 0.9 | 1.3 \pm 0.9 | 1.4 \pm 0.9 | 4.9 \pm 0.6* | 5.4 \pm 0.6 | 5.6 \pm 0.6 |
| | 0.00006 | 3.3 \pm 0.4 | 0.6 \pm 0.8 | 1.0 \pm 0.9 | 1.2 \pm 0.9 | 4.9 \pm 0.4* | 5.5 \pm 0.6 | 5.8 \pm 0.6 |
| | 0.0003 | 3.3 \pm 0.3 | 1.6 \pm 0.9* | 2.0 \pm 0.8* | 2.1 \pm 0.8* | 5.3 \pm 0.5 | 6.0 \pm 0.5 | 6.3 \pm 0.6 |
| | 0.0006 | 3.8 \pm 0.4 | 0.5 \pm 0.7 | 1.0 \pm 0.8 | 1.3 \pm 0.8 | 4.8 \pm 0.5* | 5.4 \pm 0.6 | 5.6 \pm 0.6 |
| | 0.001 | 3.4 \pm 0.5 | 1.2 \pm 1.0 | 1.4 \pm 1.0 | 1.6 \pm 1.0 | 5.5 \pm 0.5 | 5.8 \pm 0.5 | 6.1 \pm 0.6 |
| | 0.002 | 3.5 \pm 0.4 | 0.8 \pm 0.9 | 1.0 \pm 0.9 | 1.3 \pm 0.9 | 5.1 \pm 0.5 | 5.7 \pm 0.5 | 6.0 \pm 0.5 |
| | 0.005 | 3.6 \pm 0.3 | 0.8 \pm 1.0 | 1.2 \pm 1.1 | 1.4 \pm 1.0 | 5.1 \pm 0.5 | 5.7 \pm 0.8 | 5.9 \pm 0.8 |
| 0.02 | 3.5 \pm 0.4 | 0.4 \pm 0.7 | 0.8 \pm 0.8 | 0.9 \pm 0.9 | 5.3 \pm 0.7 | 5.9 \pm 0.4 | 6.1 \pm 0.5 | |

¹doses for which the mean root/shoot length was not significantly different from control according to Tukey test ($\alpha=0.05$); *significant different from control according to Mann-Whitney-U test ($\alpha=0.05$).

Dose-Response Modelling

Population Mean. Root and shoot growth responses to Atlantis WG showed significant hormesis, although the hormetic effect was with a maximum stimulation y_{max} of 106% of control for root length and 110% of control for shoot length not very pronounced (Fig. 1).

Root growth showed a maximum stimulation at a dose M of 1.058 ng a.i./ml and the upper dose limit LDS for stimulatory responses amounted at 2.826 ng a.i./ml. A 50% inhibition of root length was given at an ED_{50} of 0.020 $\mu\text{g a.i./ml}$. As compared to this, shoot growth was significantly less sensitive. The dose-response curve for shoot length was shifted to higher doses by a factor of 13-fold at the M dose level, by 21-fold at the LDS , and by 158-fold at the ED_{50} .

Subpopulations. Modelling and comparison of dose-response curves at the 10%ile (slow-growing individuals) and the 95%ile (fast-growing individuals) showed that root and shoot responses were significantly hormetic at both percentiles. However, hormesis occurred at lower doses and was significantly more pronounced with the slow-growing individuals as compared to the fast-growing individuals (Fig. 2).

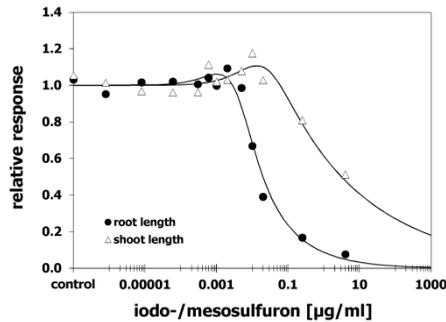


Fig. 1 Biphasic dose-response curves for effects of Atlantis WG (iodosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl) on root and shoot length of *Tripleurospermum perforatum*; data given as means of 24 replicates per dose.

Abb. 1 Zweiphasische Dosis-Wirkungskurven für die Wirkung von Atlantis WG (Iodosulfuron-methyl-Natrium/Mesosulfuron-methyl) auf das Wurzel- und Sprosswachstum von *Tripleurospermum perforatum*; dargestellt sind Mittelwerte aus 24 Wiederholungen pro Dosierung.

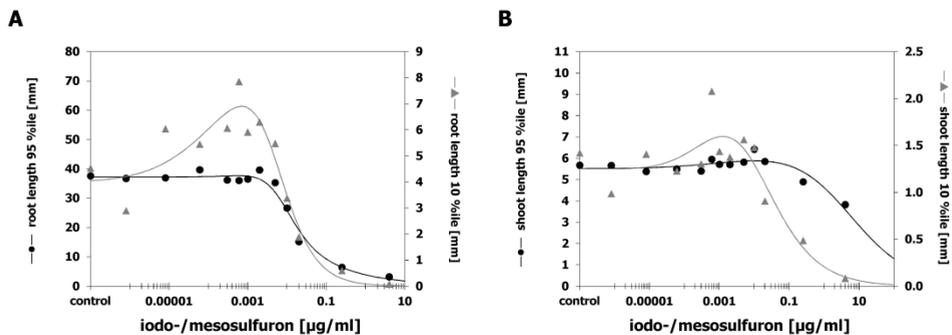


Fig. 2 Biphasic dose-response curves for effects of Atlantis WG (iodosulfuron-methyl-sodium/mesosulfuron-methyl) on (A) root and (B) shoot length of *Tripleurospermum perforatum* at the 10% or 95%ile of the tested population.

Abb. 2 Zweiphasische Dosis-Wirkungskurven für die Wirkung von Atlantis WG (Iodosulfuron-methyl-Natrium/Mesosulfuron-methyl) auf das Wurzel- (A) und Sprosswachstum (B) der 10%ilen und 95%ilen Teilpopulation eines Biotyps von *Tripleurospermum perforatum*.

Regarding root elongation, the short-rooted seedlings at the 10%ile showed an y_{max} of 172% of control and an 11.0-fold dose-distance between M and LDS as an indicator for the hormetic dose zone. The relative y_{max} was thus 1.7-fold higher and the dose-distance LDS/M was 4.5-fold broader as compared to the 95%ile. Dose M giving maximum stimulation did, however, not significantly differ between percentiles (0.634 ± 0.089 ng a.i./ml on average) (Fig. 2A). As compared to the population mean, relative y_{max} was 1.6-fold higher and the dose-distance LDS/M 4.1-fold broader at the 10%ile, while both features were 0.9-fold lower at the 95%ile. Dose M for mean root length was with 1.058 ng a.i./ml significantly higher than the average of both percentiles. Hence, slow-growing individuals proved significantly more responsive to low-dose effects than the average population. Fast-growing individuals were also more sensitive, but less stimulated than the average of the population. Regarding the inhibition of root length at higher doses, the ED_{50} values did not significantly differ between the population mean and both percentiles (0.022 ± 0.002 µg

a.i./ml on average). However, the ED_{90} dose level significantly increased from the 10%ile with 0.176 μg a.i./ml by 4.2-fold at the population mean and by 6.5-fold at the 95%ile.

A similar trend was observed for shoot elongation. The short-stemmed seedlings at the 10%ile showed a relative y_{max} of 129% of control at $M=0.116$ ng a.i./ml and a 10.0-fold LDS/M dose-distance. The relative y_{max} was thus 1.2-fold higher and at an 8.9-fold lower dose as compared to the 95%ile. The LDS/M dose-distance was, however, 0.6-fold narrower at the 10%ile (Fig. 2B). As compared to the population mean, relative y_{max} was 1.2-fold higher at the 10%ile and the LDS/M dose-distance 2.2-fold broader. At the 95%ile shoot stimulation was 0.9-fold less pronounced as at the population mean despite a 3.5-fold broader LDS/M dose-distance. Dose M for mean shoot length equalled those of the 95%ile, but was significantly higher as compared to the 10%ile. Hence, slow-growing individuals also proved significantly more responsive in shoot elongation to low-dose stimulation than the average population and fast-growing individuals. Regarding shoot growth inhibition at higher doses, the ED_{50} values significantly increased from the 10%ile with 0.097 μg a.i./ml by 32.7-fold at the population mean and by 115.3-fold at the 95%ile.

Discussion

The study confirmed previous reports of low-dose stimulatory effects of sulfonylurea herbicides on plants (CEDERGREEN, 2008; BELZ, 2014). The observed hormetic quantities for mean responses with an y_{max} between 106-111% of control and a dose distance LDS/M between 2.7-4.5-fold indicated a modest stimulatory response as compared to general quantitative features reported in the literature (CALABRESE and BALDWIN, 2002; CALABRESE, 2008). Proving the significance of a stimulatory response $\leq 10\%$ requires excellent statistical power and sufficient replicates (CALABRESE, 2008). This was obviously granted by the current experimental design that could even model significant hormesis for a maximum stimulation of 101% of control for root elongation at the 95%ile. For such exceptionally low examples of hormesis, the hormetic dose range cannot be modelled as usual as the dose distance between the dose giving 10% stimulation and the LDS . Taking the dose giving 1% stimulation as a basis for the lower dose limit for hormesis, stimulation of mean root length occurred between 0.063 ng a.i./ml and 0.003 μg a.i./ml and of mean shoot length between 0.306 ng a.i./ml and 0.060 μg a.i./ml.

Evaluating responses for selective low-dose toxicity confirmed its occurrence for shoot growth at the right tail of the size distribution diagram, *i.e.* the most long-stemmed seedlings of the population ($\geq 90\%$ ile). This confirms previous findings of SINKKONEN et al. (2008, 2009, 2011) and supports the hypothesis that this low-dose phenomenon may be quite common for the most vital seedlings of a population in high-density stands. Moreover, results showed that selective low-dose toxicity and hormesis do not exclude each other and should thus be considered in parallel. However, comparing the observed dose ranges of both low-dose phenomena showed that selective toxicity in shoot growth occurred between 0.008-0.600 ng a.i./ml and, thus, mainly at doses preceding the hormetic dose range for mean shoot growth. This suggests that both low-dose phenomena can occur in parallel, but presumably in a dose-dependent manner low-dose stimulation after low-dose toxicity. SINKKONEN et al. (2008, 2009, 2011) supposed density-dependent phytotoxicity as one possible reason for selective low-dose toxicity, such that fast-growing individuals take up more toxicant than slow-growing ones and are, thus, more prone to impairment. Conversely, slow-growing individuals may be more prone to stimulation which would explain the observed stimulation at the left tail of the size distribution diagram ($\leq 10\%$ ile) despite negligible effects on most individuals in the population. Further evidence is, however, needed to support this hypothesis.

The question if hormesis alters the size distribution of an herbicide treated population was evaluated by comparing individual dose-response curves for the slow- (10%ile) and fast-growing (95%ile) part of that population. Results showed that the amplitude of hormesis decreased from the left to the right tail of the size distribution diagrams and that the dose-response curves were partly shifted to higher doses with the fast-growing subpopulation. This indicated that the slow-

growing individuals tended to be more sensitive to Atlantis WG and more responsive in low-dose stimulation than the fast-growing subpopulation. This shows that herbicide-hormesis can alter the size distribution in a dose-dependent manner such that the abundance of the shortest individuals decreases at low doses, while at higher but still hormetic doses the abundance of large individuals increases. Therefore, a mean hormetic response may happen due to a decrease in the frequency of the most short-grown individuals followed by an increase in the abundance of the most long-grown individuals. Moreover, the mean hormetic response of the *T. perforatum* population was widely intermediate between its slow- and fast-growing subpopulations. However, the amplitude of hormesis was always closer to the less pronounced hormetic response of the fast-growing subpopulation. This suggests that in high-density stands hormesis may be primarily associated with a stimulation of slow-growing individuals, but the degree of stimulation at the right tail of the size distribution diagram may primarily govern the effect on most of the population. Therefore, a fairly significant hormetic effect on the slow-growing subpopulation may be even missed if the effects are masked by a lack of hormesis on the normally faster growing part of the population.

The reason why hormetic effects are differentially expressed depending on individual growth rates is unsettled. However, the expression of hormesis was shown to depend on plant growth conditions such that the amplitude is impaired under conditions preventing plants from enhanced growth, i.e. retarded/no growth or optimal/maximum growth (BELZ and CEDERGREEN, 2010). It is thus possible that fast-growing individuals have a lower capacity for enhanced growth. Further, within population genetic differences could account for the observed discrepancy in sensitivity between subpopulations.

Conclusions

The study showed that low herbicide doses are also capable of directly differentiating the within-population size distribution in dense stands. The phenomenon may be of ecological significance in wild plant populations exposed to low herbicide doses (e.g., drift deposition or run-off) but also weed populations on treated fields due to errors in application, leaf contact of treated and untreated plants, protection by taller plants or mulch, herbicide resistance or gaps in effectiveness, or absorption of low doses from soil, especially after soil degradation or immobilization (BELZ and DUKE, 2014). Such a phenotypic segregation may directly affect plant performance and alter its survival under extreme environmental conditions. For example, lowering the frequency of short-rooted individuals may enhance a population's resistance to drought since rooting depth is a key factor to drought resistance (SINKKONEN et al., 2009). In the longer term, such a phenotypic differentiation can lead to a genotypic adaptation and thus the formation of ecotypes with partly pronounced differences in growth and reproductive behaviour (ZWERGER, 1993). Therefore, if the observed phenomena can be confirmed for other herbicides, other species and for natural plant populations, low herbicide levels may have drastic effects on the structuring of populations leading to low-dose driven changes in herbicide sensitivity, ecosystem services or biodiversity in the long-run.

Acknowledgement

The technical assistance of Despina Savvidou-Kourmpidou and Maider Remíz is greatly acknowledged. RG Belz was funded by the German Research Association (DFG individual grant, project BE4189/1-2).

Literatur

- AINA, R., L. PALIN and S. CITTERIO, 2006: Molecular evidence for benzo[a]pyrene and naphthalene genotoxicity in *Trifolium repens* L. *Chemosphere* **65**, 666-673.
- BELZ, R. G. and N. CEDERGREEN, 2010: Parthenin hormesis in plants depends on growth conditions. *Environ Exp Bot* **69**, 293-301.
- BELZ, R. G. and H. P. PIEPHO, 2012: Modeling effective dosages in hormetic dose-response studies. *PLoS ONE* **7**(3): e33432.
- BELZ, R. G. and H. P. PIEPHO, 2013: Variability of hormetic dose responses of the auxin inhibitor PCIB on *Lactuca sativa* in a plant bioassay. *Weed Res.* **53**, 418-428.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- BELZ, R. G., 2014: Is hormesis an underestimated factor in the development of herbicide resistance? *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 81-91.
- BELZ, R. G. and S. O. DUKE, 2014: Herbicides and plant hormesis. *Pest Manag Sci* **70**, 698-707.
- BRAIN, P. and R. COUSENS, 1989: An equation to describe dose responses where there is stimulation of growth at low doses. *Weed Res.* **29**, 91-96.
- CALABRESE, E. J. and L. A. BALDWIN, 2002: Defining hormesis. *Hum. Exp. Toxicol.* **21**, 91-97.
- CALABRESE, E. J., 2008: Hormesis: why it is important to toxicology and toxicologists. *Environ. Toxicol. Chem.* **27**, 1451-1474.
- CASTELLANO, D., F. A. MACÍAS, M. CASTELLANO and R. CAMBRONERO, 2001: FITOMED (automated system for the measurement of variable lengths). Spain Patent No. P9901565.
- CEDEGREEN, N., C. RITZ and J. C. STREIBIG, 2005: Improved empirical models describing hormesis. *Environ. Toxicol. Chem.* **24** (12), 3166-3172.
- CEDEGREEN, N., 2008: Herbicides can stimulate plant growth. *Weed Res.* **48**, 429-438.
- QUAGGIOTTI, S., G. BARCACCIA, M. SCHIAVON, S. NICOLÉ, G. GALLA, V. ROSSIGNOLO, ROSSIGNOLO V., M. SOATTIN and M. MALAGOLI, 2007. Phytoremediation of chromium using *Salix* species: cloning ESTs and candidate genes involved in the Cr response. *Gene* **402**, 68-80.
- SCHABENBERGER, O., B. E. THARP, J. J. KELLS and D. PENNER, 1999: Statistical tests for hormesis and effective dosages in herbicide dose response. *Agron. J.* **91**, 713-721.
- SINKKONEN, A., R. STRÖMMER and O. P. PENTTINEN, 2008: Low toxicant concentrations decrease the frequency of fast-growing seedlings at high densities of annual baby's breath (*Gypsophila elegans*). *Environ. Pollut.* **153**, 523-525.
- SINKKONEN, A., O. P. PENTTINEN and R. STRÖMMER, 2009: Testing the homogenizing effect of low copper sulfate concentrations on the size distribution of *Portulaca oleracea* seedlings *in vitro*. *Sci. Total Environ.* **407**, 4461-4464.
- SINKKONEN, A., M. MYRÄ, O. P. PENTTINEN and A. L. RANTALAINEN, 2011: Selective toxicity at low doses: experiments with three plant species and toxicants. *Dose-Response* **9**, 130-143.
- ZIMDAHL, R. L., 2013: *Fundamentals in Weed Science*, 4th Edition. Amsterdam [u.a.], Academic Press, 664 S.
- ZWARGER, P., 1993: Modellierung und Simulation der Populationsdynamik von annualen Unkräutern. *Berichte aus dem Fachgebiet Herbolgie der Universität Hohenheim* **33**, 151 S.

Untersuchungen zur Populationsdynamik von *Senecio jacobaea* und anderer *Senecio*-Arten

Studies on the population dynamics of Senecio jacobaea and other Senecio species

Hans-Peter Söchting*, Peter Zwirger

Julius-Kühn-Institut, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

*Korrespondierender Autor, hans-peter.soechting@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.015

Zusammenfassung

In einem im Jahr 2009 angelegten Langzeitversuch werden die Möglichkeit einer künstlichen Etablierung und die weitere Populationsentwicklung von *Senecio jacobaea*, *Senecio aquaticus*, *Senecio erucifolius* und *Senecio inaequidens* auf zwei extensiven Grünlandflächen untersucht. Dazu wurden auf beiden Versuchsstandorten jeweils 80 Pflanzen der vier Arten eingepflanzt. Die Bewirtschaftungsintensität beider Flächen variierte zunächst bezüglich der Mähdurchgänge. Das Mähgut wird grundsätzlich abgefahren und in regelmäßigen Abständen wird die Anzahl der *Senecio*-Pflanzen ermittelt. Auf beiden Flächen waren im Herbst 2012 von *Senecio aquaticus* und *Senecio inaequidens* keine Pflanzen sowie von *Senecio erucifolius* weniger als 20 % der ursprünglich vorhandenen Pflanzen nachzuweisen. Dagegen zeigte sich bei *Senecio jacobaea* nach einem deutlichen Rückgang der Pflanzenzahl auf ca. 40 % der ursprünglichen Auspflanzdichte bis 2012, ab 2013 wieder eine Zunahme bedingt durch Sämlinge, so dass die ursprüngliche Pflanzdichte übertroffen wurde. Ab 2014 wurde daher die Konzeption der Versuchsanstellung umgestellt, mit dem Ziel auch *Senecio jacobaea* von der Fläche zu verdrängen. Ab jetzt sollten keine Pflanzen mehr zur Blüte kommen, so dass auch drei und mehr Mähdurchgänge durchgeführt wurden. Außerdem wurde eine Düngungsvariante eingeführt, um das Konkurrenzvermögen der Gräser zu erhöhen. Diese Maßnahmen zeigten bereits 2014 Wirkung und der Bestand von *Senecio jacobaea* war zumindest teilweise wieder rückläufig.

Stichwörter: Düngung, Grünland, Mahd, *Senecio*-Arten

Abstract

A longterm experiment was carried out on two extensive grassland areas to examine the development and the spreading patterns of *Senecio jacobaea*, *Senecio aquaticus*, *Senecio erucifolius* and *Senecio inaequidens*. For this purpose, 80 plants of the four different species were planted on both experimental sites. The intensity of cultivation in the areas varied regarding different cutting treatments. The cut crop was generally worn. Periodically number and state of development of *Senecio* plants were determined. By the end of 2012, the species *Senecio aquaticus* and *Senecio inaequidens* could no longer be detected on the two experimental plots and only some very few, last plants from *Senecio erucifolius* were found. In contrast, *Senecio jacobaea* plants first declined considerably by 2012 to about 40% of the initial plant density and then in beginning of 2013 a distinct increase by seedling was assessed, so that the initial planting density was exceeded. From summer 2013, therefore, the scheme of the experimental design was changed with the aim to displace *Senecio jacobaea* from the area. In order to avoid the blossom of the plants, 3 or more cuts were carried out. In addition, a fertilization treatment was introduced in order to increase the competitiveness of the grasses. A positive impact of these measures was already detected in 2014 by a partial decline in *Senecio jacobaea* density.

Keywords: Cutting regime, fertilization, grassland, *Senecio* species

Einleitung

Die Gattung *Senecio* ist mit über 1200 Arten die größte in der Compositenfamilie. Alle *Senecio*-Arten enthalten Pyrrolizidinalkaloide, die giftig sind und bei längerer Aufnahme zum Tode von Säugetieren führen können. *Senecio*-Arten sind in Deutschland weit verbreitet und häufig auf Wiesen und Weiden zu finden, so dass für Weidetiere die Möglichkeit besteht, die Arten mit dem Grünfutter oder Heu aufzunehmen (GREUEL, 1954). In Deutschland sind Erkrankungen durch Aufnahme von *Senecio*-Arten dennoch bisher nur selten beschrieben und tatsächlich nachgewiesen. Oft wird ausgeführt, dass vermehrt extensive Formen der Grünlandnutzung und entsprechend günstige Witterungsbedingungen in verschiedenen Landesteilen zu einer deutlichen und raschen Ausbreitung verschiedener *Senecio*-Arten geführt haben (ROTH, 2009;

RAUPERT, 2009). Auf der anderen Seite wird aber auch auf die verstärkte Wahrnehmung des Auftretens durch zahlreichen Berichte in den Medien verwiesen (CONRADI und ZEHRM, 2011). Mittlerweile sind eine Vielzahl von Flyern und Broschüren zur Bekämpfung von *Senecio*-Arten verfügbar (z.B. NEUMAN et al., 2009) und es liegen diverse Veröffentlichungen zur Beeinflussung von *Senecio*-Arten durch die Bewirtschaftung vor (z.B. SUTER et al., 2007). Hinsichtlich der Vergiftungen durch *Senecio*-Arten lag der Fokus bisher hauptsächlich auf kontaminiertem Grünland. In Deutschland werden aber auch seit einigen Jahren in Nahrungsmitteln wie Honig, Salat und Kräutertee, Pyrrolizidinalkaloide in gesundheitsgefährdenden Konzentrationen festgestellt (BODI et al., 2014). Neben verschiedenen Rauhblattgewächsen dürften auch hier die *Senecio*-Arten eine Hauptursache für die Kontaminationen sein. An dieser Stelle sollen Ergebnisse eines bisher 6 Jahre andauernden Freilandversuches dargestellt werden. Geprüft wurde, ob vier hinsichtlich ihrer Standortansprüche unterschiedliche *Senecio*-Arten (Tab. 1) trotzdem an einem Ort etabliert werden können und ob mit einer Zunahme der Individuenzahlen zu rechnen ist. Um die Populationsdynamik der Arten besser zu erfassen und gleichzeitig Managementstrategien zu deren Kontrolle zu liefern, waren die Mähfrequenz und die N-Düngung weitere Versuchsfaktoren.

Material und Methoden

Seit dem Frühjahr 2009 wird auf zwei extensiven Grünlandflächen (Versuchsstandort 1 und Versuchsstandort 2; Tab. 2) am Julius Kühn-Institut (JKI) in Braunschweig die Populationsdynamik von vier *Senecio*-Arten (*Senecio jacobaea*-SENJA, *Senecio aquaticus*-SENAQ, *Senecio erucifolius*-SENER und *Senecio inaequidens*-SENIQ) untersucht. Auf beiden Flächen wurde jeweils ein 20 x 10 m großer Bereich festgelegt, der in 8 Streifen mit jeweils 2,5 m Breite unterteilt wurde. In jeden Streifen wurden 10 Pflanzen der vier *Senecio*-Arten eingepflanzt. Die Pflanzen wurden zuvor im Gewächshaus angezogen und im Rosettenstadium am 22.04.2009 in die Versuchsflächen eingesetzt.

Zunächst waren zwei Mähvarianten vorgesehen. Vier der acht Streifen wurden bis 2013 einmal jährlich (Variante I) und vier Streifen zweimal jährlich gemäht (Variante II). Die Mähstreifen (rotierende Messer) waren randomisiert angelegt worden. In der Regel erfolgte die erste Mahd im Juni und die zweite Mahd im Oktober. Das Mähgut wurde immer unverzüglich abgefahren. In den Parzellen, die nur einmal im Jahr gemäht wurden, mitunter aber auch in Parzellen die zweimal gemäht wurden, kam ein Teil der *Senecio*-Pflanzen zur Blüte und bildete Samen, die dann auf der Fläche verblieben sind. Somit war ein Neuaufbau von Pflanzen aus Sämlingen auf der Fläche nicht nur möglich, sondern fand ab 2013 bei *Senecio jacobaea* auch statt. Aufgrund der starken Zunahme dieser Art auf den Versuchsflächen bis zum Herbst 2013 wurde das Versuchsdesign an beiden Versuchsstandorten verändert. Ab 2014 wurde die Mähfrequenz beider Varianten angeglichen und soweit erhöht, dass keine *Senecio*-Pflanzen mehr zur Blüte kommen sollten. Desweiteren erfolgte in der Variante I (vorher einmalige Mahd) nach jedem Mähen eine Düngung (je 80 kg/ha in Form von Kalkammonsalpeter-KAS), um die Konkurrenzkraft der vorhandenen Gräser zu erhöhen. In Tabelle 3 sind sämtliche Mäh- und Düngungsmaßnahmen aufgeführt, in Tabelle 1 erfolgt eine Beschreibung der *Senecio*-Arten anhand der Kenngrößen nach ELLENBERG et al. (1992) sowie der Datenbank BIOLFLOR (2015) und in Tabelle 2 werden die beiden Versuchsstandorte charakterisiert.

In regelmäßigen Abständen wurde die Anzahl der *Senecio*-Pflanzen ermittelt. Bei der Angabe der Pflanzenzahlen wird nicht unterschieden zwischen Pflanzen die 2009 eingepflanzt wurden und neuen Pflanzen die aus Sämlingen entstanden waren. Dieses wurde zwar zunächst versucht, indem die eingepflanzten Individuen mit Erdnägeln gekennzeichnet wurden, jedoch stellte sich das Verfahren später als ungeeignet heraus, da die Pflanzen teilweise extrem dicht nebeneinander oder sogar miteinander verwachsen waren, so dass keine Aussage darüber getroffen werden konnte, ob es sich um Alt- oder Neupflanzen handelte. Außerdem waren viele der Erdnägel nicht mehr auffindbar.

Tab. 1 Charakterisierung der *Senecio*-Arten auf Grundlage der Ellenbergzahlen (ELLENBERG et al., 1992) und der Datenbank BIOFLOR, 2015 (Lebensdauer).

Tab. 1 Characterization of the *Senecio* species on the basis of the Ellenberg numbers (ELLENBERG et al., 1992) and the database BIOFLOR, 2015 (longevity).

| | <i>S. jacobaea</i> | <i>S. aquaticus</i> | <i>S. erucifolius</i> | <i>S. inaequidens</i> |
|------------------------|--|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Lichtzahl | 8 | 7 | 8 | 8 |
| Temperatur | 5 | 6 | 6 | 7 |
| Kontinentalität | 3 | 2 | 4 | unbekannt |
| Feuchte | 4 | 8 | 3 | 3 |
| Reaktion | 7 | 4 | 8 | 7 |
| Stickstoff | 5 | 5 | 4 | 3 |
| Lebensdauer | bienn, plurieenn- hapaxanth, plurien- pollakanth | bienn, plurien-pollakanth | plurien-pollakanth | plurien-pollakanth |

bienn= Die Pflanze wächst ca. ein Jahr vegetativ, ehe sie im 2. Jahr nach der generativen Phase ihren Individualzyklus abschließt.

plurieenn-hapaxanth= Die Pflanze wächst länger als ein Jahr, teilweise bis 5 Jahre vegetativ, ehe sie nach der ersten und einzigen generativen Phase ihren Individualzyklus abschließt

plurien-pollakanth = Die Pflanze blüht und fruchtet mehr als einmal in ihrem Leben, d.h. sie ist ausdauernd

Tab. 2 Charakterisierung der Versuchsstandorte.

Tab. 2 Description of the trial sites.

| | Versuchsstandort 1 | Versuchsstandort 2 |
|-----------------------|---|---------------------------------|
| Bodenart | Lehmiger Sand | Lehmiger Sand |
| pH-Wert | 6,2 | 5,5 |
| Humus | 1,8 % | 1,9 % |
| Phosphor mg/in 100 g | 10 | 9 |
| Kalium mg/in 100 g | 14 | 12 |
| Magnesium mg/in 100 g | 5 | 5 |
| Standort | normale Boden- und Licht- verhältnisse | sehr trocken, sonnig, Hügellage |

Tab. 3 Mäh- und Düngungstermine.**Tab. 3** Mowing and fertilizing dates.

| Versuchsstandort 1 | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------------------|--------|--------|--------|---|
| Variante I | | | | | | Variante II | | | | |
| 2009 | Mahd | 29.06. | - | - | - | 29.06. | 15.10 | - | - | - |
| 2010 | Mahd | 30.06. | - | - | - | 30.06. | 26.10. | - | - | - |
| 2011 | Mahd | 29.06. | - | - | - | 29.06. | 04.10. | - | - | - |
| 2012 | Mahd | 29.06. | - | - | - | 29.06. | 12.10. | - | - | - |
| 2013 | Mahd | 28.06. | 04.09. | - | - | 28.06. | 04.09. | - | - | - |
| 2014 | Mahd | 06.06. | 06.08. | 28.10. | - | 06.06. | 06.08. | 28.10. | - | - |
| | Düngung | 25.03 | 16.06 | 20.08. | - | - | - | - | - | - |
| 2015 | Mahd | 27.05. | 07.07. | 06.08. | 05.09. | 27.05. | 07.07. | 06.08. | 05.09. | - |
| | Düngung | 23.03. | 06.06. | 15.07. | - | - | - | - | - | - |
| Versuchsstandort 2 | | | | | | | | | | |
| Variante I | | | | | | Variante II | | | | |
| 2009 | Mahd | 30.06. | - | - | - | 30.06. | 15.10 | - | - | - |
| 2010 | Mahd | 30.06. | - | - | - | 30.06. | 26.10. | - | - | - |
| 2011 | Mahd | 29.06. | - | - | - | 29.06. | 04.10. | - | - | - |
| 2012 | Mahd | 29.06. | - | - | - | 29.06. | 12.10. | - | - | - |
| 2013 | Mahd | 28.06. | 04.09 | - | - | 28.06. | 04.09. | - | - | - |
| 2014 | Mahd | 04.06. | 06.08. | 28.10. | - | 04.06. | 06.08. | 28.10. | - | - |
| | Düngung | 25.03 | 16.06 | 20.08. | - | - | - | - | - | - |
| 2015 | Mahd | 27.05. | 07.07. | 12.08 | 05.09. | 27.05. | 07.07. | 12.08. | 05.09. | - |
| | Düngung | 23.03. | 06.06. | 15.07. | - | - | - | - | - | - |

Ergebnisse

Alle Arten entwickelten sich nach der Pflanzung im Frühjahr 2009 gut und zeigten durchweg ein freudiges Wuchsverhalten. Bezüglich der Ausbreitung und Entwicklung waren im Zeitverlauf allerdings erhebliche Unterschiede festzustellen. *Senecio inaequidens* und *Senecio aquaticus* kamen noch im Pflanzjahr zur Blüte. Diese Arten waren es auch, die zuerst von den Flächen verschwunden waren (Abb. 1 und 2). So wurde von *Senecio inaequidens* bereits zum Vegetationsende 2010 nur noch eine Pflanze gezählt. *Senecio aquaticus* war ab Herbst 2011 nicht mehr aufzufinden. Von *Senecio erucifolius* waren bis September 2015 nur noch zwei Pflanzen, am Versuchstandort 1, vorhanden. Letztendlich war es bei allen drei Arten unerheblich, ob die Flächen ein oder zweimal gemäht wurden. Die Entwicklung an den unterschiedlichen Standorten war trotz einiger Abweichungen tendenziell gleich. In Abbildung 1 und 2 ist die Populationsentwicklung von *Senecio aquaticus* (SENJA), *Senecio erucifolius* (SENER) und *Senecio inaequidens* (SENIQ) von der Pflanzung im Frühjahr 2009 bis zum Herbst 2015 wiedergegeben. Ein Neuaufbau aus Sämlingen war bei diesen Arten bisher nicht festzustellen.

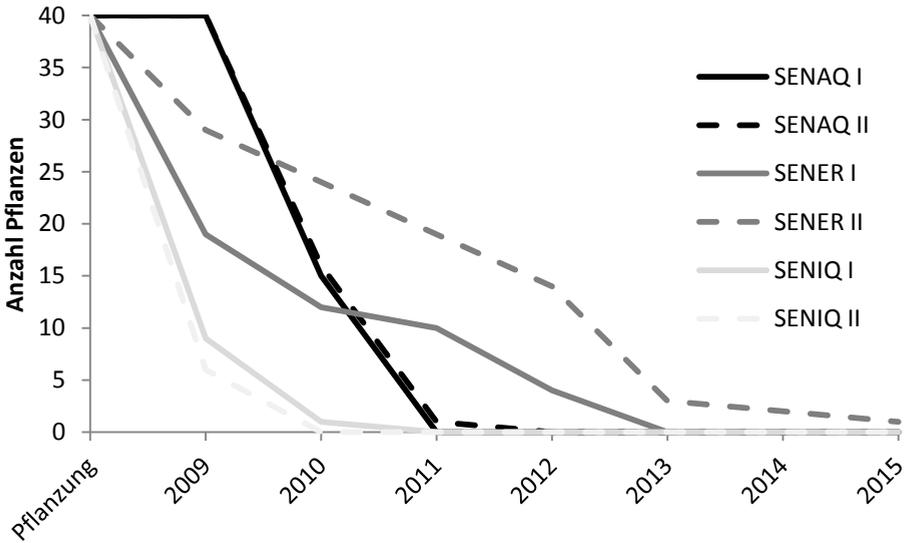


Abb. 1 Populationsentwicklung verschiedener *Senecio*-Arten in Variante I und II am Versuchsstandort 1 (Anzahl Pflanzen zur letzten Bonitur im Jahr).

Fig. 1 Population dynamics of different *Senecio* species in treatment I and II at trial site one (number of plants is shown at last assessment date in the respective year).

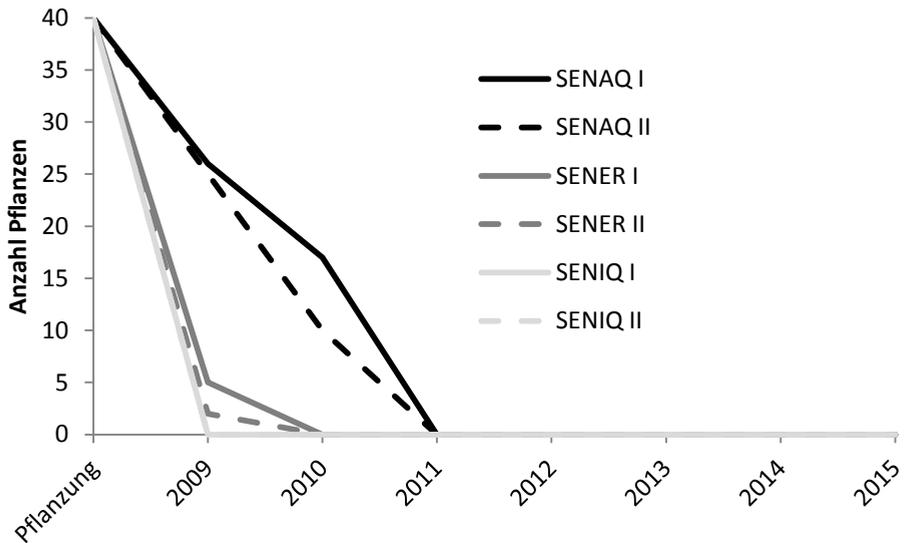


Abb. 2 Populationsentwicklung verschiedener *Senecio*-Arten in Variante I und II am Versuchsstandort 2 (Anzahl Pflanzen zur letzten Bonitur im Jahr).

Fig. 2 Population dynamics of different *Senecio* species in treatment I and II at trial site two (number of plants is shown at last assessment date in the respective year).

Ganz anders stellte sich die Situation für *Senecio jacobaea* dar. Hier war bis 2012 auch ein Rückgang der Pflanzen an beiden Standorten festzustellen, der allerdings nicht so ausgeprägt war wie bei den drei anderen Arten. Dabei spielte die Anzahl der Mahddurchgänge bis 2013 keine Rolle wie Abbildung 3 und 4 zeigen. Ab 2013 kam es dann zu einem Neuaufbau aus Samen, der sich besonders ausgeprägt am Standort 1 zeigte. Nach Umstellung des Versuchsdesigns war ab 2014 in der Variante 1 (Düngung) wieder ein Rückgang der Pflanzenzahlen festzustellen. Dagegen war bei lediglich erhöhter Mähfrequenz keine Reduzierung der Individuen zu ermitteln (Abb. 3 und 4). Deutlich zum Tragen kommt der Standortunterschied. Am sehr trockenen Versuchsstandort 2 waren trotz durch Trockenheit verursachter Narbenlücken wesentlich weniger neue *Senecio-jacobaea*-Pflanzen aufgelaufen als am Versuchsstandort 1. Aber auch hier war in der N-Düngungsvariante bereits eine Reduzierung der Pflanzenzahlen festzustellen.

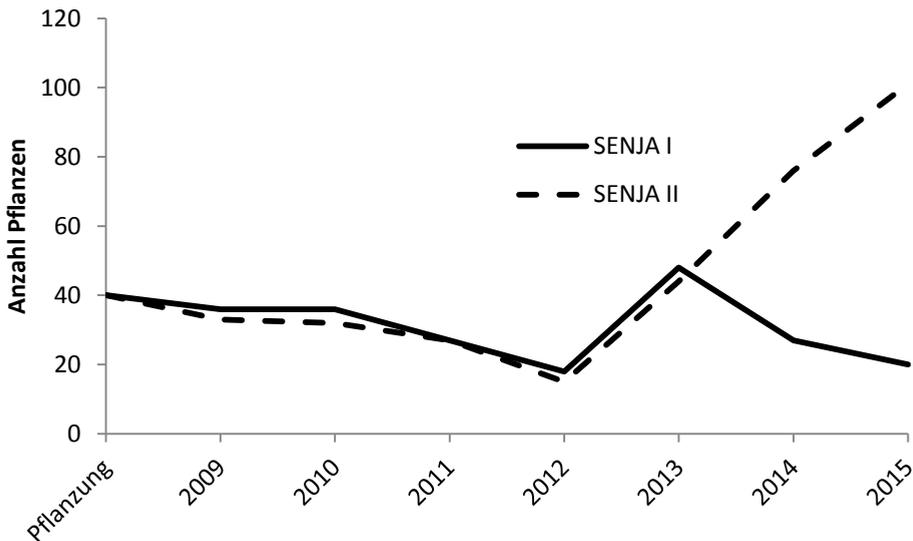


Abb. 3 Populationsentwicklung von *Senecio jacobaea* in Variante I und II am Versuchsstandort 1 (Anzahl Pflanzen zur letzten Bonitur im Jahr).

Fig. 3 Population dynamics of *Senecio jacobaea* in treatment I and II at trial site one (number of plants is shown at last assessment date in the respective year).

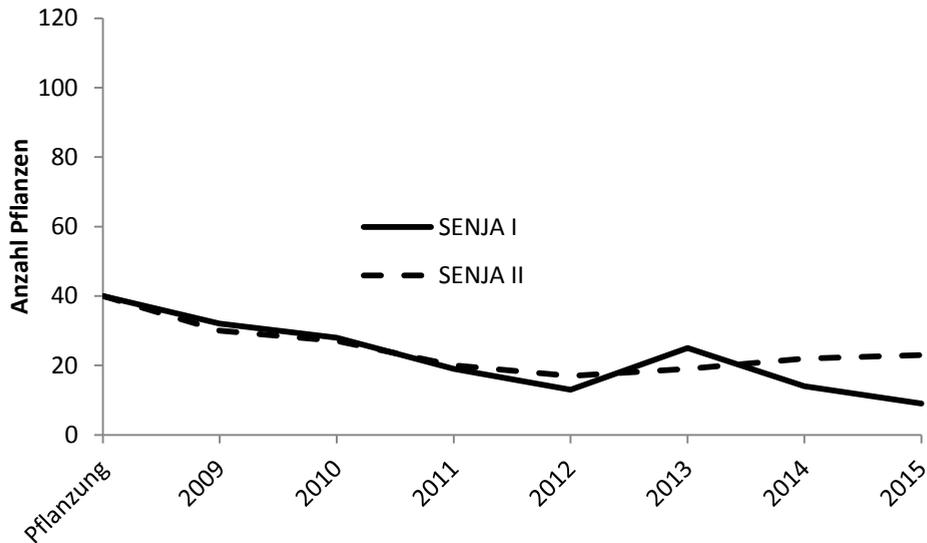


Abb. 4 Populationsentwicklung von *Senecio jacobaea* in Variante I und II am Versuchsstandort 2 (Anzahl Pflanzen zur letzten Bonitur im Jahr).

Fig. 4 Population dynamics of *Senecio jacobaea* in treatment I and II at trial site two (number of plants is shown at last assessment date in the respective year).

Diskussion

Senecio jacobaea, *Senecio aquaticus* und *Senecio erucifolius* werden seit langer Zeit als Unkräuter im Grünland geführt. Dagegen ist die neopyhtische Art *Senecio inaequidens* erst seit wenigen Jahren in einem zunehmenden Maße auf extensiv geführten Grünlandflächen anzutreffen und kann dort zu einem Problemunkraut werden. Auf den beiden oben beschriebenen Versuchsstandorten kamen alle vier *Senecio*-Arten natürlicherweise nicht vor. *Senecio jacobaea* und *Senecio aquaticus* können zwar auch mehr als zwei Jahre überdauern, werden aber vorwiegend als zweijährig eingestuft. Somit muss bei diesen beiden Arten jährlich die Hälfte der Pflanzen aus Samen regeneriert werden, um die Populationsgröße zu erhalten. *Senecio erucifolius* und *Senecio inaequidens* sind als mehrjährige Arten einzustufen, bei denen im Prinzip nur wenige Pflanzen aus Samen entstehen müssen damit sich die Population nicht verringert. Von allen Arten konnten auf den Versuchsflächen Pflanzen zur Blüte kommen und Samen bilden. Somit waren theoretisch die Voraussetzungen für eine Populationsvergrößerung aller Arten erfüllt.

Bis zum Vegetationsende 2012 waren *Senecio aquaticus* und *Senecio inaequidens* vollständig sowie *Senecio erucifolius* bis auf 14 Pflanzen von den beiden Versuchsstandorten verschwunden. Der Rückgang dieser Arten könnte damit zusammenhängen, dass die Versuchsflächen die Standortansprüche dieser Arten nicht erfüllen konnten. *Senecio erucifolius* reagiert eher empfindlich auf eine saure Bodenreaktion, was auf beiden Versuchsstandorten gegeben war, und für *Senecio aquaticus* dürften die Ansprüche an die Bodenfeuchte nicht erfüllt worden sein. *Senecio inaequidens* hat sich als sehr konkurrenzschwache Art dargestellt und scheint bei einer intakten Grasnarbe in Verbindung mit einem oder zwei Schnitten kaum eine Überlebenschance zu besitzen. Bei den verschwundenen Arten besteht theoretisch aber immer noch die Möglichkeit, dass in den nächsten Jahren noch Pflanzen aus Samen auflaufen, da die Keimfähigkeit der Samen einige Jahre erhalten bleibt.

Beide Standorte waren offenbar geeignet, den Lebensbedingungen von *Senecio jacobaea* gerecht zu werden. Die Pflanzenzahlen dieser Art gingen zwar zunächst auch zurück, ehe dann 2013, nach

vier Versuchsjahren, die ersten *Senecio jacobaea*-Pflanzen aus Samen aufliefen. Dieser Sachverhalt gilt im Besonderen für die Versuchsfläche 1. Sicherlich mit ursächlich dafür könnte sein, dass im Winter 2012 die Flächen teilweise von Wildschweinen umgebrochen wurden und somit Samen zur Keimung angeregt wurden und die jungen Pflanzen in den entstandenen Narbenlücken dann ausreichend Licht erhielten, um sich fortzuentwickeln. Bisher liefern nur Sämlinge von *Senecio jacobaea* auf. Die Ursache dafür könnte darin begründet liegen, dass schon ab dem zweiten Versuchsjahr von den übrigen Arten deutlich weniger Pflanzen zur Blüte gekommen sind und somit auch viel weniger Samen produziert wurden als von *Senecio jacobaea*.

Die Schlussfolgerungen aus den bisherigen Versuchsergebnissen werden durch die Ergebnisse aus anderen Studien bestätigt. Extrem wichtig ist das Entfernen erster *Senecio*-Pflanzen. Auf Weiden werden die Arten meistens vom Vieh gemieden und fallen spätestens zur Blüte ins Auge. Das Entfernen der ersten noch wenigen Pflanzen vor der Samenbildung ist der effektivste Weg eine weitere Verseuchung von Weiden zu vermeiden.

Wie bei andern Autoren (HENNINGS, 2012) zeigte sich, dass *Senecio*-Arten durch eine Stickstoffdüngung gehemmt werden, da die Konkurrenz durch benachbarte Gräser zunimmt. Im Versuch führt die ab 2014 in einer Variante eingeführte KAS-Düngung auf beiden Standorten zu einer Dezimierung der *Senecio*-Pflanzen. Allerdings muss hier darauf hingewiesen werden, dass die Düngung auch zu einer Pflanzenselektion und nicht gewollten Reduktion anderer Pflanzenarten im Grünland führen wird (HENNINGS, 2012). Hinsichtlich der Mähvarianten zeigt der Versuch, dass eine einmalige oder zweimalige Mahd keinen großen Einfluss auf die Populationsdynamik nahm. Es wird auch klar, dass mit einer zweimaligen Mahd kaum ein vollständiges Aussamen von *Senecio*-Pflanzen zu verhindern sein wird, da im Jahr 2015 bereits bis Anfang September vier Mähdurchgänge notwendig waren, um die Blüte von Pflanzen zu unterbinden. Somit dürfte eine komplette Unterdrückung von *Senecio jacobaea* allein durch Mähen in der Praxis schwer zu erreichen sein, da sich die *Senecio*-Pflanzen extrem schnell entwickeln können und einer sehr sorgfältigen, dauerhaften Beobachtung bedürfen.

Letztlich muss Klarheit bezüglich des Nutzungsvorrangs von Grünland bestehen. Sollen Naturschutzaspekte den Vorrang haben, dann muss akzeptiert werden, dass der Aufwuchs unter Umständen nicht mehr als Futter genutzt werden kann. Soll dagegen auch künftig eine Futternutzung auf den Flächen möglich sein, dann müssen die *Senecio*-Arten gezielt bekämpft werden, unter Umständen auch unter Zuhilfenahme geeigneter Herbizide.

Literatur

- BODI, E., S. RONCZKA, C. GOTTSCHALK, N. BEHR, A. SKIBBA, M. WAGNER, M. LAHRSEN-WIEDERHOLT, A. PREISS-WEIGERT und A. THESE, 2014: Determination of pyrrolizidine alkaloids in tea, herbal, drugs and honey. *Food Additives & Cataminants: Part A* **31**, No. 11, 1886-1895.
- CONRADI, T. und A. ZEHM, 2011: Zusammenstellung zur Kreuzkraut-Situation (Gattung *Senecio*) - aktueller Kenntnisstand zum Management. - Unveröffentlichtes Informationsblatt der Regierung von Schwaben und des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, 16 S., Augsburg.
- ELLENBERG, H., H.E. WEBER, R. DÜLL, V. WIRTH, W. WERNER und D. PAULIGEN, 1992: "Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa", *Scripta Geobotanica* **18** (2.Auflage).
- GREUEL, E., 1954: Vorkommen und Bedeutung einiger einheimischer *Senecio*-Arten im Viehfutter. Dissertation, Hannover 1954.
- HENNINGS, H., 2013: Landschaftsökologische Analyse des Vorkommens von *Senecio aquaticus* (Wasser-Kreuzkraut) in voralpinen Feuchtwiesen (Masterarbeit); TU München. <http://www2.ufz.de/biolflor/> (2015).
- NEUMANN, H., S. LÜTT, C. SCHLEICH-SEIDFAR, I. RABE, A. WALTER, J. BÖHLING, E. BÖTTNER, B. MUES, J. TREDE und M. WERNER, 2009: Umgang mit dem Jakobs-Kreuzkraut – Meiden, Dulden, Bekämpfen – Schriftenreihe LLUR SH – Natur; 14.
- RAUPERT, W., 2009: Giftpflanze bedroht Pferdebetriebe. *Land und Forst* **32**, 22-23.
- ROTH, W., 2009: Konsequenz gegen den „Killer“Kreuzkraut. *Top agrar* **4**, 108-110.
- SUTER, M., S. SIEGERIST-MAAG, J. CONNOLLY und A. LÜSCHER, 2007: Can the occurrence of *Senecio jacobaea* be influenced by management practice? *Weed Research* **47**, 262-269.

Versuche zur Parameterschätzung für das Modell FlorSys mit Unkrautarten und deren Herkünften aus Norddeutschland

Experiments to estimate parameters for the model FlorSys of weed species and their provenances from Northern Germany

Issa Kemou-Gao*, Jana Bürger, Bärbel Gerowitt

Arbeitsgruppe Phytomedizin, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock, 18051 Rostock

*Corresponding author, issa.gao@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.016

Zusammenfassung

FlorSys ist ein Modell, das zum Ziel hat, die Wirkungen von den ackerbaulichen Kultursystemen auf die Demografie von Unkräutern zu quantifizieren. Bei erfolgreicher Parametrisierung kann es genutzt werden, um Entwicklungen der Unkrautvegetation zu prognostizieren. FlorSys ist ein multi-species-Modell, das am INRA von der Arbeitsgruppe Agronomie in Dijon, Frankreich, entwickelt und gepflegt wird.

Das Modell gründet sich auf die Darstellung des Lebens-Zyklus der Unkrautarten. Die aufeinanderfolgenden Stadien sind für jede Art durch demografische Funktionen verbunden. Diese werden von den Effekten der Kultursysteme, der Interaktion mit Umweltbedingungen (Witterung) und den Bekämpfungsmaßnahmen gegen die Unkräuter modifiziert. FlorSys ist für das Klima gemäßiger Breiten erarbeitet und kann unter verschiedenen Bedingungen genutzt werden.

Wir wollen FlorSys, das mit Unkrautparametern, die im östlichen Frankreich bestimmt wurden, arbeitet, für Anwendungen in Nordostdeutschland prüfen und ergänzen. Dafür führen wir in den nächsten Jahren Versuche zur Parameterschätzung von Unkrautarten durch, zum einen vergleichend für Arten, die bereits in Dijon bearbeitet wurden, zum anderen für Arten, die in Nordostdeutschland wichtig sind.

Wir stellen Grundzüge des Modells FlorSys vor und berichten über Gewächshaus- und Freilandversuche, die der Schätzung ausgewählter Parameter von insgesamt 13 Unkrautarten dienen.

Stichwörter: Basis-Temperatur, FlorSys, Modell, Morphologieparameter, Populationsdynamik, Wachstumsrate

Abstract

FlorSys is a model that aims to quantify the effects of the agricultural systems on the weed demography. With successful parameterization, it can be used to predict weed growth. FlorSys is a multi-species-model which was developed at INRA in Dijon (France).

The model is based on the representation of the weed life cycle. The consecutive stages are connected by demographic functions with species-specific parameters. They are modified by the impact of the agricultural system, the interactions with environmental conditions and the measures against weeds. FlorSys can be used in a wide range of conditions.

We want to test FlorSys as parameterized in Burgundy (France) in Northeastern Germany in order to check and improve its applicability here. Therefore, we will conduct trials for the parameter estimation of weed species in the next years. We will use species that have already been parameterized in order to compare different geographic sources, and to complement them with species which are important in Northern Germany.

We introduce the FlorSys model and report about greenhouse and semi-field experiments.

Keywords: Base temperature, FlorSys, growth rate, model, morphology parameters, population dynamics

Einleitung

Demografische Prozesse wie Auflaufen, Wachstum, Reproduktion und Sameneintrag entscheiden über die langfristigen Erfolge von Unkrautpopulationen im Ackerbau. Welche zeitlichen Dynamiken der Populationen möglich sind und welche Prozesse dabei Schlüsselfunktionen bei den verschiedenen Arten haben, ist wichtig für agronomische Anwendungen wie die Gestaltung des Anbausystems zur vorbeugenden Bekämpfung oder der direkten Bekämpfung von Unkräutern mit Herbiziden.

Unkrautarten unterscheiden sich also in den möglichen populationsdynamischen Entwicklungen. Darüber hinaus modifiziert die Umwelt, in der Unkräuter wachsen, die demografischen Prozesse. Das gilt einerseits für die aktuellen Bedingungen, unter denen die Pflanzen wachsen. Wieviel Samen nach erfolgreicher Keimung auflaufen, wieviel davon bis zur Reproduktion überleben und wieviel Samen gebildet werden, ist abhängig von Boden- und Witterungsverhältnissen. Temperatur und Strahlung sind besonders wichtige Einflüsse, die sich zwischen Regionen unterscheiden. Tages- und Jahreszeitengänge verändern die natürlichen Bedingungen für die Unkrautflora. Populationen etablieren sich langfristig unter den standorttypischen pedo-klimatischen Bedingungen. Die Reaktionen wichtiger populationsdynamischer Parameter der Unkrautarten auf die pedo-klimatischen Bedingungen können über eine Auslese zu einer Differenzierung zwischen Herkünften verschiedener Arten führen.

Die Bedingungen, unter denen Unkräuter wachsen, werden aber nicht nur durch die natürliche Umwelt geprägt, sondern auch durch die kultürlche Umwelt. Letztere wird im Ackerbau repräsentiert durch das Anbausystem, das vom Landwirt geplant, umgesetzt und über die Zeit modifiziert wird (LONCHAMP und BARRALIS, 1998). Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Anbauverfahren der Kulturpflanzen modifizieren die Umwelt für die Unkräuter und ihre populationsdynamischen Möglichkeiten. Gleichförmig über lange Zeiten wiederholte agronomische Maßnahmen können ihrerseits zur Ausprägung von angepassten Herkünften oder Biotypen bei Unkrautarten führen.

Da es sehr aufwändig ist, Unkrautpopulationen im Wechselspiel zwischen natürlichen Umweltfaktoren und solchen, die durch das Anbausystem entstehen, insgesamt experimentell zu untersuchen, ist die Beantwortung populationsdynamischer Fragen im besonderen Maße auf Modelle angewiesen, mit denen die Entwicklungen simuliert werden können. In ihnen werden demografische Stadien und Prozesse abgebildet. Die Parameter müssen in spezifischen Versuchen geschätzt werden. Umfänglich parametrisierte Modelle zur Populationsdynamik sind letztendlich geeignet, zukünftige Entwicklungen von Unkrautarten abzuschätzen – sowohl unter sich ändernden natürlichen Umweltbedingungen als auch unter dem Einfluss von Maßnahmen im Anbausystem.

Das Modell FlorSys

FlorSys ist ein Modell, das den Lebenszyklus von Unkrautarten nachbildet. Die Lebensstadien sind darin durch Prozesse (z. B. Keimung, Auflaufen, Wachstum, ...) verbunden (GARDARIN et al., 2007). Demografische Prozesse und Stadien stehen in Wechselwirkung mit dem Anbausystem und dem Klima (COLBACH et al., 2006). Das Modell ermöglicht Anwendungen, die die Wirkung von Unkrautbekämpfung in Abhängigkeit vom Anbausystem und Umweltbedingungen abschätzen. Für diese Anwendungen ist es notwendig, Artmerkmale, die für die demografische Entwicklung der Unkrautart wichtig sind, zu kennen.

Das Modell FlorSys benötigt drei Komplexe von Input-Variablen:

- Initiale Samenbank (in 0 - 30 cm Bodentiefe)
- Elemente des Anbausystems (Anbautechnik, Kulturpflanzenart, Dichte, ...)
- Umwelt, Witterung (Temperatur, Niederschlag, Strahlung, ...)

Als Ausgabe berechnet das Modell in täglichen Schritten die Dichte jeder Pflanzenart in jedem Entwicklungsstadium (Keimpflanze, Jungpflanze, Blüte, ...). Außerdem wird die Bodensamenbank mit ihren Anteilen an lebensfähigen Samen simuliert.

Ziel des Projekts

Ziel unseres Projekts ist es, die Übertragbarkeit von FlorSys auf die Klima- und Anbaubedingungen Norddeutschlands zu prüfen und zu verbessern. Dafür wollen wir Unkrautarten-Parameter, die für FlorSys bereits unter den Bedingungen des östlichen Frankreichs (Burgund) ermittelt wurden, mit denen vergleichen, die wir unter den Klimabedingungen Norddeutschlands ermitteln. Da wir

Unkrautsaatgut benutzen, das in Norddeutschland gereift ist, prüfen wir auch den Einfluss der Herkunft der Samen.

Versuche

Der Versuch findet in Norddeutschland in Rostock (Mecklenburg-Vorpommern) statt. Die Jahresniederschläge betragen 590 mm.

Insgesamt sollen 13 Arten parametrisiert werden, die in Norddeutschland auftreten (Tab. 1). Es werden nur annuelle Unkräuter benutzt, da FlorSys bisher nicht für mehrjährige Arten geeignet ist. Es werden sowohl winter- als auch sommerannuelle Arten getestet. Die Arten wurden so ausgewählt, dass sechs Arten vertreten sind, für die in Dijon, Burgund, Frankreich die Parameter bereits vollständig ermittelt wurden, vier Arten die teilweise parametrisiert sind und drei Arten, die in Mecklenburg-Vorpommern wichtig sind, neu parametrisiert werden. Für die Untersuchung dieser Arten etablieren wir drei Versuchsansätze.

Der erste Ansatz ist die Erfassung der Basistemperatur für die Keimung. Sie gibt an, bis zu welcher Temperatur keine Keimung erfolgt. Die Samen der Arten werden dafür unter verschiedenen Temperaturen in einem Klimaschrank zum Keimen gebracht.

Der zweite Ansatz fokussiert das Jungpflanzenwachstum. Dafür werden die Arten ca. 20 Tage nach der Keimung im Gewächshaus in Töpfen kultiviert. Ziel ist es, die relative Wachstumsrate unter den Umweltbedingungen von Rostock zu bestimmen. Dafür fotografieren wir zweimal täglich jede Pflanze mit einer Digitalkamera von oben und von der Seite. Wir benutzen eine Bilderkennungssoftware, um die Bilder auszuwerten und die Blattfläche der Pflanzen zu ermitteln. Mit den Daten werden die Blattfläche nach dem Auflaufen und die relative Wachstumsrate im Jugendstadium berechnet.

Der dritte Versuchsansatz hat zum Ziel, morphologische Parameter der untersuchten Arten und ihre Veränderung unter Lichtkonkurrenz zu erfassen. Dafür werden die Arten bis zum Ende der Blüte unter Freilandbedingungen kultiviert. Die Hälfte der Pflanzen erfährt eine simulierte Lichtkonkurrenz durch ein Beschattungsmateriel mit 50 %iger Lichtdurchlässigkeit. In den Versuchen werden die Parameter Höhe, Durchmesser und Biomasse gemessen. Außerdem spielen auch für diesen Versuchsansatz regelmäßige Fotografien aller Pflanzen eine große Rolle, mit ihrer Hilfe werden Merkmale wie die Wachstumsraten der Pflanze und die Plastizität berechnet.

Tab. 1 In Norddeutschland wichtige annuelle Ackerunkrautarten, die in dieser Studie genutzt werden (eingeschätzt von Wissenschaftlern und Praktikern) und der Status ihrer Parametrisierung in FlorSys, F = voll, P = partiell, N = nicht parametrisiert.

Tab. 1 Presently most important annual arable weed species of Northern Germany used in the project (assessed from monitoring by scientists and practitioners) and status of their parameterization in FlorSys (F= full, P= partial, N= missing).

| Winterannuelle Arten | | |
|--------------------------------------|-------|---|
| Anchusa (= Lycopsis) arvensis | LYCAR | N |
| Apera spica-venti | APESV | N |
| Capsella bursa-pastoris | CAPBP | F |
| Centaurea cyanus | CENCY | P |
| Viola arvensis | VIOAR | P |
| Geranium dissectum | GERDI | F |
| Matricaria inodora | MATIN | P |
| Papaver rhoeas | PAPRH | P |
| Sisymbrium officinale | SSYOF | N |
| Sommerannuelle Arten | | |
| Amaranthus retroflexus | AMARE | F |
| Chenopodium album | CHEAL | F |
| Solanum nigrum | SOLNI | F |
| Echinochloa crus-galli | ECHCG | F |

Ausblick

Die Versuche zur Parameterschätzung von Unkräutern wurden 2015 erstmalig durchgeführt und werden in den Jahren 2016 und 2017 weitergeführt bzw. wiederholt. Mit den gewonnenen Daten wollen wir die Unkrautentwicklung anhand von Daten aus publizierten Langzeitversuchen simulieren und testen.

Literatur

- COLBACH, N., C. DÜRR, J. ROGER-ESTRADE, B. CHAUVEL und J. CANEIL, 2006: AlomySys: Modelling blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) germination and emergence, in interaction with seed characteristics, tillage and soil climate - I. Construction. *European Journal of Agronomy* **24**, 95-112.
- GARDARIN, A.N., M. MUNIER-JOLAIN und N. COLBACH, 2007: FLORSYS: un modèle des effets des systèmes de culture sur la démographie des adventices. AFPP – 20eme conférence du coloma journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes 289-293.
- LONCHAMP, J.P. und G. BARRALIS, 1998: Caractéristiques et dynamique des mauvaises herbes en région de grande culture: le Noyonnais (OISE). *Agronomie* **8**, 757-766.

Die Bedeutung der Temperatur für die Inaktivierung von Samen im Biogas-Reaktor

The importance of temperature in the inactivation of seeds in biogas reactors

Juliane Hahn^{1*}, David Parzych¹, Paula R. Westerman¹, Monika Heiermann², Bärbel Gerowitz¹

¹Universität Rostock, Phytomedizin, Satower Straße 48, 18051 Rostock,
juliane.hahn2@uni-rostock.de

²Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam

*Korrespondierende Autorin, juliane.hahn2@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.017

Zusammenfassung

Samen von Unkräutern können mit der Ernte von Biomasse oder Zufuhr von Dung in den Biogas-Reaktor gelangen. Alle Unkrautsamen, die auf diese Weise in die Biogas-Prozesskette gelangen und die anaerobe Vergärung überleben, können mit der Ausbringung des Gärrestes verbreitet werden. Die Inaktivierung der Samen im Biogas-Reaktor erfolgt hauptsächlich über die Temperatur. Im Vergleich von Labor-Biogas-Reaktor und Wasserbad haben wir den Einfluss der Temperatur auf das Überleben der Samen von einer hartschaligen und einer nicht-hartschaligen Art überprüft.

Von den Tomatensamen, die auch als Indikator für die Hygienisierung von Vergärungsanlagen genutzt werden, überlebten im Mittel nur 20 % die maximale Expositionszeit im Reaktor und im Wasserbad. Die Samen verloren ihre Vitalität im Reaktor schneller als unter ausschließlichem Temperatureinfluss. Die Vitalität der hartschaligen Art, *Melilotus albus*, sank bis zur maximalen Expositionszeit (12 Tage) auf etwa 70 % ab. Die Abnahme der Vitalität erfolgte gleichermaßen in Wasserbad und Reaktor.

Die Inaktivierung der Samen von *M. albus* beruhte hauptsächlich auf der Wirkung der Temperatur. Bei der Tomate waren auch andere Faktoren beteiligt. Die Tomate ist kein geeigneter Indikator-Organismus für die Inaktivierung von (hartschaligen) Pflanzensamen im Biogas-Reaktor.

Stichwörter: Biogas-Reaktor, Hartschaligkeit, Temperatur, Tomate, Wasserbad

Abstract

Weed seeds can enter the biogas reactor by the harvest of biomass or by animal manure. All seeds that enter the biogas process chain and survive anaerobic digestion can be spread with the digestate. The inactivation of seeds in the biogas reactor is mainly due to temperature. In comparison of a laboratory-scale biogas reactor and a water bath experiment, we tested the contribution of temperature in the inactivation of seeds from one hardseeded and one non-hardseeded species.

On average, as few as 20 % of the tomato seeds, which are used as an indicator species for the sanitation of fermentation plants, survived the maximum exposure time in the reactor and water bath. In the reactor the seeds lost their viability quicker than could solely be explained by temperature. Viability of the hardseeded species, *Melilotus albus*, declined to 70 % after the maximum exposure time of 12 days. The decline was similar in water baths and reactor.

Inactivation of *M. albus* seeds was mainly due to temperature. For tomato seeds, factors other than temperature must have contributed to inactivation. Tomato appears to be no appropriate indicator for inactivation of (hardseeded) seeds in biogas reactors.

Keywords: Biogas reactor, hardseededness, temperature, tomato, water bath

Einleitung

Mit der Ernte von Biomasse oder der Zufuhr von Dung gelangen auch Samen von Unkräutern in den Biogas-Reaktor. Mais für die Biogasproduktion wird gewöhnlich so früh geerntet, dass nicht alle Unkräuter die Möglichkeit zur Vermehrung haben. Dennoch fanden WESTERMAN et al. (2012A) neben Arten, die unterhalb der Schnitthöhe des Maises wuchsen und nur wenige Samen produzierten, auch hochwachsende, viele Samen produzierende Arten, deren Fruchtstände größtenteils oberhalb der Schnitthöhe lagen. Es handelte sich hauptsächlich um *Chenopodium album* (L.) und *Echinochloa crus-galli* (L.) P. BEAUV. Alle Unkrautsamen, die auf diese Weise in die Biogas-Prozesskette gelangen und die anaerobe Vergärung überleben, können mit der Ausbringung des Gärrestes verbreitet werden.

Während der mesophilen Vergärung im Biogasreaktor herrschen ein dunkles, feuchtes und anaerobes Milieu bei Temperaturen zwischen 20 und 40 °C sowie pH-Werte, die zwischen 6,8 und 8 liegen. Neben Wasser, Methan und Kohlenstoffdioxid tritt eine Vielzahl von Substanzen in Biogasreaktoren auf z. B. Enzyme, organische Säuren, Alkohole, Schwefelwasserstoff-Verbindungen, Cyanide und Ammoniak. Zusätzlich werden die Samen bei ihrem Eintritt in den Reaktor von einem Biofilm aus Bakterien, Archen und Protisten besiedelt. Pflanzensamen im Biogasreaktor können demzufolge auf thermischem, biologischem und chemischem Wege inaktiviert werden (WESTERMAN und GEROWITT, 2013).

Pflanzensamen unterscheiden sich stark in ihrer Fähigkeit, die extremen Bedingungen in Biogas-Anlagen zu überleben (WESTERMAN et al., 2012). Die Temperatur gilt hierbei als der wichtigste Parameter, von dem das Überleben der Samen abhängt (WESTERMAN und GEROWITT, 2013). Die sogenannte Thermoresistenz der Samen ist daher von besonderer Bedeutung. Die Thermoresistenz hängt stark vom Wassergehalt der Samen ab. In der mesophilen, anaeroben Vergärung liegt die Temperatur bei 20 °C oder höher und die Samen sind vollständig wassergesättigt (Wassergehalt > 20 %). Solange die Temperaturen nicht zu hoch sind ($T = 20 - 35$ °C), können vollständig wassergesättigte Samen einige Zeit überleben, wenn sie nicht keimen oder verrotten (z.B. VILLIERS, 1974; MURDOCH und ELLIS, 2000). Bei höheren Temperaturen ($T > 35$ °C) nimmt ihre Lebensfähigkeit exponentiell mit der Zeit ab (ECONOMOU et al. 1998; DAHLQUIST et al., 2007; WESTERMAN et al., 2012C). Im Allgemeinen gilt: je höher die Temperatur, desto kürzer die Zeitspanne bis zur thermischen Inaktivierung (WESTERMAN und GEROWITT, 2013).

Es gibt allerdings Mechanismen und Bestandteile, die den Effekt von hohen Temperaturen auf die Sameninaktivierung modifizieren können. In einer Literaturstudie identifizierten WESTERMAN und GEROWITT (2013) Unkrautarten mit harten Samen (physikalische Dormanz), hoher Thermoresistenz, einer dicken Samenschale oder mit Anpassungen an Endozoochorie als Hochrisiko-Arten für das Überleben in Biogasreaktoren. Einen Spezialfall stellen hier solche Samen dar, die über eine wasserundurchlässige Schicht in ihrer Samenschale verfügen (ROLSTON, 1978) und nachweislich ungewöhnlich widerstandsfähig gegenüber anaerober Vergärung sind. Diese Samen werden als „hartschalig“ bezeichnet und sind weniger anfällig für Hitze-Stress, weil sie kein Wasser aufnehmen, nicht quellen und nicht weich werden wie „nicht-hartschalige“ Samen (WESTERMAN und GEROWITT, 2013). Hartschaligkeit findet sich oft bei den *Fabaceae*, wurde aber auch bei *Convolvulaceae*, *Geraniaceae*, *Malvaceae* und *Solanaceae* beobachtet (ROLSTON, 1978; BASKIN et al., 2000; MURDOCH und ELLIS, 2000).

In dieser Pilotstudie wollten wir den Einfluss der Temperatur auf die Inaktivierung von Pflanzensamen im Biogasreaktor quantifizieren. Dazu haben wir die Überlebenswahrscheinlichkeit der Samen von zwei Arten während der anaeroben Vergärung bei 42 °C im Labormaßstab bestimmt. Um den alleinigen Einfluss der Temperatur auf das Überleben der Samen zu ermitteln, wurden sie zusätzlich in einem Wasserbad bei 42 °C inkubiert.

Material und Methoden

Pflanzensamen

Als Testorganismen haben wir die Tomate und eine Art aus einer Pflanzenfamilie mit bekannter Hartschaligkeit gewählt. Das erlaubte uns, zusätzlich zu überprüfen, wie gut die Samen der Tomate als Indikator für die Phytohygienisierung in der mesophilen anaeroben Vergärung geeignet sind.

Tomatensamen (Sorte St. Pierre) (*Lycopersicon esculentum* (L.)) wurden als Präzisionsaatgut von Bingenheimer Saatgut AG (Echzell-Bingenheim, Deutschland) bezogen. Als Beispielart für hartschalige Samen diente in dieser Studie ein Vertreter der Familie der *Fabaceae*, der Weiße Steinklee (*Melilotus albus* (L.)). Die Samen von *M. albus* wurden von Appels Wilde Samen GmbH (Darmstadt, Deutschland) bezogen.

Überlebenswahrscheinlichkeit bei 42 °C in Biogas-Reaktoren im Labormaßstab

Die kontinuierlich durchmischten Laborreaktoren (Arbeitsvolumen 8l) wurden mit einer Mischung aus Maissilage und Rindergülle betrieben. Die Vergärungstemperatur in den Reaktoren lag mit 42 °C im oberen mesophilen Bereich. Abhängig von der Expositionszeit wurden 100, 200 oder 300 Samen pro Art in feinmaschige Polyester-Beutel eingenäht (WESTERMAN et al., 2012B) und am Rührer der Reaktoren befestigt. Die Samen wurden der anaeroben Vergärung bei 42 °C in vier Replikaten für 1, 3, 6 oder 9 Tage ausgesetzt. Nach den unterschiedlichen Expositionszeiten wurde die Lebensfähigkeit der Samen wie bei WESTERMAN et al. (2012B) beschrieben durchgeführt. Zusammengefasst: Die Samen wurden für 2 min mit 1 % NaOCl-Lösung oberflächensterilisiert, drei Mal in destilliertem Wasser gespült und auf „Diasporen-Agar“ ausgelegt. Die Keimungsraten der Samen wurden 21 Tage lang überprüft. Die Lebensfähigkeit der Samen, die in den 21 Tagen nicht keimten, wurde mittels Tetrazolium-Färbung getestet. Als Kontrolle wurde die Keim- und Lebensfähigkeit der Samen, die nicht der anaeroben Vergärung ausgesetzt wurden, bestimmt. Dazu wurden sie zwei Tage vor Beginn der Tests im Dunkeln angequollen. Die Anzahl der gekeimten und lebensfähigen Samen wurde zur Bestimmung des Anteils vitaler Samen addiert.

Überlebenswahrscheinlichkeit bei 42 °C im Wasserbad

Um den Einfluss der Temperatur auf die Überlebenswahrscheinlichkeit der Samen während der anaeroben Vergärung zu quantifizieren, wurden Samen in Präzisionswasserbädern (WB-6, Firma witeg Labortechnik GmbH, Wertheim, Deutschland) bei 42 °C inkubiert. Die Wasserbäder waren auf 0.1 °C genau regelbar. Die Samen wurden für 2 min mit 1 % NaOCl-Lösung oberflächensterilisiert, drei Mal in destilliertem Wasser gespült und mit 2 ml 0.5M Puffer (HEPES, pH 7.0) in Reagenzgläser gegeben. Die Reagenzgläser wurden für 1, 3, 6, 9 und 12 Tage inkubiert. Pro Art und Expositionszeit wurden je acht Replikate mit 50 Samen untersucht. Nach den verschiedenen Expositionszeiten wurde die Lebensfähigkeit der Samen mittels Tetrazolium-Färbung bestimmt.

Statistische Analyse

Für die Modellierung des nicht-linearen Zusammenhangs zwischen Expositionszeit („dose“) und Vitalität der Samen („response“), wurde das Paket „Dose-response-curves“ (drc, Version 2.5-12, RITZ und STREIBIG, 2015) für R (Version 3.2.1) verwendet.

Mittels der Funktion „mselect“ wurde ein Ausgangsmodell mit verschiedenen anderen Modellen verglichen. Die Art wurde als Gruppenvariable gesetzt. Als das bestangepasste Modell wurde das gewählt, welches den kleinsten AIC Wert und Standardfehler der Residuen, sowie den größtmöglichen lack-of-fit-Wert aufwies. Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Parametern wurden mit Funktion „compParm“ festgestellt. Außerdem wurden ED₅₀- und ED₉₀-Werte berechnet, die die Zeit angeben, nach der laut Modellierung 50 % bzw. 90 % der Samen bei 42 °C abgestorben wären.

Ergebnisse

Tomatensamen

Die Vitalität der Tomatensamen im Biogasreaktor sank innerhalb der ersten drei Tage rapide auf 20 %. In den folgenden sechs Tagen verblieb sie entweder auf diesem Niveau oder die Samen starben vollständig ab. Im Wasserbad war der Verlauf umgekehrt: in den ersten drei Tagen nahm die Vitalität kaum ab und sank bis zur maximalen Expositionszeit von 12 Tagen auf Werte zwischen 0 % und 40 % (Abb.1A).

Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Tomatensamen in Abhängigkeit von der Expositionszeit bei 42 °C wurde mit der vier-parametrischen Weibull-Funktion modelliert, die definiert ist als: $f(x) = c + (d - c) \exp(-\exp(b(\log(x) - \log(e))))$. Die einzelnen Parameterwerte sind in Tabelle 1 angegeben. Im

Vergleich der Modellparameter zwischen Wasserbad und Reaktor unterschieden sich c (untere Asymptote) und e (Wendepunkt der Kurve) signifikant. Entsprechend der Modellierung lagen die ED₅₀-Werte bei 8,7 Tagen im Wasserbad und 1,6 Tagen im Reaktor. Die ED₉₀ Werte lagen bei 13,9 Tagen im Wasserbad und 11,8 Tagen im Reaktor.

Samen von *M. albus*

Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Samen von *M. albus* war im Reaktor und Wasserbad verhältnismäßig ähnlich. Bis zur maximalen Expositionszeit von 12 Tagen sank sie auf ca. 70 % ab (Abb. 1B).

Das beste Modell zur Berechnung der Überlebenswahrscheinlichkeit von *M. albus* war ebenfalls die Weibull-Funktion mit drei Parametern und mit fester unterer Asymptote (c) bei 0 % (Tab. 1). Die Koeffizienten beider Modelle unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die Modellierung ergab eine ED₅₀ von 83 Tagen im Reaktor und 171 Tagen im Wasserbad. Als ED₉₀ Werte wurden 7 Jahre im Reaktor und 547 Jahre im Wasserbad berechnet.

Tab. 1 Mittlere geschätzte Parameterwerte (± Standardfehler) der Weibull-Modelle für die Überlebenswahrscheinlichkeit von Tomate (*L. esculentum*) und Weißem Steinklee (*M. albus*) in Abhängigkeit von der Expositionszeit bei 42 °C im Wasserbad und im Labor-Biogass-Reaktor.

Tab. 1 Mean parameter estimates (± standard errors) of the Weibull models for the survival probability of tomato (*L. esculentum*) and White sweet clover (*M. albus*) as a function of exposure time at 42 °C in water baths and in laboratory-scale biogas reactors, respectively.

| Art | Behandlung | Modell | Parameterwerte | | | | | | | |
|----------------------|------------|--------|----------------|-------|--------|----------|--------|-------|--------|----------|
| | | | b | c | | d | | e | | |
| <i>L. esculentum</i> | Wasserbad | W1.4 | 2,10 | ± 0,4 | -69,04 | ± 104,6* | 100,54 | ± 2,7 | 14,69 | ± 6,4* |
| | Reaktor | W1.4 | 1,84 | ± 0,3 | 10,89 | ± 3,1 | 97,72 | ± 2,8 | 1,98 | ± 0,2 |
| <i>M. albus</i> | Wasserbad | W1.3 | 0,18 | ± 0,1 | 0 | | 91,95 | ± 5,6 | 2566,8 | ± 3258,7 |
| | Reaktor | W1.3 | 0,40 | ± 0,3 | 0 | | 86,76 | ± 2,1 | 371,38 | ± 1035,8 |

W1.4 = vier-parametrische Weibull-Funktion; 4-parameter Weibull function

W1.3 = vier-parametrische Weibull-Funktion mit fester unterer Asymptote (c); 4-parameter Weibull function with fixed lower limit (c)

b = Steigung; slope

c = untere Asymptote; lower limit

d = obere Asymptote; upper limit

e = Wendepunkt der Kurve; inflection point

* signifikante Unterschiede zwischen den Parametern für Tomatensamen in Wasserbad und Biogas-Reaktoren; indicates significant differences between the parameter estimates for tomato seeds in water baths and biogas reactors

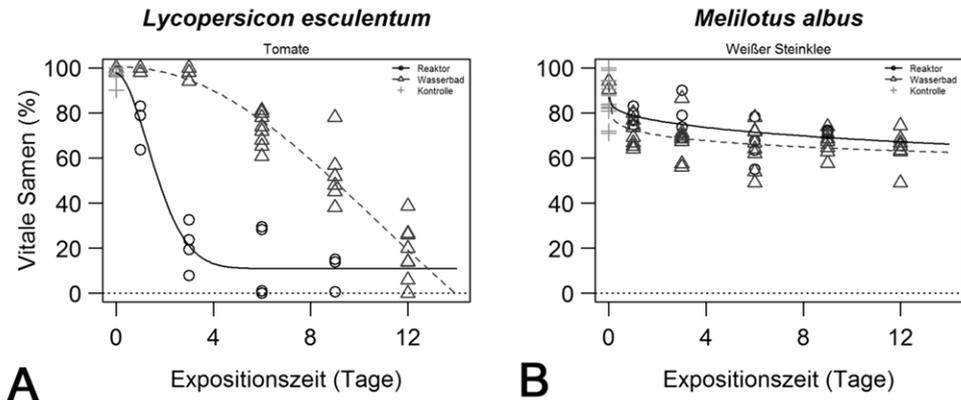


Abb. 1 Überlebenswahrscheinlichkeit der Samen von *L. esculentum* (A) und *M. albus* (B) bei 42 °C über 12 Tage im Wasserbad (Dreiecke) oder 9 Tage in der anaeroben Vergärung im Biogas-Reaktor im Labormaßstab (Kreise). Die gestrichelte und die durchgezogene Linie sind die gefitteten dose-response-Modelle.

Fig. 1 Probability of survival of seeds from *L. esculentum* (A) and *M. albus* (B) at exposure to 42 °C for 12 days in water baths (triangles) and 9 days at laboratory-scale anaerobic digestion (circles), respectively. The dotted and solid lines are the fitted dose-response-models.

Diskussion

Temperatureffekt und Modellierung

Die Samen der Tomate verloren ihre Vitalität im Reaktor innerhalb der ersten drei Tage schneller als im Wasserbad. Auch im Vergleich der Modelle war der Unterschied zwischen reinem Temperatureinfluss (= Wasserbad) und Reaktor sichtbar: Die Wendepunkte waren signifikant verschieden voneinander. Die Reduktion der Vitalität setzte unter alleinigen Einfluss der Temperatur später ein, was sich auch in den ED₅₀-Werten niederschlägt (1,6 Tage im Reaktor vs. 8,7 Tage im Wasserbad). Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass bei der Inaktivierung von Tomatensamen im Biogas-Reaktor die Temperatur nicht der Hauptfaktor ist, sondern auch chemische und/oder biologische Prozesse eine Rolle spielen (WESTERMAN und GEROWITT, 2013). Der ED₉₀-Wert lag im Labor-Reaktor mit 11,8 Tagen viel höher als die 2,0 ± 1,8 Tage, die in Praxis-Biogas-Anlagen bei 41 °C ermittelt wurden (WESTERMAN et al., 2012C). Allerdings betonen WESTERMAN et al. (2012C) schon in ihrer Studie, dass Labor-Reaktoren nicht notwendigerweise ein gutes Modellsystem für Praxis-Biogas-Anlagen darstellen.

Die Abnahme der Vitalität der Samen von *M. albus* erfolgte fast deckungsgleich in Reaktor und Wasserbad. Auch die Modelle zur Überlebenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Expositionszeit unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Offenbar war hier die Temperatur der entscheidende Faktor für Inaktivierung der Samen im Reaktor.

Wir möchten erwähnen, dass die Extrapolation der genutzten Modelle über den Messzeitraum hinaus fraglich ist. Deutlich wird diese Limitation in den errechneten ED₉₀-Werten für *M. albus*. Laut des Modells, das mit einer maximalen Expositionszeit von 12 Tagen erstellt wurde, würde es 547 Jahre dauern, um die 90 % der *M. albus* Samen im Wasserbad bei 42 °C zu inaktivieren. Das ist unrealistisch. Selbst in der Bodensamenbank, wo sie nicht permanent hohen Temperaturen ausgesetzt sind, bleiben nur wenige Samen weniger Arten länger als 100 Jahre keimfähig (THOMPSON et al., 1997). Mehr Messwerte in der Zeit wären notwendig, um die für hartschalige Arten zu erwartende, doppelt exponentielle Absterbedynamik (WESTERMAN et al., 2012C) plausibel modellieren zu können.

Tomate als Indikator-Organismus

In den Untersuchungen von WESTERIK und KLEIZEN (2006) und STRAUB et al. (2012) waren die Samen der Tomate widerstandsfähiger gegenüber der mesophilen, anaeroben Vergärung als die meisten der getesteten Arten. Dies führte zu der Annahme, dass Tomatensamen sich als Indikator-Organismus für die Phytohygiene von Gärresten eignen würden. In Deutschland wird zum Nachweis der phytohygienischen Unbedenklichkeit von Vergärungs- und Kompostierungsanlagen - laut der BioAbfV 1998 - die Tomate als Hygiene-Leitorganismus genutzt. Der Grenzwert im Biotest beträgt $\leq 2\%$ keimfähige Samen je Prüfbereich. In unserer Studie überlebten die Samen von *M. albus* sowohl die Vergärung im Labormaßstab als auch die Exposition im Wasserbad viel besser als die der Tomate. Zudem entwickelte sich die Überlebenswahrscheinlichkeit beider Arten in Abhängigkeit von der Expositionszeit unterschiedlich (unterschiedliche Modelle). Während *M. albus* im Reaktor vermutlich vorrangig durch den Einfluss der Temperatur inaktiviert wurde, waren die Tomatensamen auch für andere Faktoren anfällig. Damit ist die Tomate - in Übereinstimmung mit SCHRADER et al. (2003) und WESTERMAN et al. (2012B, C) - laut unseren Ergebnissen kein geeigneter Indikator-Organismus für die Phytohygienisierung des Gärrestes im Biogas-Prozess. Um die Wirkung der Temperatur im Biogasreaktor auf die Inaktivierung von Pflanzensamen und damit das Risiko einer Kontamination des Gärrestes abschätzen zu können, sollte die systematische Forschung zur Überlebensfähigkeit von Unkräutern aus verschiedenen taxonomischen und funktionellen Gruppen in der anaeroben Vergärung fortgesetzt werden (WESTERMAN und GEROWITT, 2013).

Danksagung

Diese Studie wurde gefördert durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (FKZ 22401114).

Literatur

- BASKIN J.M., C.C. BASKIN und X. LI, 2000: Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy in seeds. *Plant Species Biology* **15**, 139-152.
- BMU - BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT im Einvernehmen mit dem BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN UND DEM BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT, 1998: Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. Bioabfallverordnung - BioAbfV. BMU, Berlin, 58 S.
- DAHLQUIST R.M., T.S. PRATHER und J.J. STAPLETON, 2007: Time and temperature requirements for weed seed thermal death. *Weed Science* **55**, 619-625.
- DASTGHEIB, F., 1987: Relative importance of crop seed, manure and irrigation water as sources of weed infestation. *Weed Research* **29**, 113-116.
- ECONOMOU G., G. MAVROGIANNOPOULOS und E.A. PASPATIS, 1998: Weed seed responsiveness to thermal degree hours under laboratory conditions and soil solarization in greenhouse. In: J.J. Stapleton, JE DeVay, C Elmore (Hrsg.). *Soil solarization and integrated management of soilborne pests*, 246-263. Rome, Food Agriculture Organization of the United Nations.
- MURDOCH, A.J. und R.H. ELLIS, 2000: Dormancy, viability and longevity. In: M. Fenner (Hrsg.). *Seeds, the ecology of regeneration in plant communities*, ed 2, 183-214. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- RITZ, C. und J.C. STREIBIG, 2015. R package "drc". (<http://bioassay.dk/>)
- ROLSTON, M.P., 1978: Water impermeable seed dormancy. *Botanical Review* **44**, 365-396.
- SCHRADER, S., H. OECHSNER, C. PEKRUN und W. CLAUPEIN, 2003: Einfluss des Biogasprozesses auf die Keimfähigkeit von Samen. *Landtechnik* **58**, 90-91
- STRAUB, G., T. KAPLAN und T. JACOBI, 2012: Keimfähigkeit von Samen verschiedener (gentechnisch veränderter) Nutzpflanzen in Abhängigkeit von Prozessparametern und Verweildauer in einer Biogasanlage. *Journal of Consumer Protection and Food Safety* **7**, 19-25.
- THOMPSON, K., J.P. BAKKER und R.M. BEKKE, 1997: *The soil seed banks of North West Europe: methodology, density and longevity*. New York: Cambridge University Press. 276 S.
- VILLIERS T.A., 1974: Seed aging: chromosome stability and extended viability of seeds stored fully imbibed. *Plant Physiology* **53**, 857-878.
- WESTERIK, M. und R. KLEIZEN, 2006: Onderzoek sanitatie tijdens anaërobe vergisting ter bestrijding van onkruidzaden en ziektekiemen. HoSt Bio-energy installations BV, Hengelo.
- WESTERMAN P.R. und B. GEROWITT, 2012A: The probability of maize biomass contamination with weed seeds. *Journal of Plant Diseases and Protection* **119**, 68-73.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

WESTERMAN P.R., F. HILDENBRANDT und B. GEROWITT, 2012B: Weed seed survival following ensiling and mesophilic anaerobic digestion in batch reactors, *Weed Research* **52**, 286-295.

WESTERMAN, P.R., M. HEIERMANN, U. POTTBERG, B. RODEMANN und B. GEROWITT, 2012C: Weed seed survival during mesophilic anaerobic digestion in biogas plants. *Weed Research* **52**, 307-316.

WESTERMAN, P.R. und B. GEROWITT, 2013: Weed seed survival during anaerobic digestion in Biogas Plants. *Botanical Review* **79**, 281-316.

Unkrautaufbau auf langjährig nicht mit Herbiziden behandelten Ackerflächen - Dauer der Nachwirkung

Weed emergence on long years' not herbicide treated fields - duration of the after-effects

Jürgen Schwarz*, Bernhard Pallutt

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen,
Institut für Strategien und Folgenabschätzung,
Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow
*Korrespondierender Autor, juergen.schwarz@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.018

Zusammenfassung

In einem Dauerfeldversuch wurden 12 Jahre lang (von 1996 bis 2007) Versuchspartzen nicht mit Herbiziden behandelt. Der Versuch war mit zwei unterschiedlichen Fruchtfolgen, Marktfruchtbau mit 66 % Getreide und Futterbau mit 50 % Getreide in der Fruchtfolge, untersetzt. Gleichzeitig wurden in jeder Fruchtfolge zwei verschiedene Pflanzenschutzstrategien durchgeführt.

Seit dem Herbst 2007 werden die ehemals unbehandelten Versuchspartzen wieder mit Herbiziden behandelt, die Fruchtfolge wurde vereinheitlicht. In diesem Dauerfeldversuch sind auch Partzen, die seit Versuchsbeginn immer mit Herbiziden behandelt wurden. Der Vergleich des Aufbaus der dikotylen Unkräuter, erfasst nach Art und Anzahl vor der Herbizidbehandlung, zeigt, dass die Nachwirkungen der ehemals nicht mit Herbiziden behandelten Versuchspartzen auch nach acht Jahren anhalten, die Aufbaufzahlen sind höher. Auch die Unterschiede in den ehemals unterschiedlichen Fruchtfolgen sind noch deutlich erkennbar. Bei der Pflanzenschutzstrategie mit den geringeren Herbizidaufwandmengen verwischen sich die Unterschiede nun.

Stichwörter: Dauerfeldversuch, Fruchtfolge, Pflanzenschutzstrategie, unbehandelte Kontrolle

Abstract

In a long-term field trial plots were not treated with herbicides for 12 years (from 1996 to 2007). Two different crop rotations with 50% or 66% of cereals in the rotation were tested. At the same time in each crop rotation two different plant protection strategies were established.

Since autumn 2007 the former controls not sprayed with any herbicide have been treated with herbicides. The crop rotation was unified. In that long-term field trial plots always treated with herbicides exist also. Weeds were counted by number and species before herbicide treatments. The comparison of these two different plots (treated and untreated) shows what after-effect exists on the formerly untreated plots even after eight years. The emergence of weeds is still higher. Also the different crop rotations are still perceptible. For the plant protection strategy with the lower herbicide amounts the differences blur now.

Keywords: Crop-rotation, long-term field trial, plant protection strategy, untreated control

Einleitung

Die Zusammensetzung und die Dichte der Unkräuter auf Ackerflächen sind von vielen Faktoren abhängig. In der Literatur werden unter anderem Bodeneigenschaften (DUNKER und NORDMEYER, 1998) und Düngung (ZWERGER, 1990) und die Bodenbearbeitung (AMANN, 1991; SCHWARZ und PALLUTT, 2014) genannt. Einen wesentlichen Einfluss hat auch die Intensität der Unkrautbekämpfung sowohl auf die aktuelle Verunkrautung als auch auf zukünftige. Besonders bei der chemischen Unkrautbekämpfung wird dies beobachtet (GEHRING et al., 2006; SCHWARZ und MOLL, 2010). Die langfristigen Nachwirkungen unterschiedlicher Herbizidintensitäten können nur durch Dauerfeldversuche sicher bewertet werden (PALLUTT, 2010). Von besonderem Interesse sind die Nachwirkungen bei völligem Verzicht auf chemische Unkrautbekämpfung. Im Folgenden werden diese Nachwirkungen anhand eines Dauerfeldversuchs beschrieben.

Material und Methoden

Der Dauerfeldversuch befindet sich auf der Versuchsfläche Dahnsdorf des Julius Kühn-Instituts. Das Versuchsfeld befindet sich im südlichen Brandenburg (52.108494 N, 12.636338 E), Naturraum

Hoher Fläming, nahe der Stadt Bad Belzig. Die Versuchsfläche hat einen lehmigen Sandboden mit 57,9 % Sand, 37,5 % Schluff und 4,6 % Ton, der pH-Wert ist bei 5,8. Die mittlere Bodenwertzahl liegt im Durchschnitt bei 48 Punkten. Auf dem Versuchsfeld wird eine eigene Wetterstation betrieben. Die dort gemessenen Werte der mittleren Jahrestemperatur und des mittleren Jahresniederschlags betragen 9,4 °C und 598 mm im Zeitraum von 1997 bis 2014. Für die Region ist eine häufige Vorsommertrockenheit typisch. Der Versuchsstandort dürfte für ungefähr 1/3 der Ackerflächen der neuen Bundesländer charakteristisch sein.

Der Dauerfeldversuch wurde im Herbst 1995 mit zwei unterschiedlichen Fruchtfolgen, einer Marktfruchtfolge mit 67 % Getreide und einer Futterbaufuchtfolge mit 50 % Getreide, angelegt. In beiden Fruchtfolgen wurden die Pflanzenschutzstrategien „Situationsbezogen“ und „50 % von Situationsbezogen“ und jeweils die vier Pflanzenschutzmittelstufen unbehandelte Kontrolle (UK), Fungizid (F), Herbizid (H) und Herbizid und Fungizid (HF) untersucht. Zu detaillierten Beschreibungen des Versuchs siehe PALLUTT et al. (2010).

Zum Erntejahr 2008, also im Herbst 2007 wurde der Dauerfeldversuch neu ausgerichtet, die beiden Fruchtfolgen wurden zu einer Fruchtfolge vereinheitlicht, diese bestand für diese Rotation (2008 bis 2013) aus Wintererbsen – Winterweizen – Winterroggen – Grünschnittroggen/Sorghum-Hirse – Erbsen – Triticale. Die Pflanzenschutzstrategie „Situationsbezogen“ wurde zur „Guten fachlichen Praxis (GFP)“, die „50 % von Situationsbezogen“ zum „Integrierten Pflanzenschutz (IPS)“. Dabei erfolgte bei der „Guten fachlichen Praxis (GFP)“ die Auswahl der Pflanzenschutzmittel praxisüblich unter Einbeziehung der Hinweise des amtlichen Pflanzenschutzdienstes. Beim „Integrierten Pflanzenschutz (IPS)“ erfolgte eine stärkere Berücksichtigung von Schwellenwerten, eine situationsbezogene Dosierung und ein- bzw. mehrfache Anwendung reduzierter Aufwandmengen (Splitting).

In beiden Strategien „GFP“ und „IPS“ werden die Nachwirkungen aus den vorgehenden 12 Jahren der vier Pflanzenschutzmittelstufen (UK, H, F und HF) ermittelt. Aus der Stufe „UK“ wurde die Stufe „H1“, hier erfolgt seit Herbst 2007 der Einsatz von Herbiziden, nachdem 12 Jahre lang auf Herbizide verzichtet wurde. Jedoch wird weiterhin auf den Einsatz von Fungiziden im Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen verzichtet. Die ehemalige Stufe „F“ wurde zu „HF1“, hier erfolgte bis Herbst 2007 ebenfalls kein Einsatz von Herbiziden, jedoch wurden Fungizide in Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen eingesetzt. Seit Herbst 2007 werden hier Herbizide ausgebracht und weiterhin auch Fungizide in Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen. Die Stufen „H“ und „HF“ erfuhren seit Versuchsbeginn keine Änderung. In der Stufe „H“ sind immer Herbizide, jedoch keine Fungizide im Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen appliziert worden. In der Stufe „HF“ wurden seit Versuchsbeginn Herbizide und auch Fungizide im Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen eingesetzt.

Der Faktor Grundbodenbearbeitung wird seit Herbst 2007 in den Stufen „gepflügt (wendend)“ und „pfluglos (nichtwendend)“ mit jeweils 5 Wiederholungen durchgeführt. Abbildung 1 zeigt die Strategien und Stufen und deren Überführung.

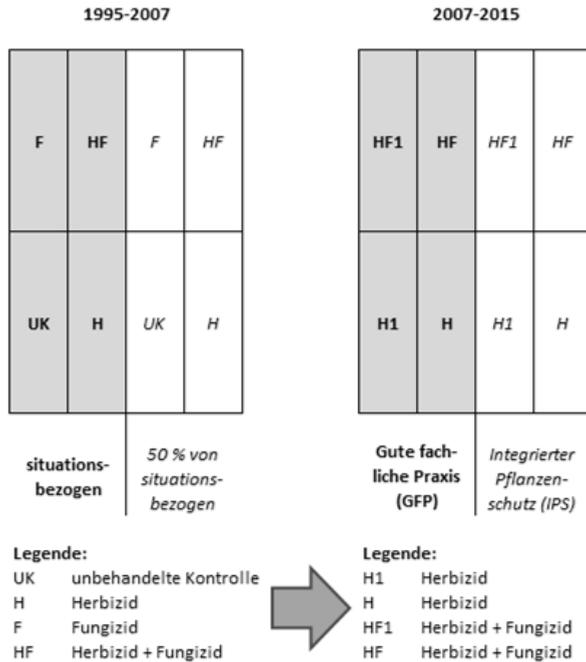


Abb. 1 Pflanzenschutzstrategien und Pflanzenschutzmittelstufen von 1995 bis 2007 und Modifizierung seit 2007.

Fig. 1 Plant protection strategies and the pesticide treatments from 1995 to 2007 and modifications since 2007.

Aufgrund der Änderungen im Pflanzenschutzrecht zum 01.01.2014 (Verbindlichkeit der allgemeinen Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes) wurden die beiden Pflanzenschutzstrategien angepasst. Ab dem Erntejahr 2014 wurden aus der „Guten fachlichen Praxis (GFP)“ die „Allgemeinen Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (GFP)“, aus der Strategie „Integrierter Pflanzenschutz (IPS)“ wurden die „Sektor- und Kulturartspezifischen Leitlinien des Integrierten Pflanzenschutzes (IPS)“. Die Pflanzenschutzmittelstufen blieben unverändert. Auch wurde die Fruchtfolge in diesem Zug leicht modifiziert, in der Strategie IPS werden, sofern vorhanden, auch resistente Sorten angebaut. Die Fruchtfolge ab dem Erntejahr 2014 stellt sich wie folgt dar:

- GFP: Winterraps – Winterweizen – Winterroggen – Silomais – Erbsen – Wintergerste
- IPS: Winterraps – Winterweizen – Winterroggen – Grünschnittroggen/Silomais – Erbsen – Triticale.

Nach der Ernte wird für jede Kulturart jährlich entschieden, ob eine Stoppelbehandlung der pfluglosen Wiederholungen mittels Glyphosat erfolgt. Auch die Aufwandmenge wird den herrschenden Gegebenheiten angepasst.

Vor der Herbizidbehandlung wird in jeder Versuchsparzelle der Unkrautauflauf nach Art und Anzahl an vier Zählstellen mit jeweils 0,25 m² Größe erfasst. Dies erfolgt meist im Herbst, teilweise bei Weizen auch im Frühjahr.

Nur die immer mit Herbiziden behandelten Varianten „H“ und „HF“ werden im Folgenden zusammengefasst betrachtet.

Für die Darstellung des Unkrautauflaufs wird ein Mittelwert der Kulturarten Triticale, Winterweizen, Winterroggen und seit 2014 auch Wintergerste berechnet. Durch diese Mittelwertbildung wird die Anzahl der Versuchspartellen vergrößert und die Aussagesicherheit,

besonders vor dem Hintergrund der heterogenen Unkrautverteilung auf Ackerflächen (vgl. z. B. MORTENSEN et al., 1993; NORDBO und CHRISTENSEN, 1995), erhöht.

Ergebnisse

Die Auswertung der Nachwirkungen der ehemals unbehandelten Varianten („H1“ und „HF1“) ist unter verschiedenen Gesichtspunkten möglich. Im Folgenden werden die Auflaufzahlen der dikotylen Unkräuter getrennt nach der ehemaligen Fruchtfolge im Vergleich zu den immer mit Herbiziden behandelten Varianten „H“ und „HF“ dargestellt. Die Art der Bodenbearbeitung (wendend und nichtwendend) wurde hier nicht separat, sondern zusammengefasst betrachtet.

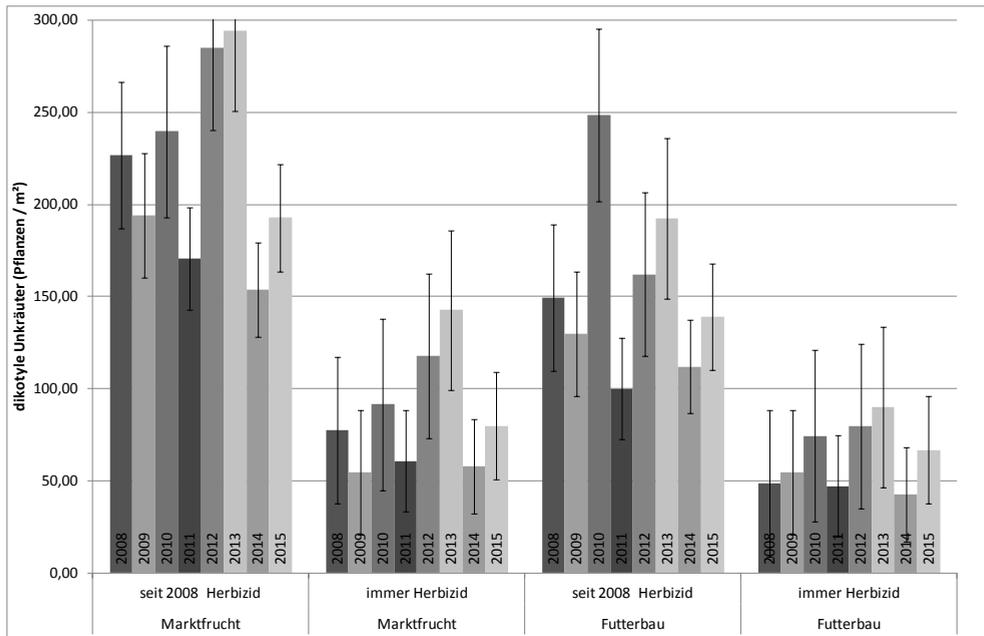


Abb. 2 Auflauf dikotyler Unkräuter in Abhängigkeit der Herbizidbehandlung und vorherigen Fruchtfolge in der Pflanzenschutzstrategie „GFP“.

Fig. 2 Emergence of dicotyledonous weeds in dependency on herbicide treatment and former crop rotation for the strategy "GFP".

Die Abbildung 2 zeigt den Auflauf der dikotylen Unkräuter in der Pflanzenschutzstrategie „GFP“. Die Unterschiede zwischen den ehemals unbehandelt Varianten („seit 2008 Herbizid“) und den immer mit Herbiziden behandelten Varianten sind deutlich sichtbar, auch nach acht Jahren der Umstellung. Dies gilt sowohl für die ehemalige Marktfruchtfolge, als auch die ehemalige Futterbaufruchtfolge.

Betrachtet man die ehemaligen Fruchtfolgen, so ist der Auflauf dikotyler Unkräuter in der ehemaligen Futterbaufruchtfolge noch immer etwas geringer als in der ehemaligen Marktfruchtfolge. Dies trifft sowohl für die ehemals unbehandelten Varianten („seit 2008 Herbizid“) und die immer mit Herbiziden behandelten Varianten zu. Einzige Ausnahme ist das Jahr 2010, hier lag der Unkrautauflauf in der ehemaligen Marktfruchtfolge in der Variante „seit 2008 Herbizid“ mit 239,6 Pflanzen/m² geringfügig unter dem Unkrautauflauf in der ehemaligen Futterbaufruchtfolge in der Variante „seit 2008 Herbizid“ mit 248,4 Pflanzen/m².

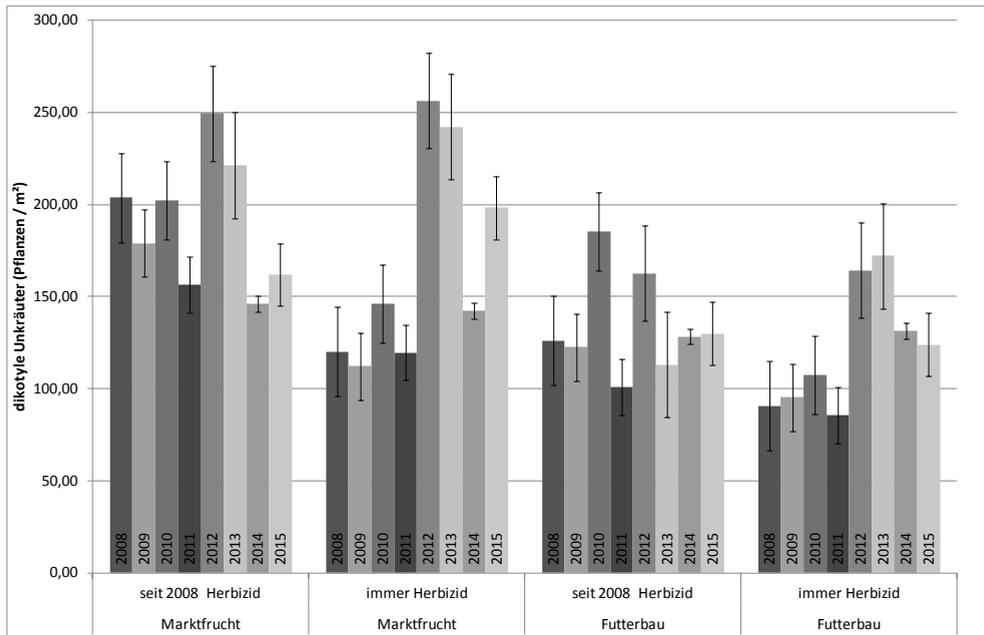


Abb. 3 Auflauf dikotyler Unkräuter in Abhängigkeit der Herbizidbehandlung und vorherigen Fruchtfolge in der Pflanzenschutzstrategie „IPS“.

Fig. 3 Emergence of dicotyledonous weeds in dependency on herbicide treatment and former crop rotation for the strategy "IPS".

Die Abbildung 3 zeigt den Auflauf der dikotylen Unkräuter in der Pflanzenschutzstrategie „IPS“. Die Unterschiede zwischen den ehemals unbehandelten Varianten („seit 2008 Herbizid“) und den immer mit Herbiziden behandelten Varianten sind sichtbar, auch nach acht Jahren der Umstellung. Dies gilt sowohl für die ehemalige Marktfruchtfolge als auch die ehemalige Futterbaufruchtfolge. Allerdings auf einem anderen Niveau als in der Strategie „GFP“ (Abb. 2).

Betrachtet man die ehemaligen Fruchtfolgen, so ist der Auflauf dikotyler Unkräuter in der ehemaligen Futterbaufruchtfolge noch immer etwas geringer als in der ehemaligen Marktfruchtfolge. Wobei sich in der ehemaligen Futterbaufruchtfolge die Auflaufzahlen beider Varianten („seit 2008 Herbizid“) und („immer Herbizid“) seit 2014 annähern und sich nur noch um wenige Pflanzen unterscheiden.

Diskussion

Die Nachwirkungen auf die Verunkrautung auf den ehemals (1995 bis 2007) nicht mit Herbiziden behandelten Versuchspartellen sind auch im achten Jahr noch deutlich. Ein wesentlicher Grund hierfür ist der erhöhte Eintrag von Unkrautsamen in den Boden. Dieser gebildete Vorrat trägt nun zu den unterschiedlichen Auflaufzahlen der dikotylen Unkräuter bei. Nach ZWERTGER und HURLE (1990) laufen je Jahr etwa 2 bis 5 % der Unkrautsamen der Bodenunkrautsamenbank auf. Daher sind für die Beurteilung von Nachwirkungen Dauerfeldversuche nötig.

Betrachtet man die beiden Pflanzenschutzstrategien „GFP“ und „IPS“, so sind die Unterschiede in der Strategie „GFP“ beim Auflauf der dikotylen Unkräuter deutlicher ausgeprägt. Die Strategien unterscheiden sich beim Herbizidaufwand um ca. 20 %, in der Strategie „IPS“ ist der Aufwand geringer.

Die ehemals unterschiedlichen Fruchtfolgen zeigen ebenfalls noch eine Nachwirkung (SCHWARZ et al., 2012), in der ehemaligen Futterbaufruchtfolge ist der Unkrautaufbau geringer. Dies ist den

ehemaligen Fruchtfolgegliedern Mais und Luzerne-Kleegras geschuldet. Bei reduzierten Herbizidaufwandmengen („IPS“) verwischt dieser Effekt jedoch zusehends.

Zunehmend werden diese Effekte durch die Stufen der Bodenbearbeitung beeinflusst, so dass bei zukünftigen Auswertungen dieser Faktor getrennt nach der wendenden und nichtwendenden Bodenbearbeitung betrachtet werden muss (SCHWARZ und PALLUTT, 2014).

Literatur

- AMANN, A., 1991: Einfluss von Saattermin und Grundbodenbearbeitung auf die Verunkrautung in verschiedenen Kulturen. Dissertation Universität Hohenheim, 148 Seiten.
- 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.
- MORTENSEN, D.A., G.A. JOHNSON und L.J. YOUNG, 1993: Weed Distribution in Agricultural Fields. In: ROBERT, 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., 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 Fruchtfolge und Herbizidintensität. Journal für Kulturpflanzen **62**, 317-325.
- SCHWARZ, J., B. PALLUTT und E. MOLL, 2012: Einfluss von Fruchtfolge und Herbizidaufwandmenge auf die Verunkrautung, Julius-Kühn-Archiv **434**, 337-344.
- SCHWARZ, J. und B. PALLUTT, 2014: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Entwicklung der Verunkrautung in einem Dauerfeldversuch. Julius-Kühn-Archiv **443**, 141-148.
- ZWERGER, P., 1990: Modelluntersuchungen zum Einfluß der Stickstoffdüngung auf die Samenproduktion und die Schädigung von *Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve und drei *Polygonum*-Arten. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XII**, 107-113.
- ZWERGER, P. und K. HURLE, 1990: Untersuchung zur Abbildungsgüte simulierter Befallsverläufe bei Unkräutern. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XII**, 133-141.

Bestimmen bei Acker-Kratzdisteln (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) heterotrophe Wachstumsfaktoren das Auftauchen und die Verteilung in der Landschaft?

*Do heterotrophic growth factors determine occurrence and distribution of the creeping thistle (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) in the landscape?*

Hartmut Heilmann

Arbeitskreis Standortphysiologie der Gesellschaft für Boden, Technik, Qualität (BTQ),
Birkenstr. 10, 74592 Kirchberg an der Jagst
hartmut.heilmann@t-online.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.019

Zusammenfassung

Mixotrophe Pflanzen verbinden autotrophe und heterotrophe Ernährung miteinander, indem sie autotrophe Aspekte (Nutzung von Energie aus der Sonne) mit Aspekten heterotropher Ernährung mithilfe von Parasitismus, Probiose, Symbiose oder Saprotrophie miteinander verbinden. Vollscharotzer – also rein heterotrophe Pflanzen - wie Kleeteufel (*Orobancha minor*, L.) und Seide (*Cuscuta epithimum* ssp. *trifolii*) zeigen infolge ihres Parasitismus eine unerlässliche Bindung an spezifische Wirtspflanzen. Andere chlorophyllfreie Pflanzen wie Vogelnestwurz (*Neottia nidus-avis*, L.) sind durch ihre saprotrophe Lebensweise auf bestimmte Waldstandorte beschränkt. Andere Orchideen nutzen unterschiedliche Probiosen und Symbiosen. Auch Acker-Kratzdisteln (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) treten auf unterschiedliche Weise als mixotrophe Pflanzen auf und entwickeln sich auf dieser Grundlage zu Konkurrenzpflanzen. Ihr Auftreten lässt auf unterschiedliche Ernährungsmuster schließen. Der Übersichtsbeitrag diskutiert diese Aspekte anhand neuer Forschungen, gibt auf dieser Grundlage Hinweise für die praktische Regulierung und formuliert offene Fragen.

Stichwörter: Acker-Kratzdistel, *Cirsium arvense*, heterotrophe Ernährung bei grünen Pflanzen, Mixotrophie, Unkrautregulierung

Abstract

Mixotrophic plants take - aside the sun's energy - energetic advantage of organic sources which can be described as parasitism, probiosis, symbiosis or saprotrophism. Holoparasites like broomrape (*Orobancha minor* L.) or clover dodder (*Cuscuta epithimum* ssp. *trifolii*) are limited to their host plants. Orchids live on different probioses and symbioses. Also thistles (*Cirsium arvense* L.) occur as mixotrophic plants and develop to weeds. Their occurrence shows different nutritional patterns. Aspects of new scientific results are discussed. Hints to regulation of thistles on this basis are given.

Keywords: *Cirsium arvense*, creeping thistle, heterotrophic growth factors, mixotrophy, regulation of weeds

Einleitung

Bis vor kurzer Zeit wurden in der Ökologie Pflanzen allgemein als „Produzenten“, Tiere als „Konsumenten“ angesehen und heterotrophe Aspekte bei höheren Pflanzen als Ausnahme angesehen, eine Erscheinung, welche eher bei Pilzen und niederen Pflanzen anzutreffen wäre (ODUM, 1980). Allerdings weisen auch höhere Kormophyten von der kleinsten bis zur größten Blütenpflanze heterotrophe Ernährungsaspekte auf. So ist das Auftreten der kleinsten Blütenpflanzen aus der Familie der Lemnaceen an eutrophe Gewässer gebunden; sie wachsen saprotroph, unter Aufnahme von Zuckern auch unter Abwesenheit von Licht (FRIEDRICH, 2005). Die 140 cm Blütendurchmesser erreichenden Rafflesiaceen – die größten Blütenpflanzen - sind chlorophyllfreie Vollparasiten auf Holzgewächsen Indonesiens (STRASBURGER, 1971). Misteln (*Viscum album* L.) sind als Halbparasiten in Unterarten auf bestimmte Arten von Tannen, Kiefern und Laubbäumen beschränkt. Orchideen in ihrer mykotrophen Lebensgemeinschaft sind in ihrem Auftreten an saprotrophe und probiotische Aspekte gebunden. Bei den meisten von ihnen handelt es sich um mykoheterotrophe Arten, welche bis zur Chlorophyllfreiheit wie bei Vogelnestwurz (*Neottia nidus-avis* L.) entwickelt sein können (PRESSER, 2000). Allen mixotrophen Pflanzen ist gemeinsam, dass sie als teilautotroph anzusprechen sind und von ihrem heterotrophen Aspekt existentiell abhängen. Hier soll der Frage der Übertragbarkeit des Musters

„Reguliere einen Organismus durch Regulation seiner heterotrophen Quelle“ und seine Übertragbarkeit hinsichtlich der Acker-Kratzdistel nachgegangen werden.

Material und Methoden

Es wurde die Hypothese geprüft: „Bei der Distel gibt es keine saprotrophen Ernährungsbeiträge aus dem Boden“. Dazu wurden im August 2012 nach der Getreideernte von Äckern ökologisch wirtschaftender Betriebe, von denen keiner mit dem Stoppelhobel arbeitet, 7 Paarungen von Bodenproben mit den Varianten „ohne Disteln“ und „mit Disteln“ gezogen. Es wurden von zwei Äckern Beispiele irregulären Auftretens (I1 und I2), sowie entsprechende Herkunft diskreten Auftretens gewählt, wozu zwei Distelnester (N1 und N2) sowie ein Ring in einem Maisfeld (mit drei Wiederholungen) herangezogen wurden. Zur Analytik wurde im Labor des Fachgebietes Bodenbiologie (Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim) der extrahierbare Anteil an Kohlenstoff bestimmt. Die Extraktion der organischen C-Verbindungen erfolgte mit 0,5 M Kaliumsulfatlösung. Anschließend wurde der organische Kohlenstoff (TOC = total organic carbon) am TOC-Analysator (Analytik Jena Multi N/C 2100S) bestimmt (Abb. 1).

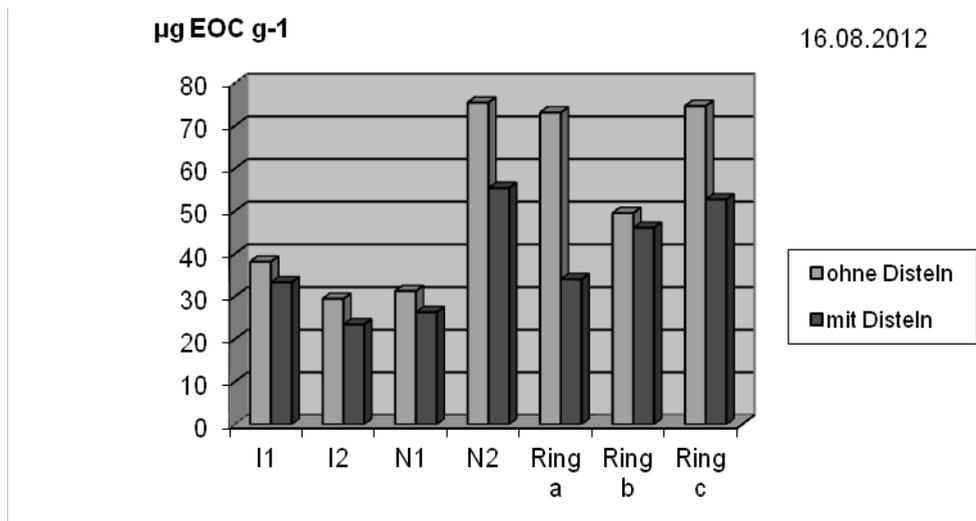


Abb. 1 Extrahierbare organische Substanz ($\mu\text{g EOC g}^{-1}$).

Fig. 1 Extractable organic substance ($\mu\text{g EOC g}^{-1}$).

Ergebnisse

Der Unterschied in den Analysewerten des extrahierbaren organischen Kohlenstoffs (Abb. 1) bei den Bodenproben „ohne Disteln“ zu „mit Disteln“ ist nach T-Test signifikant gesichert (Irrtumswahrscheinlichkeit: 2,95 %). Seine Aussage bezieht sich darauf, dass in den Bodenarealen „ohne Disteln“ in jeder der sieben Proben – im Durchschnitt 37 % - mehr an extrahierbaren organischen Substanzen (im Maß des daran beteiligten Kohlenstoffs) verfügbar war. Die Disteln haben also bei jedem untersuchten Variantenpaar den Anteil extrahierbarer organischer Substanz vermindert.

Diskussion

Acker-Kratzdisteln und Orchideen des Epipactis-Typs weisen entsprechend langjährigen Erfahrungen Gemeinsamkeiten auf. Beide kommen stärker nach trockenen Sommern bzw. nach feuchten Wintern. Sie kennen spontanes Auftreten und Ausbleiben sowie eine im Boden unter Abwesenheit von Licht stattfindende Embryogenese. Beide treten zusammen auf. Beide kennen

z.T. mehrjährige Dormanz. Die Breitblättrige Stendelwurz (*Epipactis helleborine* L.) tritt nicht nur als Solitärform auf, die - in einigen Fällen über zwei Jahrzehnte lang - streng an Waldbäume gebunden ist, sondern daneben auch als wandernde Form, welche verbreitet mit der Acker-Kratzdistel assoziiert auftritt. Eine Arbeitsgruppe des Arbeitskreises Standortphysiologie der Gesellschaft für Boden, Technik, Qualität (BTQ) prüfte die Gleichheit der Blüten und stellte fest, dass sich keine Unterschiede fanden, also beide eindeutig als *E. helleborine* anzusprechen sind. Die Solitärform (Abb. 2) besteht aus einer viergliedrigen Biozönose, von welcher zwei über dem Boden zu sehen sind: die Orchidee und der zugehörige Baum. Die Wurzelsymbiose der Orchidee vom endophytischen Typ steht in Verbindung mit dem pilzlichen Ektosymbionten des Baumes. Da der Baum keinen Vorteil aus dieser Lebensgemeinschaft zieht, kann er nach der Definition von DE BARY (1879) nicht als Partner einer Symbiose angesprochen werden, sondern muss als Probiotant gelten.



Abb. 2 Breitblättrige Stendelwurz (*Epipactis helleborine* L.) als Solitärform an Blaufichte.

Fig. 2 Single sprout type of broad-leaved Helleborine (*Epipactis helleborine* L.) near blue spruce.

Die wandernde Form (Abb. 3) tritt verbreitet in Parks und Vorgärten unter Bodendeckern auf. Die Biozönose aus Orchidee und endophytem Pilzsymbionten nutzt die vergehende Biomasse aus Blättern und Nadeln als saprotrophe Lebensgrundlage, welche ihr Auftreten einerseits ermöglicht und andererseits begrenzt. Hier treten in der Ausbreitung waagerechte Rhizome auf. Nach dem Fällen einer Omorika-Fichte in einem Kirchberger Garten fielen im Folgefrühjahr die assoziierten Orchideen, nämlich Breitblättrige Stendelwurz vom solitären Typ und Weißes Waldvögelein (*Cephalanthera damasonium*, Miller) spontan aus und kamen nie wieder. Die Acker-Kratzdistel wächst dort heute noch.



Abb. 3 Breitblättrige Stendelwurz (*Epipactis helleborine* L.) als wandernde Form unter Bodendeckern.

Fig. 3 Creeping type of broad-leaved Helleborine (*Epipactis helleborine* L.) under ground cover.

Cirsium arvense tritt in vier Ernährungsformen auf

Wie bei *Epipactis helleborine* sind bei *Cirsium arvense* unterschiedliche Ausbreitungsformen zu beobachten. Normalerweise geht es mit Bodenverdichtungen einher (HEYL-WEILBURG, 1937). Wer im ökologischen Landbau Stoppelbearbeitung in hinreichendem Flächenumfang selber durchgeführt hat, kennt aus eigener Erfahrung den normalerweise höheren Bearbeitungswiderstand in Zonen von Distelbewuchs (MARKL und HAMPL, 1996). Diese auch in Spatendiagnosen seit Jahrzehnten dokumentierten Phänomene korrelieren aber nicht oder höchst selten mit Bodenbelastungen, welche durch Bearbeitungsgeräte o.ä. bewirkt hätten sein können. Zwerger prüfte die Hypothese, Disteln würden durch Bodenverdichtungen gefördert, indem er sie in Fässern mit unterschiedlich verdichtetem Substrat wachsen ließ; sie waren alle gleich wüchsig (ZWERGER, 2001). Wenn man diese „Verdichtungen“ im Kulturland über zwölf Monate des Jahres ausgräbt, stellt man nämlich fest, dass es sich um Verschleimungen handelt (HEILMANN, 2014). Man sollte von der Beobachtung her unterscheiden zwischen Distelwüchsigkeit und Disteltriebbarkeit. Distelwüchsigkeit behandelt die Frage, ob sie kommt und Triebbarkeit, wie stark sie treibt.

Unproblematisches Auftreten der Acker-Kratzdistel

Die Bezeichnung „unproblematisch“ wurde gewählt, weil die Distel hier als zwar unerwünschte, aber im Grunde unproblematische Kulturbegleitpflanze auftaucht und nicht unbedingt Ertragsminderungen bei Kulturpflanzen bewirkt. Ertragsminderungen bei Disteln, Quecke und Ampfer beruhen meist auf dem mit ihnen einhergehenden Bodenzustand. Bodenverdichtungen und pH-Wert-Minderungen (HEILMANN, 2011) sind bei diesem Auftreten nicht beobachtbar. Konkurrenz tritt kulturabhängig ggf. bei den Wachstumsfaktoren Licht und Wasser auf. Die Erscheinung tritt gern in Gärtnereien auf, welche – im Gegensatz zu landwirtschaftlichen Betrieben – über das Jahr immer wieder freien Boden zwischen Kulturpflanzen aufweisen. Dadurch können Disteln keimen und bleiben ohne sommerliche Bodenbearbeitung bis zur herbstlichen Ernte stehen. Im Frühjahr sprießen sie dann aus dem gut gefüllten Vorrat ihrer Rhizome. LIBBERT (1993) weist darauf hin, dass trotz dieser dissimilatorischen Phase die Pflanze als autotroph anzusehen ist, weil die Vorräte auf autotrophen Prozessen beruhen.

Nestweises Auftreten

Distelnester weisen im Frühjahr pH-Wert-Erniedrigungen und Bodenverdichtungen auf und bewirken auf dieser Grundlage eine ausgesprochene Kulturpflanzenunterdrückung; die anderen Flächen der gleichen Äcker sind nach den Beobachtungen der Forschungsgruppe der BTQ oft vollkommen distelfrei (HEILMANN, 2011). Bei dieser Ausbreitungsform handelt es sich um eine Biozönose, in welcher die Bodengare zusammenbricht, um in einer „Verdichtung“ zu enden. Die Distelwüchsigkeit beschränkt sich auf das Nest und die Triebigkeit dort ist in der Mitte am höchsten. Außerhalb des Nestes kommen praktisch keine Keimlinge auf und auch die Triebigkeit ist gering (Abb. 4).



Abb. 4 Nestweises Auftreten von Acker-Kratzdisteln.

Fig. 4 Nest of creeping thistle.

Ringförmiges Auftreten

Zuweilen zeigen sich Muster des Distelaufreitens, welche an jenes des Hexenringpilzes *Marasmius oreades* auf Grünland erinnern (Abb. 5). Bei beiden Phänomenen sind pH-Wert-Erniedrigungen und Bodenverdichtungen feststellbar. Bei beiden sind Wirkungen auf die Wüchsigkeit von Pflanzen über dem Boden beobachtbar. Die Rhizome beschränken sich in ihrer Entwicklung auf das durch die Pilzwirkung geprägte Bodenareal. Auch wenn die Disteln früh weggehackt oder durch Herbizide behandelt wurden, bleibt der befallene Bestand geschädigt. Distelwüchsigkeit und -triebbarkeit beschränken sich auf den Ring.



Abb. 5 Ringförmiges Auftreten von Acker-Kratzdisteln in Mais.

Fig. 5 Ring of creeping thistle in maize.

Irreguläres Auftreten

Durch Klee grasbau macht man in der Landwirtschaft die Erfahrung, dass über mehrere Jahre die Gare des Bodens so gut ist, dass die Erträge zufriedenstellend und das Unkrautwachstum gering sind. Über die Jahre nimmt die Gare aber ab, wird der Boden in der Bearbeitung wieder schwerzügiger und nimmt das Unkraut zu. Das kann so weit gehen, dass kein Quadratmeter eines Ackers mehr frei von Disteln ist, die aber alle unterschiedlich stark treiben. Auch die Gare – ablesbar an Bodenstruktur und pH-Wert - ist im Bodenkörper ungleichmäßig. Die Distelwüchsigkeit erstreckt sich auf die ganze Fläche und die Disteltriebbarkeit hängt von den Bodenzonen ab.

Zu diesem Formenkreis ist auch das Spontanaufreten von *C. arvensis* zu rechnen, welches von uns bisher neunmal nachgewiesen wurde. Das drastischste Beispiel war ein großflächiges Auftreten in einer Gärtnerei, wo 30 Jahre nie Disteln gewesen waren (Abb. 6). Nach Maßnahmen des Gewächshausbaus trieben sie im Frühjahr dort, wo im Winter die Baumaschinen geparkt und gedreht hatten. Die Relevanz der Beobachtung ist: Disteln können auch da aus dem Boden kommen, wo sie weder Licht noch Sonne genießen konnten, weil sie offensichtlich andere organische Quellen für ihr Wachstum nutzen können.



Abb. 6 Spontanaufreten der Acker-Kratzdistel nach 30 Jahren Distelfreiheit.

Fig. 6 Spontaneous occurrence of the creeping thistle after 30 years of thistle absence.

Zur Regulierung von Pflanzen mit heterotrophen Aspekten in der Landschaft

In der vom Menschen unbeeinflussten Natur taucht die Acker-Kratzdistel sehr selten auf. Auf Sturmschäden im Wald oder an Schilfrändern kann man sie als Rohhumuszehrer interpretieren. In einem solchen Zusammenhang setzen sie sozusagen den dissimilatorischen Biomassefluss des Bodens fort und gehören von daher zur Homöostase des Standortes (ODUM, 1980). Wenn der überschwängliche Abbau organischer Substanz endet oder von Brennesseln, Himbeeren, Brombeeren, Holunder und anderen Eutrophiezeigern aufgenommen wird, gehen sie sofort zurück. Da von uns Gareschäden und Garezusammenbruch regelmäßig als Grundlage stärkerer Verunkrautung angetroffen werden (HEILMANN, 1999), sei auf das Stichwort „Gare“ kurz näher eingegangen. Ein Handbuch für den praktischen Landwirt widmet dem ein eigenes Kapitel und führt u.a. aus (DIECKMANN, 1943): „Wie gares Brot und ungarer Teig sich unterscheiden, so ist gares Land von totem, unfruchtbarem Boden verschieden... Oft ist der frische „Erdgeruch“ wahrnehmbar... Der Schwerpunkt der ganzen Feldbestellung liegt in dieser Gare und der Landwirt, der das nicht begriffen hat und nicht für die Gare sorgt, soll einen anderen Beruf ergreifen.“ Auch analytisch ist nachgewiesen (HEIJDEN et al., 1998), dass ein gut entwickeltes mikrobielles System im Boden Einflüsse auf Ertrag und Begleitpflanzen hat. Oft ist die unter die Garegrenze reichende Bodenbearbeitung Grundlage für starke Verunkrautung, weil der Boden mit seinen organischen Umsetzungen an die physiologischen Bodenschichten gebunden ist, Gare entwickelt sich bodentiefenabhängig unterschiedlich. Im Falle des unproblematischen Distelaufreitens ist zu wissen, dass die Bedeutung der herbstillen Assimilation als Grundlage des Frühjahrsriebes meist unterschätzt wird. Hier wie bei den drei anderen Typen gilt: nach der sommerlich-herbstlichen Ernte muss man den Boden mikrobiell umstimmen und in gute Gare verwandeln.

Auf den benutzten Schleimbegriff sollte kurz eingegangen werden. Da in Bodenkunde und Pflanzenernährung der Schleimbegriff nicht verankert ist, muss darauf hingewiesen werden, dass er pedologisch visuell zeigbar und analytisch erfassbar ist. Diese Bodenzonen verkleben eher und krümeln oder bröckeln nicht. Die waagrecht streichenden Rhizome von *C. arvensis* sind hier zu finden. Diese organische Bodenfraktion verstehen wir als Fraktion organischer niedermolekularer Verbindungen, welche mikrobiell leicht umsetzbar ist. Sie ist offensichtlich auch Grundlage für das in Distelflächen vermehrte Auftreten von Ackerschnecken aller Art. In einem Boden guter Gare sind alle organischen Verbindungen eher in Lebensformen gebunden und treten nicht frei auf.

Nicht nur mikrobiologische Fragen des stofflich-energetischen Übergangs müssen noch als offen angesehen werden. Auch die offene Frage des Biomasseflusses als Wachstumsfaktor stellt sich neu. Unter allen wichtigen Fragen von „Düngung“ als Ertragsfaktor ist erfahrungsgemäß eine wüchsige Vorfrucht der allerwichtigste Aspekt. Nach Konzepten der Nährstofftheorie sollte man wohl annehmen, eine starke Vorfrucht habe dem Boden mehr Nährstoffe, also Wachstumsgrundlagen entzogen. Nach standortphysiologischem Verständnis jedoch hinterlassen gut entwickelte Vorfrüchte immer auch mehr Ernteebenenprodukte wie Wurzeln oder Stroh, die in ihrer Umsetzung dann der Nachfrucht ertragserhöhend zugutekommen.

Das System mit dem Stoppelhobel (HEILMANN, 2007) erlaubt durch seine flache Arbeitsweise ein gareförderndes Bearbeitungssystem, bei welcher der bearbeitete Boden immer ausweichen kann, also geringem Druck ausgesetzt ist. Die stets offenporige Bearbeitungsgrenze fördert die ununterbrochene Atmungsfähigkeit der beteiligten Bodenzonen. Erfahrungsgemäß erübrigen sich damit jegliche besonderen Regulationsmaßnahmen von „Wurzelunkräutern“ wie Quecke, Distel, Winden, Ampfer oder Huflattich; das Bodensystem ernährt sie nicht mehr. Sicher hat bäuerliche (WEHSARG, 1954) und wissenschaftliche (HÄUBLER et al., 2004) Erfahrung strukturell weiter ihre praktische Bedeutung; sie wird aber vom Konzept der Berücksichtigung heterotropher Pflanzenwachstumsquellen profitieren. Insofern kann für die landwirtschaftliche Praxis die Frage der Übertragbarkeit des Musters „Reguliere einen Organismus durch Regulation seiner heterotrophen Quelle“ und seine Übertragbarkeit hinsichtlich der Acker-Kratzdistel als beantwortet angesehen werden.

Offene Fragen gibt es beim Ernährungsmodell der Acker-Kratzdistel. Einerseits besitzt sie eine vesikuläre arbuskuläre Pilzsymbiose (AMF) (HEINZEMANN und MOAWAD, 1992). Dieser Pilztyp gilt als nicht fähig, seinem Makrosymbionten organische Substanz zu vermitteln. Mycoheterotrophie als Parasitismus auf saprotrophen Pilzen ist im Pflanzenreich verbreitet (GARDES et al. 2002; FRANKE, 2007; PREISS und GEBAUER, 2008; COURTY et al. 2011). MERCKX (2013) geht davon aus, dass es keine Saprotrophie bei höheren Pflanzen gibt. Wieweit eine Assoziation der AMF mit saprotrophen Organismen wie *Fusarium* (GARCIA-ROMERA, 1998) oder Bakterien eine Rolle spielt, sollte klärbar sein. Der mikrobielle Forschungsbedarf bei der Acker-Kratzdistel als Leitunkraut ackerbaulicher Agrarsysteme muss als noch sehr groß angesehen werden.

Danksagung

Den Mitgliedern der BTQ, besonders dem Arbeitskreis Standortphysiologie, sei für die praktische Kooperation und der Abteilung für Bodenbiologie des Instituts für Bodenkunde und Standortslehre der Universität Hohenheim für die analytische und interpretatorische Zusammenarbeit ganz herzlich gedankt.

Literatur

- BIDARTONDO, M., B. BURGHARD, G. GEBAUER, T. BRUNS und D. READ, 2004: Changing partners in the dark: isotopic and molecular evidence of ectomycorrhizal liaisons between forest orchids and trees. *Proceedings of the Royal Society London B* **271**, 1799-1806.
- COURTY, P.-E., F. WALDER, T. BOLLER, K. INEICHEN, A. WIEMKEN, A. ROUSTEAU und M.-A. SELOSSE, 2011: Carbon and Nitrogen Metabolism in Mycorrhizal Networks and Mycoheterotrophic Plants of Tropical Forests: A Stable Isotope Analysis. *Plant Physiology* **156**, 952-961.
- DIECKMANN, K., 1943: Schlipfs praktisches Handbuch der Landwirtschaft. Berlin, Paul Parey, 498 S.
- FRANKE, T., 2007: Miscellaneous Contributions to the Taxonomy and Mycorrhiza of AMF-exploiting Myco-heterotrophic Plants. Dissertation, Fakultät für Biologie der Ludwig-Maximilians-Universität München, 2007, 98 S.
- FRIEDRICH, A.S., 2005: Untersuchungen zu Kultivierung, Transformation und Fermentation von *Wolfia spec.* Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 161 S.
- GARCIA-ROMERA, I., J.M. GARCIA-GARRIDO, J. MARTIN, S. FRACCHIA, M.T. MUJICA, A. GODEAS und J.A. OCAMPO, 1998: Interactions between saprotrophic *Fusarium* Strains and Arbuscular Mycorrhizas of Soybean Plants. *SYMBIOSIS* **24**, 235-246.
- GARDES, M., 2002: An orchid-fungus marriage – physical promiscuity, conflict and cheating. *New Phytologist* **154**, 4-7.
- HÄUBLER, A., A. VERSCHWELE und P. ZWERGER, 2004: Bedeutung von Stoppelbearbeitung und Fruchtfolge für die Regulierung der Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) im ökologischen Landbau. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft* **XIX**, 563-572.

- HEIJDEN, M.V.D., J. KLIRONOMOS, M. URSIC, P. MOUTOUGLIS, R. STREITWOLF-ENGEL, T. BOLLER, A. WIEMKEN und I. SANDERS, 1998: Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* **396**, 69-72.
- HEILMANN, H., 1999: Vom Umgang mit organischen Prozessen im Boden. *Ökologie und Landbau* 110, Bad Dürkheim, 10 – 15.
- HEILMANN, H., 2007: <http://btq-bundesverband.de/downloads/kurzanweisung-stoppehobel.pdf>.
- HEILMANN, H., 2011: Probiotische Aspekte des Auftretens der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense* (L.) Scop) im Lichte eines ganzheitlichen Forschungsansatzes. In: Leithold, G.; K. Becker, C. Brock, S. Fischinger, A.-K. Spiegel, K. Spory, K.-P. Wilbois und U. Williges (Hrsg.): Band 1 des Tagungsbandes der 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Berlin, Verlag Dr. Köster, 244 – 247.
- HEILMANN, H., 2014: Zur Ökophysiologie des Auftretens von *Cirsium arvense*. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 218-224.
- HEINZEMANN, J. und A. MOAWAD, 1992: Schriftliche Mitteilung an Hartmut Heilmann vom 04.03.1992.
- HEYL-WEILBURG, 1937: Die Pflanzen. Landwirtschaftliche Lehrbuchreihe. 2. Teil. Berlin, Reichsnährstandsverlagsgesellschaft, 226 S.
- LIBBERT, E., 1993: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. 5. Aufl. Jena, Gustav Fischer Verlag, 434 S.
- MARKL, J. und U. HAMPL, 1996: Bodenfruchtbarkeit selbst erkennen. Holm, Deukalion Verlag, 80 S.
- MERCKX, V., 2013 (ED.) Mycoheterotrophy - The Biology of Plants Living on Fungi (2013) Springer, New York, 358 S.
- ODUM, E. P., 1980: Grundlagen der Ökologie. Stuttgart, Thieme, 836 S.
- OGURA-TSUJITA, Y., G. GEBAUER, T. HASHIMOTO, H. UMAT, und H. YUKAWA, 2009: Evidence for novel and specialized mycorrhizal parasitism: the orchid *Gastrodia confusa* gains carbon from saprotrophic Mycena. *Proceedings of the Royal Society* **276**, 761-767.
- PREISS, K. und G. GEBAUER, 2008: A methodological approach to improve estimates of nutrient gains by partially mycoheterotrophic plants. *Isotopes in Environmental and Health Studies* **44**, 393-401.
- PRESSER, H., 2000: Die Orchideen Mitteleuropas und der Alpen. Landsberg/Lech, ecomed-verlagsgesellschaft, 375 S.
- PROVOROV, N. und N. VOROBYOV, 2009: Interspecies altruism in plant-Microbe Symbioses: use of group selection models to resolve the evolutionary paradoxes. – in: *Mycorrhizas – Functional Processes and Ecological Impact*. Hrsg: Azcon-Aguilar, C. et al. Berlin Heidelberg, Springer, 17 – 31.
- STRASBURGER, B., 1971: Lehrbuch der Botanik. Jena, VEB Gustav Fischer Verlag. 842 S.
- WEHSARG, O., 1954: Ackerunkräuter. Berlin, Akademie – Verlag, 293 S.
- ZWARGER, P., 2001: Persönliche Mitteilung im Institut für Unkrautforschung der BBA Braunschweig 23.07.2001.

Sektion 3: Herbizid-Management

Section 3: Herbicide management

Regulierungsmöglichkeiten von Wasser-Kreuzkraut (*Senecio aquaticus*) im Dauergrünland

Management practices for the control of marsh ragwort (Senecio aquaticus) in permanent grassland

Klaus Gehring*, Stefan Thyssen

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising-Weißenstephan

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



DOI 10.5073/jka.2016.452.066

Zusammenfassung

Wasser-Kreuzkraut (*Senecio aquaticus*) kann als toxische Pflanze im Wirtschaftsgrünland nicht toleriert werden. Anhand von zwei Versuchen wurden die Möglichkeiten unterschiedlicher Regulierungsmaßnahmen aufgezeigt. Neben der chemischen Bekämpfung bestätigten nicht-chemische Maßnahmen wie die gezielte Schnittnutzung, die mechanische Einzelpflanzenbekämpfung, die Ausdüngung und die Brachlegung gute bis sehr gute Regulierungsleistungen gegenüber Wasser-Kreuzkraut. Die Versuche haben auch gezeigt, dass für die nachhaltige Regulierung die Umsetzung eines standortspezifischen, integrierten Bekämpfungsverfahrens unverzichtbar ist.

Stichwörter: Aminopyralid, Herbizid, integrierte Unkrautregulierung, mechanische Unkrautbekämpfung, Pyrrolizidinalkaloide

Abstract

Marsh ragwort (*Senecio aquaticus*) is a toxic plant not acceptable in managed grassland. Two trials show different options for the control. Selective timing of cutting, mechanical weed control, fallowness and herbicide treatment are effective management practices. The results also confirmed the essential need for an integrated management system for the sustainable control of marsh ragwort.

Keywords: Aminopyralid, herbicide, integrated weed control, mechanical weed control, Pyrrolizidinalkaloide

Einleitung

Wasser-Kreuzkraut (*Senecio aquaticus*), auch Wasser-Greiskraut genannt, ist eine einheimische Kreuzkraut-Art, die bevorzugt auf Feuchtwiesen mit einer mittleren bis niedrigen Nutzungsintensität auftritt. Wasser-Kreuzkraut ist eine Kennart der artenreichen Sumpfdotterblumenwiesen (Calthion-Verband). Die Pflanzen enthalten Pyrrolizidinalkaloide (CHENG et al., 2011), die bei Warmblütern zu akuten und chronischen Gesundheitsschäden führen können (WIEDENFELD, 2011). Bei Rindern und insbesondere bei Pferden ist das Krankheitsbild als „Schweinsberger-Krankheit“ bekannt (PETZINGER, 2011). Wasser-Kreuzkraut ist daher auf Wirtschaftsgrünland als Giftpflanze zu bewerten (ETTL et al., 2013). Für die Erzeugung von gesunden, unbelasteten Futtermitteln ist ein Besatz des Grünlandaufwuchses mit Wasser-Kreuzkraut nicht akzeptabel (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2014).

Kreuzkräuter sind Pionierpflanzen, die aufgrund ihrer Samenproduktion und der Windverbreitung der flugfähigen Samen ein hohes Ausbreitungspotenzial besitzen. Seit etwa dem Jahr 2000 wird eine tendenzielle Zunahme der Besatzdichte mit Wasser-Kreuzkraut in der süd-westlichen Grünlandregion in Bayern, im Allgäu beobachtet (GEHRING und THYSSEN, 2015). Das standortspezifisch verstärkte Auftreten von Wasser-Kreuzkraut verunsichert Landwirte hinsichtlich der Nutzungsmöglichkeit des Grünlandaufwuchses. Gleichzeitig besteht keine oder eine nur sehr begrenzte Erfahrung zur Regulierungsmöglichkeit von Wasser-Kreuzkraut in der landwirtschaftlichen Produktionspraxis. Aufgrund dieses Informationsdefizites hat der Bayerische Pflanzenschutzdienst einen Exaktversuch zur gezielten Regulierung von Wasser-Kreuzkraut

durchgeführt. Weiterhin hat sich eine Initiativarbeitsgruppe zur Problematik mit Wasser-Kreuzkraut unter der Beteiligung von Fachbehörden aus der Landwirtschafts- und Umweltverwaltung gebildet. Im Rahmen dieser Arbeitsgruppe wurde als Beratungsinitiative ein mehrjähriger Demonstrationsversuch zur Regulierung von Wasser-Kreuzkraut durchgeführt (SORG et al., 2014). Beide Versuchsansätze hatten das Ziel bekannte Regulierungsverfahren in einem Behandlungskonzept zu integrieren und die Möglichkeiten verschiedener Regulierungsverfahren unter den gegebenen Standortbedingungen zu überprüfen.

Material und Methoden

Exaktversuch

Am Standort in der Gemeinde Riedering im Landkreis Rosenheim wurde im Spätsommer 2012 ein Exaktversuch zur Regulierung von Wasser-Kreuzkraut gestartet, der mit unterschiedlichen Behandlungsverfahren bis 2014 durchgeführt wurde. Der Standort zeichnete sich als frische bis feuchte Mähwiese auf einen anmoorigen Standort aus. Der mittlere Jahresniederschlag liegt in der Region bei etwa 1300 mm. Die Mähwiese wurde vor dem Versuchsbeginn extensiv dreischürig bewirtschaftet. Die Düngung wurde bis zu Beginn der Versuchsperiode auf einem mittleren Niveau mit Wirtschaftsdünger vorgenommen. Mit Beginn des Versuches wurde die Düngungs- und Nutzungsintensität durch den bewirtschaftenden Betrieb gesteigert. Die fünfschürige Schnittnutzung wurde durch eine Gesamtstickstoffdüngung von rund 220 kg N/ha und Jahr unterstützt.

Die geprüften Behandlungsverfahren bestanden aus spezifischen Kombinationen unterschiedlicher Regulierungsmöglichkeiten: Herbizideinsatz als Flächen- und Einzelpflanzenbehandlung, unterschiedliche Art und Intensität der Nachsaat, ergänzende mechanische Einzelpflanzenbekämpfung und alternative Anwendung von Kalkstickstoff (Tab. 1). Der mehrjährige Versuch kann in drei Perioden unterteilt werden: Gestartet wurde mit einer flächigen Herbizidbehandlung mit dem Grünlandherbizid Simplex® (100 g/l Fluroxypyr + 30 g/l Aminopyralid) und dem Einsatz von Kalkstickstoff im Herbst 2012. Im Frühjahr 2013 wurden unterschiedliche Nachsaatverfahren ergänzt. Bei dem verwendeten Saatgut handelte es sich um handelsübliche Bayerische Qualitätssaatgutmischungen für Dauergrünland (D2N) bzw. für Wiesen (WN). Abschließend wurden in der Vegetationsperiode 2014 angepasste Herbizidbehandlungen mit Simplex und Banvel M® (340 g/l MCPA + 30 g/l Dicamba), mehrheitlich als gezielte Einzelpflanzenbehandlungen, sowie eine Bekämpfung durch manuelles Ausstechen ergänzt. Zum Ausstechen wurde der Telescopic Unkrautstecher W82 Fabrikat Fiskars® verwendet.

Der Exaktversuch wurde als randomisierte Parzellenanlage (18 m² je Parzelle) mit vierfacher Wiederholung angelegt. Als Erhebungen wurde der Besatz der Leitunkräuter Wasser-Kreuzkraut und Kriechender Hahnenfuß (*Ranunculus repens*) durch Bonitur des Deckungsgrades und im Jahr 2014, aufgrund des geringen Deckungsgrades, durch Auszählung (10 repräsentative Stichproben mit dem Göttinger Zählrahmen je Parzelle) erfasst. Die Ergebnisse wurde mit Hilfe der Anwendung UNISTAT® 6.5 for Windows™ (UNISTAT LIMITED, 2015) einer Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse zur Überprüfung von signifikanten Unterschieden unterzogen. Eine Ertragerhebung wurde nicht durchgeführt.

Tab. 1 Anwendungsverfahren zur Regulierung von Wasser-Kreuzkraut im Exaktversuch, Riederling 2012-2014.

Tab. 1 Treatment systems for the control of marsh ragwort in the field trial, Riederling 2012-2014.

| VG Nr. | Maßnahmen | Termine | Anwendungen |
|--------|------------------------|------------|--|
| 1 | Kontrolle, unbehandelt | - | - |
| 2 | Herbizideinsatz | Sep. 2012 | 1,0 l/ha Simplex |
| | Nachsaat | April 2013 | 25 kg/ha D2N-Mischung |
| | Ausstechen | 2014 | 4x manuell, 5890 h/ha |
| 3 | Herbizideinsatz | Sep. 2012 | 1,0 l/ha Simplex |
| | Nachsaat | April 2013 | 25 kg/ha WN-Mischung |
| | Herbizideinsatz | Mai 2014 | 6,0 l/ha Banvel M |
| 4 | Herbizideinsatz | Sep. 2012 | 2,0 l/ha Simplex |
| | Nachsaat | April 2013 | 25 kg/ha D2N-Mischung |
| | Herbizideinsatz | Juni 2014 | 3,0 l/ha Banvel M |
| | Herbizideinsatz | Okt. 2014 | 1,0 l/ha Simplex |
| 5 | Herbizideinsatz | Sep. 2012 | 2,0 l/ha Simplex |
| | Nachsaat | April 2013 | 50 kg/ha D2N-Mischung |
| | Ausstechen | 2014 | 4x manuell, 6330 h/ha |
| 6 | Herbizideinsatz | Sep. 2012 | 2,0 l/ha Simplex |
| | Nachsaat | April 2013 | 25 kg/ha WN-Mischung |
| | Herbizideinsatz | 2014 | 0,2 % Banvel M, 4x Einzelpflanzenbehandlung, 5440 h/ha |
| 7 | Herbizideinsatz | Sep. 2012 | 2,0 l/ha Simplex |
| | Nachsaat | April 2013 | 50 kg/ha WN-Mischung |
| | Herbizideinsatz | Juni 2014 | 0,2 % Banvel M, 1x Einzelpflanzenbehandlung, 2440 h/ha |
| 8 | Herbizideinsatz | Sep. 2012 | 2,0 l/ha Simplex |
| | N-Düngung | April 2013 | 2,0 dt/ha Kalkstickstoff |
| | Nachsaat | April 2013 | 25 kg/ha WN-Mischung |
| | Herbizideinsatz | 2014 | 0,1 % Simplex, 4x Einzelpflanzenbehandlung, 4660 h/ha |
| 9 | N-Düngung | April 2013 | 2,0 dt/ha Kalkstickstoff |
| | Herbizideinsatz | Juni 2014 | 0,1 % Simplex, 1x Einzelpflanzenbehandlung, 2160 h/ha |

Demonstrationsversuch

Am nördlichen Rand des Sulzberger Sees in der Gemarkung Markt Sulzberg (4375668.5 RW, 5284197 HW), auch Öschlesee genannt, wurde im Sommer 2011 ein Demonstrationsversuch zur Regulierung eines starken Besatzes mit Wasser-Kreuzkraut gestartet (Tab. 2). Der Versuch wurde als einfache Streifenanlage mit Großparzellen (ca. 400 m²/Parzelle) angelegt. Lediglich eine Behandlungsvariante mit rein mechanischer Regulierung durch Ausstechen von Einzelpflanzen wurde als Kleinparzelle (16 m²) in die Versuchsanlage integriert. Der Versuchsstandort wurde vor Versuchsbeginn als ökologische Ausgleichsfläche ohne Düngung und ohne Pflanzenschutzmitteleinsatz als einschürige Streuwiese genutzt. Die Fläche kann als anmooriger Feuchtwiese bezeichnet werden. Der mittlere Jahresniederschlag liegt bei 1500 mm. Die Großparzellen wurden mit praxisüblicher Gerätetechnik bewirtschaftet. Für die mechanische Einzelpflanzenbekämpfung wurde vorwiegend der Telescopie Unkrautstecher W82 Fabrikat Fiskars® eingesetzt. Die durchgeführten Regulierungsverfahren unterschieden sich grundsätzlich in Varianten mit bzw. ohne den Einsatz von Herbiziden. Für die Herbizidbehandlungen wurden die Präparate Simplex® (100 g/l Fluroxypyr + 30 g/l Aminopyralid), U46 M-Fluid® (500 g/l MCPA), U46 D-Fluid® (500 g/l 2,4-D), Dominator Neotec® (360 g/l Glyphosat) und der Zusatzstoff Mero® (733 g/l Rapsöl) verwendet. Für die Nachsaat wurden handelsübliche Bayerische Qualitätssaatgutmischungen für Dauergrünland (D2N) bzw. für Wiesen (WN) und eine spezielle Hochstaudenflur-Mischung eingesetzt. Für die Regulierung von Wasser-Kreuzkraut wurden die Faktoren Schnitttermin, Schnitthäufigkeit, Nachsaat, mineralische Ergänzungsdüngung, mechanische Einzelpflanzenbekämpfung, mechanische Flächenbehandlung, Ausdunkelung bzw. Konkurrenzleistung des Grünlandbestandes und Herbizidbehandlung in unterschiedlichen Behandlungsverfahren untersucht.

Tab. 2 Unterschiedliche Regulierungsverfahren im Demo-Versuch, Öschlesee 2011-2014.**Tab. 2** Diverent control systems in the demo-trial, Öschlesee 2011-2014.

| VG Nr. | Bezeichnung, Maßnahmen | Termine | Anwendungen |
|---------------|--|--|---|
| 1 | Ausdunkeln und Nachsaat, einschüurig - Nachsaat - Nachsaat | August Aug. 2011 April 2012 | Schnittnutzung- 38 kg/ha Hochstaudenflur-Mischung 50 kg/ha Hochstaudenflur-Mischung |
| 2 | Ausdunkeln, einschüurig | Sep.-Okt. | Schnittnutzung |
| 3 | Kontrolle, einschüurig | August | Schnittnutzung |
| 4 | Ausdunkeln, zweischüurig | Juni/Aug. | Schnittnutzung |
| 5 | Chemische Regulierung, dreischüurig - Herbizidbehandlung - Herbizidbehandlung - Nachsaat - N-Düngung - N-Düngung - N-Düngung | Mai/Aug./Okt. Mai 2011 Aug. 2011 April 2012 April 2012 Juni 2012 Aug. 2012 | Schnittnutzung 2,0 l/ha U46-M + 2,0 l/ha U46-D + 1,0 l/ha Mero 2,0 l/ha Simplex + 1,0 l/ha Mero 15 kg/ha D2N-Nachsaatmischung 1,0 dt/ha Kalkammonsalpeter 1,0 dt/ha Kalkammonsalpeter 1,0 dt/ha Kalkammonsalpeter |
| 6 | Chemische Regulierung, zweischüurig - Herbizidbehandlung - Herbizidbehandlung - Nachsaat - N-Düngung - N-Düngung - Herbizidbehandlung - Nachsaat - N-Düngung - N-Düngung | Juni/Aug. Mai 2011 Aug. 2011 April 2012 April 2012 Juni 2012 Aug. 2012 Aug. 2012 April 2013 Juni 2013 | Schnittnutzung 2,0 l/ha U46-M + 2,0 l/ha U46-D + 1,0 l/ha Mero 0,5 l/ha Dominator Neotec + 1,0 l/ha Mero 50 kg/ha D2N-Mischung 1,0 dt/ha Kalkammonsalpeter 1,0 dt/ha Kalkammonsalpeter 2,0 l/ha Simplex + 1,0 l/ha Mero 30 kg/ha WN-Mischung 1,0 dt/ha Kalkammonsalpeter 1,0 dt/ha Kalkammonsalpeter |
| 7 | Chemische Regulierung, einschüurig - Narbenabtötung - Einsaat - Nachsaat - N-Düngung - N-Düngung - Herbizidbehandlung - Nachsaat | August Aug. 2011 Aug. 2011 April 2012 April 2012 April 2013 Mai 2013 Mai 2013 | Schnittnutzung 4,0 l/ha Dominator Neotec + 1,0 l/ha Mero 50 kg/ha D2N-Mischung 50 kg/ha D2N-Mischung 1,0 dt/ha Kalkammonsalpeter 1,0 dt/ha Kalkammonsalpeter 2,0 l/ha Simplex + 1,0 l/ha Mero 30 kg/ha D2N-Mischung |
| 8 | Mech. Regulierung, zweischüurig - Streigelbearbeitung - Nachsaat - Streigelbearbeitung - Nachsaat - Nachsaat | Juni/Aug. Aug. 2011 Aug. 2011 Aug. 2012 Aug. 2012 Mai 2013 | Schnittnutzung 5x Grünlandstriegel + Abräumen 38 kg/ha D2N-Mischung 5x Grünlandstriegel + Abräumen 24 kg/ha D2N-Mischung 30 kg/ha D2N-Mischung |
| 9 | Mech. Einzelpflanzenbekämpfung, zweischüurig - Ausstechen + Nachsaat - Ausstechen + Nachsaat - Ausstechen + Nachsaat - Nachsaat - Ausstechen + Nachsaat - Ausstechen + Nachsaat - Ausstechen - Ausstechen + Nachsaat | Mai/Aug. April 2012 Juli 2012 Aug./Sep. '12 Mai 2013 Juni 2013 Aug. 2013 Juni 2014 Aug. 2014 | Schnittnutzung 3125 h/ha + 30 kg/ha D2N-Mischung 3125 h/ha + 40 kg/ha D2N-Mischung 1250 h/ha + 31 kg/ha D2N-Mischung 30 kg/ha D2N-Mischung 1250 h/ha + 40 kg/ha D2N-Mischung 1250 h/ha + 40 kg/ha D2N-Mischung 465 h/ha 465 h/ha + 30 kg/ha D2N-Mischung |
| 10 | Ausdunkeln, Brache | - | - |

Über den Versuchszeitraum von 2011 bis 2014 wurden auf den Großparzellen je vier dauerhafte, repräsentativ verteilte Kontrollflächen mit einer Größe von je 4,5 m² eingerichtet. Auf diesen Flächen wurde regelmäßig im Frühjahr nach Vegetationsbeginn und im Herbst zum Vegetationsende die Besatzdichte von Wasserkreuzkraut, Gräsern, Moosen, sonstigen Kräutern und die Bestandslücken in Form von Deckungsgraden durch Bonitur erhoben. Die Ergebnisse wurde mit Hilfe der Anwendung UNISTAT® 6.5 for Windows™ (UNISTAT LIMITED, 2015) einer Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse zur Überprüfung von signifikanten Unterschieden unterzogen. Eine Ertragerhebung wurde nicht durchgeführt. Der beerntete Aufwuchs wurde aufgrund der Belastung mit Pyrrolizidinalkaloiden über eine Müllverbrennungsanlage entsorgt.

Ergebnisse

Exaktversuch

Die Flächenbehandlungen mit Simplex im September 2012 erzielten eine sehr hohe Bekämpfungsleistung gegen Wasser-Kreuzkraut. Im März 2013 konnte in diesen Behandlungsvarianten kein Besatz mit Wasser-Kreuzkraut mehr festgestellt werden (Tab. 3). Die im April 2013 ausgebrachten unterschiedlichen Nachsaatmischungen in unterschiedlicher Saatkraft erzielten witterungsbedingt eine nur sehr unzureichende Entwicklung. Die geringen Unterschiede in der Besatzdichte mit Wasser-Kreuzkraut im August 2013 sind daher nicht auf Effekte durch die unterschiedliche Nachsaat, sondern als Folgewirkung der Simplex-Behandlung zu werten. Der im Frühjahr 2013 in Variante 9 ausgebrachte Kalkstickstoff erzielte keinerlei Wirkung gegenüber Wasser-Kreuzkraut. Die in der Vegetationsperiode 2014 durchgeführten unterschiedlichen Nachbehandlungen durch Flächen- bzw. Einzelpflanzenbehandlungen mit Banvel M und Simplex reduzierten die Besatzdichte im August 2013 auf durchschnittlich 0,12 Pfl./m² über alle Behandlungsvarianten. Selbst die einmalige Einzelpflanzenbehandlung mit Simplex (VG 9) konnte nach der wirkungslosen Kalkstickstoffanwendung den Wasser-Kreuzkraut Besatz signifikant gegenüber der unbehandelten Kontrolle reduzieren. Der signifikant unterschiedliche Besatz im Vergleich der Variante 5 und 8 deutet auf eine gegebenenfalls sichere Bekämpfungsleistung der Einzelpflanzenbehandlung mit Simplex gegenüber dem Ausstechen der Einzelpflanzen hin. Aufgrund der ansonsten unterschiedlichen Einzelmaßnahmen der beiden Behandlungsvarianten kann dieser Effekt allerdings nicht kausal abgeleitet werden.

Tab. 3 Entwicklung der Besatzdichte mit Wasser-Kreuzkraut (*Senecio aquaticus*), Riedering 2013-2014.

Tab. 3 Marsh ragwort (*Senecio aquaticus*) density development, Riedering 2013-2014.

| VG Nr. | Besatzdichte Wasser-Kreuzkraut | | | | | | |
|-----------|--------------------------------|------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| | 2013 | | | 2014 | | | |
| | März (DG %) | August (DG %) | August Signifikanz* | Juli (Pfl./m ²) | August (Pfl./m ²) | August Signifikanz* | Oktober (Pfl./m ²) |
| 1 | 5 | 13 | c | 5,25 | 1,75 | c | 0,20 |
| 2 | 0 | 2 | b | 4,20 | 0,15 | ab | 0,03 |
| 3 | 0 | 2 | b | 0,92 | 0,03 | ab | 0,10 |
| 4 | 0 | 1 | a | 2,10 | 0,05 | ab | 0,10 |
| 5 | 0 | 1 | a | 2,63 | 0,21 | bc | 0,13 |
| 6 | 0 | 2 | b | 0,92 | 0,15 | ab | 0,08 |
| 7 | 0 | 1 | a | 4,20 | 0,15 | ab | 0,40 |
| 8 | 0 | 0 | a | 0,11 | 0,02 | a | 0,05 |
| 9 | 5 | 13 | c | 0,79 | 0,17 | ab | 0,30 |

DG = Deckungsgrad, *) Kruskal-Wallis ANOVA, multipler Vergleich, post hoc t-Verteilung, $\alpha = 0,05$, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfvarianten.

Bis zum Herbst 2014 überlagerten sich die Effekte der unterschiedlichen Versuchsvarianten und die allgemeine Unterdrückung von Wasser-Kreuzkraut durch die, aufgrund der veränderten Bewirtschaftung, geförderte Wüchsigkeit der Grünlandnarbe. Eine Bewertung der relativ niedrigen Besatzdichten im Oktober 2014 hinsichtlich einer Wirkung durch die Behandlungsvarianten war nicht mehr gerechtfertigt.

Demonstrationsversuch

Die unterschiedlichen und sehr vielfältigen Regulierungsverfahren zeigten in der Auswertung der Versuchsperiode vom Herbst 2011 bis Herbst 2014 eine sehr differenzierte Auswirkung auf den Besatz mit Wasser-Kreuzkraut (Tab. 4). Die relativ besten Reduzierungsleistungen erreichten die chemischen Behandlungsvarianten (VG 5, 6, 7), die intensive mechanische Einzelpflanzenbekämpfung durch Ausstechen (VG 9) und die intensive Ausdunkelung bzw. Lichtkonkurrenz des Grünlandbestandes gegenüber Wasser-Kreuzkraut durch Brache (VG 10). Im Vergleich der Herbizidbehandlungsvarianten war eindeutig der Einsatz von Simplex für die hohe Unterdrückungsleistung ausschlaggebend. Die Vorbehandlung mit Wuchsstoffherbiziden und einer stark reduzierten Aufwandmenge von Dominator Neotec in Variante 6 waren wie auch die Narbenabtötung und Neuansaat in Variante 7 nicht zielführend. Erst die Nachbehandlung mit Simplex führte in beiden Regulierungsverfahren zu einer hohen Unterdrückungsleistung.

Eine intensive Nachsaat mit einer speziellen Hochstaudenflur-Mischung war trotz Ausdunkelungsunterstützung durch eine späte Sommerschnittnutzung im Vergleich von VG 1 und 3 unwirksam. Die Verstärkung des Ausdunkelungseffektes durch eine Verlagerung des Schnitttermins in den Frühherbst (VG 2) führte im Vergleich zu einen früheren Sommerschnitt (VG 3) dagegen zu einer signifikant höheren Unterdrückungsleistung gegenüber Wasser-Kreuzkraut. Die Orientierung des Schnitttermins an den Blühbeginn von Wasser-Kreuzkraut in VG 4 ermöglichte eine signifikant höhere Unterdrückungsleistung als das gleiche Schnittregime in Kombination mit einer mechanischen Flächenbehandlung (VG 8). Die wiederholte intensive mechanische Bekämpfung durch eine Flächenbehandlung provozierte trotz intensiver Nachsaat eine starke Regeneration von Wasser-Kreuzkraut aus den Bodensamenvorrat.

Tab. 4 Entwicklung der Besatzdichte mit Wasser-Kreuzkraut (*Senecio aquaticus*), Öschlesee 2011-2015.

Tab. 4 Marsh ragwort (*Senecio aquaticus*) density development, Öschlesee 2011-2015.

| VG Nr. | Besatzdichte Wasser-Kreuzkraut | | | | Frühjahr 2015 DG (rel. %) ¹ |
|-----------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| | Frühjahr 2011 DG (%) | Herbst 2011 - Herbst 2014 | | | |
| | | DG (%) | DG (rel. %) ¹ | Signifikanz [*] | |
| 1 | 38 | 37 | 98 | e | 70 |
| 2 | 36 | 17 | 46 | cd | 24 |
| 3 | 28 | 27 | 98 | e | 109 |
| 4 | 50 | 18 | 35 | bc | 13 |
| 5 | 50 | 4 | 8 | a | 5 |
| 6 | 43 | 7 | 15 | ab | 15 |
| 7 | 35 | 12 | 35 | abc | 9 |
| 8 | 31 | 27 | 87 | de | 88 |
| 9 | 35 | 4 | 11 | ab | 6 |
| 10 | 30 | 6 | 19 | ab | 0 |

DG = Deckungsgrad; ¹) relativ zum Ausgangsbesatz im Frühjahr 2011; ^{*}) Kruskal-Wallis ANOVA, multipler Vergleich, post hoc t-Verteilung, $\alpha = 0,05$, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Prüfvarianten.

Die während der Versuchsperiode von 2011 bis 2014 erfolgreichen Regulierungsverfahren konnten die Unterdrückungsleistung als Nachwirkung bis zur letzten Bestandesaufnahme im Frühjahr 2015 aufrechterhalten. Bemerkenswert ist hierbei die vollständige Unterdrückung von Wasser-Kreuzkraut aufgrund der Ausdunkelung durch Brachlegung in VG 10. Der anfangs kaum feststellbare Effekt steigerte sich im Verlauf der Vegetationsperioden und führte im Frühjahr 2015 zu einer Eliminierung von Wasser-Kreuzkraut.

Diskussion

Wasser-Kreuzkraut ist ein natürlicher Bestandteil der Flora von frischen bis feuchten Grünlandstandorten. Im Fall von Wirtschaftsgrünland ist bereits ein geringer Besatz bzw. Aufwuchsanteil von Wasserkreuzkraut aus Sicht der Futtergewinnung und Tierernährung unerwünscht (GOTTSCHALK et al., 2015). Für den vorbeugenden Schutz der Gesundheit von Mensch und Tieren ist eine Befallsfreiheit mit Wasser-Kreuzkraut auf Wirtschaftsgrünland anzustreben (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2007). Aufgrund des zweijährigen Entwicklungsrhythmus, der hohen Samenproduktion, der flugfähigen Samen und der langen Samenlebensdauer im Boden hat Wasser-Kreuzkraut allerdings ein hohes Ausbreitungs- und Etablierungspotenzial (SUTER & LÜSCHER, 2012). Die Charakterisierung als unerwünschtes Problemunkraut bezieht sich auf die aufwändigen und begrenzten Regulierungsmöglichkeiten und den Einfluss auf die Verwertbarkeit des Grünlandauswuchses. Eine weitere Problematik tritt im Rahmen der Regulierung auf, wenn die Befallsflächen einen bestimmten Schutzstatus hinsichtlich des Natur- und Artenschutzes aufweisen (GEHRING et al., 2015).

Beide Versuchsanstellungen haben die Möglichkeiten und Grenzen der Regulierung von Wasser-Kreuzkraut deutlich aufgezeigt. Für die chemische Bekämpfung hat sich das Herbizid Simplex als besonders leistungsfähig bestätigt und ist daher vorrangig für die chemische Bekämpfung von Wasser-Kreuzkraut geeignet. Die hohe Wirkungseffizienz ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Wirkstoff Aminopyralid zurückzuführen. Die Wirksamkeit der Wuchsstoffherbizide 2,4-D und MCPA (FORBES, 1977) konnte dagegen nicht bestätigt werden. Die rein chemische Bekämpfung hat zwar den Vorteil, dass dabei die Grasnarbe und Bodenoberfläche nicht gestört wird und keine Entwicklung von Keimpflanzen aus dem Bodensamenvorrat angeregt wird, die Bekämpfungsleistung ist allerdings nicht vollständig und im Laufe der Zeit kommt es zu einer Regeneration der Wasser-Kreuzkrautpopulation.

Für die nicht-chemische Regulierung wurde die Effizienz von angepassten Schnittterminen, der mechanischen Einzelpflanzenbekämpfung und der Konkurrenzwirkung des Grünlandbestandes, bzw. des Ausdunkelungseffektes bestätigt. Für die Unterdrückung von Wasser-Kreuzkraut durch eine gezielte Schnittnutzung (BASSLER et al., 2013) ist es sinnvoll den ersten Schnitttermin zum Beginn der natürlichen Blühperiode, in den Juni zu verlegen. Da Wasser-Kreuzkraut durch die Schnittnutzung zu einer beschleunigten Entwicklung angeregt wird, ist ein Folgeschnitt im Zeitraum August erforderlich. Ob eine dritte Blühperiode auftritt und ein weiterer Schnitt notwendig wird, ist von der Jahreswitterung und dem Standortklima abhängig. Die Unterdrückungswirkung durch einen Ausdunkelungseffekt (BARTELHEIMER et al., 2010) ist bei Anwendung einer mehrjährigen Brache eine Möglichkeit zur Eliminierung eines Wasser-Kreuzkrautbestandes. Bei dieser Maßnahme muss neben dem Nutzungsverzicht allerdings auch beachtet werden, dass sich durch die Brachlegung die Zusammensetzung der Grünlandnarbe verändert. Eine mehrjährige Brache ist daher vorwiegend für die Regulierung von nicht wirtschaftlich genutzten Flächen (z.B. ökologische Ausgleichsflächen) geeignet. Für die mechanische Bekämpfung ist eine Flächenbehandlung ungeeignet, da es hierdurch zu einer intensiven Regeneration aus dem Bodensamenvorrat kommt. Für eine mechanische Einzelpflanzenbehandlung ist ein hoher Regulierungsdruck erforderlich. Ausstechen oder Ausziehen sollte nach Möglichkeit nach jedem Schnitt und in jeden Aufwuchs erfolgen, um die Samenbildung zu vermeiden und die Besatzdichte kontinuierlich zu reduzieren. Maßnahmen wie

Nachsaat und gezielte Düngegaben sind als Förderung der Grünlandnarbe zu bewerten und haben keinen direkten Einfluss auf die Regulierung von Wasser-Kreuzkraut.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine nachhaltige Regulierung von Wasser-Kreuzkraut nur durch die Anwendung eines langjährigen, integrierten Bekämpfungskonzeptes möglich ist (LEISS, 2011; ROBERTS und PULLIN, 2007; SUTER et al., 2012). Die Ausgestaltung eines solchen Regulierungsverfahrens hängt neben den Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren (SUTER und LÜSCHER, 2009) auch wesentlich vom naturschutzrechtlichen Status der jeweiligen Befallsfläche ab.

Literatur

- BARTELHEIMER, M., D. GOWING und J. SILVERTOWN, 2010: Explaining hydrological niches – the decisive role of below-ground competition in two closely related *Senecio* species. *Journal of Ecology* **98**, 126-136.
- BASSLER, G., G. KARRER und M. KRIECHBAUM, 2013: Mechanical control of marsh ragwort (*Senecio aquaticus* Hill) by cutting. *Grassland Science in Europe* **18**, 496-498.
- CHENG, D., H. KIRK, P.P.J. MULDER, K. VRIELING und P.G.L. KLINKHAMER, 2011: Pyrrolizidine alkaloid variation in shoots and roots of segregating hybrids between *Jacobaea vulgaris* and *Jacobaea aquatica*. *New Phytologist* **192**, 1010-1023.
- CHIZZOLA, R., G. BASSLER, M. KRIECHBAUM und G. KARRER, 2015: Pyrrolizidine Alkaloid Production of *Jacobaea aquatica* under Different Cutting Regimes. *J. Agric. Food Chem.* **63**, 1293-1299.
- CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2014: Proposed Draft Code of Practice for Weed Control to prevent and reduce Pyrrolizidine Alkaloid Contamination in Food and Feed. FAO/WHO, CX/CF 14/8/11, 7 S.
- ETTL, J., P. FRÜHWIRTH, J. GALLER, K. GEHRING, M. GRUNDNER, H. KÖPPL, J. THALHAMMER und H. WEISLMAIER, 2013: Unkrautmanagement auf Wiesen und Weiden. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Ländliches Fortbildungsinstitut, Freising, Linz, 27 S.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2007: Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission related to pyrrolizidine alkaloids as undesirable substances in animal feed. *The EFSA Journal*, 447, S. 1-51.
- FORBES, J.C., 1977: Chemical control of marsh ragwort (*Senecio aquaticus* Huds.) in established grassland. *Weed Research* **17**, 247-250.
- GEHRING, K., C. GOTTSCHALK, R. HÖCK, J. KOTZI, G. KUHN, J. OSTERTAG und U.M. SORG, 2015: Wasser-Kreuzkraut – erkennen, regulieren und vermeiden. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Freising-Weißenstaphan, Augsburg, 24 S.
- GEHRING, K. und S. THYSSSEN, 2015: Kreuzkraut - eine große Gefahr für die Gesundheit von Pferden und Rindern. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, online <http://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/032238/index.php>
- GOTTSCHALK, C., S. RONCZKA, A. PREIS-WEIGERT, J. OSTERTAG, H. KLAFFKE, H. SCHAFFT und M. LAHRSEN-WIEDERHOLT, 2015: Pyrrolizidine alkaloids in natural and experimental grass silages and implications for feed safety, *Animal Feed. Science and Technology* **2007**, 253-261.
- KIRK, H., K. VRIELING und P.G.L. KLINKHAMER, 2005: Reproductive Fitness of Hybrids between *Senecio jacobaea* and *S. aquaticus* (Asteraceae). *American Journal of Botany* **92(9)**, 1467-1473.
- KIRK, H. und K. VRIELING, 2010: Species by Environment Interactions Affect Pyrrolizidine Alkaloid Expression in *Senecio jacobaea*, *Senecio aquaticus*, and Their Hybrids. *J. Chem. Ecol.* **36**, 378-387.
- KUHN, G. und J. KOTZI, 2014: Wasser-Kreuzkraut und Jakobs-Kreuzkraut – Kurzanleitung zum Erkennen und Bestimmen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weißenstaphan, 8 S.
- LEISS, K.A., 2011: Management practices for control of ragwort species. *Phytochem Rev* **10**, 153-163.
- MULDER, P.P.J., B. BEUMER, E. SOSTERINK und J. DE JONG, 2009: Dutch survey pyrrolizidine alkaloids in animal forage. Wageningen University & Research centre, RIKILT Report 2009.018, 26 S.
- PETZINGER, E., 2011: Pyrrolizidinalkaloide und die Seneciose bei Tieren – Teil 1: Vorkommen, Chemie, Toxikologie. *Tierärztliche Praxis Großtiere* **4**, 221-230.
- PETZINGER, E., 2011: Pyrrolizidinalkaloide und die Seneciose bei Tieren – Teil 2: Klinik, Speziesunterschiede, Rückstandsverhalten, Futtermittelkontamination und Grenzwerte. *Tierärztliche Praxis Großtiere* **6**, 363-372.
- ROBERTS, P.D. und A.S. PULLIN, 2007: The Effectiveness of Management Interventions Used to Control Ragwort Species. *Environ. Manage.* **39**, 691-706.
- SORG, U.M., K. GEHRING, R. HÖCK und G. KUHN, 2014: Zur Verdrängung des Wasserkreuzkrautes - Erkenntnisse aus dem Allgäu. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Augsburg, Freising-Weißenstaphan, online http://www.lfu.bayern.de/natur/streuweisen/kreuzkraeuter/doc/lfl_lfu_tastversuch_wasserkreuzkraut.pdf
- SUTER, M. und A. LÜSCHER, 2008: Occurrence of *Senecio aquaticus* in relation to grassland management. *Applied Vegetation Science* **11**, 317-324.
- SUTER, M. und A. LÜSCHER, 2008: *Senecio aquaticus* - Risikoflächen und Einfluss der Bewirtschaftung. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau* **9**, 262-265.
- SUTER, M. und A. LÜSCHER, 2009: On-Farm Risikoanalysen zur Entwicklung von Kontrollmaßnahmen bei Kreuzkraut-Arten. *Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, ETH Zürich, 1, S. 209-2012.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- SUTER, M. und A. LÜSCHER, 2011: Measures for the control of *Senecio aquaticus* in managed grassland. *Weed Research* **51**(6), 601-611.
- SUTER, M. und A. LÜSCHER, 2012: Rapid and High Seed Germination and Large Soil Seed Bank of *Senecio aquaticus* in Managed Grassland. *The Scientific World Journal*, Article ID 723808, 8 S.
- SUTER, M., C.J. STUTZ, R. GAGO und A. LÜSCHER, 2012: Lässt sich Wasser-Kreuzkraut in landwirtschaftlichem Grasland kontrollieren? *Agrarforschung Schweiz* **3**(6), 306-313.
- WIEDENFELD, H., 2011: Plants containing pyrrolizidine alkaloids – toxicity and problems. *Food Additives and Contaminants* **28**(3), 282-292.

Selektivität von Herbiziden in Leindotter (*Camelina sativa* (L.) Crtz.)

Selectivity of herbicides in Camelina (Camelina sativa (L.) Crtz.)

Maria Scheliga*, Jan Petersen

Fachhochschule Bingen, Fachbereich Life Science and Engineering,
Fachrichtung Agrarwirtschaft, Berlinstraße 109, 55411 Bingen am Rhein
*Korrespondierende Autorin, m.scheliga@fh-bingen.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.020

Zusammenfassung

Leindotter (*Camelina sativa* (L.) Crtz.) gehört zur Familie der Brassicaceae. Als Ölpflanze wird Leindotter hauptsächlich zur Ölgewinnung angebaut. Nach den 1960er Jahren hat der Anbau jedoch an Bedeutung verloren. Erst in den letzten Jahren wurde das Interesse an dieser Kultur bei der Suche nach neuen Quellen für OMEGA-3 Fettsäuren, natürlichen Antioxidantien und einer potentiellen Kulturpflanze zur Herstellung von Biokraftstoffen geweckt. Der Einsatz von Leindotteröl für verschiedene Zwecke im Rahmen der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, ist vor allem aufgrund der hohen Anteile von Linol- und Linolensäure interessant.

Für die Etablierung des Leindotters als Kulturpflanze in landwirtschaftlichen Fruchtfolgen darf trotz der recht guten Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern die Unkrautbekämpfung nicht außer Acht gelassen werden. Auf der Grundlage von Gewächshausversuchen wurde 2015 ein Feldversuch mit unterschiedlichen Herbizidstrategien durchgeführt. Neben Butisan Top (Metazachlor + Quinmerac), Devrinol FL (Napropamid) und Stomp Aqua (Pendimethalin) wurde auch Betasana SC (Phenmedipham) in verschiedenen Aufwandmengen und Kombinationen getestet. Anhand von Bonituren zur Unkrautdichte und zur Herbizidverträglichkeit der Kulturpflanze wurden die verschiedenen Herbizidstrategien mit einander verglichen. Einen Kompromiss aus ausreichender herbizider Wirkung und einer geringen Schädigung für die Kulturpflanze zu finden ist schwer. Die Herbizidwahl, die Aufwandmenge und die Kombination verschiedener Herbizide haben Auswirkungen auf die Kulturpflanze. Um die erhobenen Daten zu bestätigen sind weitere Versuche nötig.

Stichwörter: Herbizidstrategie, Herbizidverträglichkeit, Metazachlor, Ölpflanze

Abstract

Camelina (*Camelina sativa* (L.) Crtz.) is a cruciferous plant. As an oilseed crop camelina is mainly grown for oil production. After the 1960s, however, the cultivation has become less important. Only in recent years, interest in this culture was awakened in the search for new sources of omega 3 fatty acids, natural antioxidants and a potential crop for the production of biofuels. The use of camelina oil for different purposes within the framework of the material use of renewable raw materials is of particular interest due to the high levels of linoleic and linolenic acid.

For the establishment of camelina as a crop in agricultural crop rotation systems weed control should not be disregarded despite the rather good competitive ability against weeds. Based on greenhouse experiments a field trial in 2015 with different herbicide strategies was carried out. Besides Butisan Top (metazachlor + quinmerac), Devrinol FL (napropamide) and Stomp Aqua (pendimethalin) and also Betasana SC (phenmedipham) has been tested in various amounts and combinations. Using assessments to weed density and herbicide tolerance different herbicide strategies were compared with each other. Though, it is difficult to find a compromise between satisfactory herbicidal effect and a slight injury to the crop plant. The herbicide selection, the application rate and the combination of different herbicides have an effect on the crop. To confirm the data obtained further tests are necessary.

Keywords: Herbicide strategy, herbicide selectivity, metazachlor, oilseed crop

Einleitung

Mit dem Ziel umweltschonende Produkte herzustellen, stehen derzeit vor allem nachwachsende Rohstoffe im Mittelpunkt von Forschung und Entwicklung. Dabei sind vor allem Pflanzen bzw. Kulturen mit hohem Ertrag an nutzbaren Inhaltsstoffen und einer möglichst vollständigen Verwertbarkeit der Rest- und Nebenprodukte gefragt. Daher ist das Interesse an Leindotter

(*Camelina sativa* (L.) Crtz.) als ölliefernde Kultur in den letzten Jahren gestiegen (MARTINELLI und GALASSO, 2011).

Leindotter ist eine einjährige Pflanze und gehört zur Familie der Brassicaceae. Archäologische Funde aus der Bronzezeit (1800 - 800 v.Chr.) deuten darauf hin, dass der Leindotter in dieser Zeit erstmals als Nahrungsmittel verwendet wurde. Nach 300 n.Chr. ging der Leindotteranbau stark zurück und erst ab 1950 stieg das Interesse an der Kulturpflanze wieder. Ein Grund dafür ist neben dem hohen Gehalt (30-50 %) an ungesättigten Fettsäuren (RADATZ und HONDELMANN, 1981; SEEHUBER und DAMBROTH, 1984; KÖRBER-GROHNE, 1995; AGEGNEHU, 2000; ZUBR und MATTHÄUS, 2002), der unter anderem für die industrielle Verwertung von Bedeutung ist, die hohe Anspruchslosigkeit der Pflanze an extreme Klima- und Bodenbedingungen (KÖRBER-GROHNE, 1995). Dadurch ermöglicht sie den Anbau auch auf Standorten, die nicht oder nicht sehr gut für die Nahrungsmittelproduktion geeignet sind (KÖRBER-GROHNE, 1995). Auf Grund seiner geringen Ansprüche an Bodenverhältnisse, Wasserversorgung und der Toleranz von kurzfristigem Bodenfrost im Keimblattstadium sowie der kurzen Vegetationszeit besitzt Leindotter eine gute Eignung für den Anbau unter mitteleuropäischen Klimaverhältnissen (HEYLAND et al., 2006). Im Vergleich mit anderen Sommerölrüchtern wie Sonnenblumen und Senf weist Leindotter zudem eine sehr hohe Ertragssicherheit auf (RÜTHER, 1957). Trotz der recht guten Konkurrenzkraft des Leindotters gegenüber Unkräutern (GRAF und VETTER, 1994) darf für die Etablierung des Leindotters als Kulturpflanze in landwirtschaftlichen Fruchtfolgen auch die Unkrautbekämpfung nicht außer Acht gelassen werden. Durch die Herbizidbehandlung ist eine Ertragssteigerung bzw. -sicherung aufgrund des dadurch verminderten Konkurrenzdruckes zu erwarten (PANNACCI und TEI, 2014).

Bislang ist nur ein Herbizid im deutschen Leindotteranbau amtlich genehmigt. In Gewächshaus- und Feldversuchen wurde daher nach potentiell geeigneten Herbiziden gesucht. Da Leindotter zur Familie der Kreuzblüter gehört, wurde in den Versuchen auf Wirkstoffe die hauptsächlich im Raps- und Zuckerrübenanbau Anwendung finden, zurückgegriffen. Ziel ist es eine optimale Unkrautbekämpfung ohne Schädigung der Kulturpflanze mit Hilfe eines Wirkstoffs oder einer Wirkstoffkombination zu erzielen, die zudem auch keine Auswirkungen auf die Ertragsparameter aufweist.

Material und Methoden

Gewächshausversuch

Unter Gewächshausbedingungen wurden je 30 Samen in 8 cm Jiffy-Pots® in gedämpftem Ackerboden (sandiger Lehm) angezogen. Dies entspricht einer Aussaatmenge von 600 Pflanzen/m². Die Bewässerung erfolgte nach Bedarf durch Anstauen von unten. Die Vorauflaufbehandlung (VA) fand kurze Zeit nach der Aussaat in die Jiffy-Pots® statt. Zum Stadium BBCH 12-14 folgte die Nachauflaufbehandlung (NA). Appliziert wurde mit Hilfe einer Präzisions-Spritzkabine SprayLab SLG 220/140 001.45.11 der Firma Schachtner (Düsen TEE JET 9502EVS, Arbeitsdruck 2,5 bar, Wasservolumen 250 l/ha, Geschwindigkeit 2 km/h). In Tabelle 1 sind die applizierten Herbizide und deren Aufwandmenge dargestellt.

Tab. 1 Eingesetzte Herbizide im Gewächshausversuch, Aufwandmengen und Applikationszeitpunkt (VA-Vorauflauf; NA-Nachauflauf zum BBCH 12-14).**Tab. 1** *Used herbicides, dose rates and application timings in greenhouse trial.*

| Herbizid | Wirkstoffe | Aufwandmengen | |
|----------------------------|---|------------------|--------|
| | | [l/ha] | Termin |
| Butisan | 500 g/l Metazachlor | 1; 2 | VA; NA |
| Butisan Gold | 200 g/l Metazachlor, 100 g/l Quinmerac, 200 g/l Dimethenamid-P | 1,25; 2,5 | VA |
| Butisan Kombi | 200 g/l Metazachlor, 200 g/l Dimethenamid-P | 1,25; 2,5 | VA |
| Butisan Top | 375 g/l Metazachlor, 125 g/l Quinmerac | 1; 2 | VA |
| Centium CS | 360 g/l Clomazone | 0,165; 0,33 | VA |
| Devrinol FL | 450 g/l Napropamid | 1,325; 2,75 | VA |
| Devrinol FL + | 450 g/l Napropamid | 2,75 | VA + |
| Kontakt 320 SC | 320 g/l Phenmedipham | 0,75 | NA |
| + Oleo | Paraffinöl | 1 | NA |
| Nimbus CS | 250 g/l Metazachlor, 33,3 g/l Clomazone | 1,5; 3 | VA |
| InnoProtect Quantum | 600 g/l Pethoxamid | 1; 2 | VA |
| Teridox | 500 g/l Dimethachlor | 1; 2 | VA |
| Stomp Aqua | 455 g/l Pendimethalin | 1; 2 | VA; NA |
| Effigo | 67 g/l Picloram, 267 g/l Clopyralid | 0,175; 0,35 | NA |
| Kontakt 320 SC | 320 g/l Phenmedipham | 0,375; 0,75; 1,5 | NA |
| + Oleo | Paraffinöl | 1 | NA |
| Lentagran WP | 450 g/kg Pyridat | 1; 2 | NA |
| Lontrel 720 SG | 720 g/kg Clopyralid | 1 | NA |
| Runway | 80 g/l Picloram, 240 g/l Clopyralid, 40 g/l Aminopyralid | 0,1; 0,2 | NA |
| Belvedere Extra | 150 g/l Phenmedipham, 200 g/l Ethofumesat, 50 g/l Desmedipham | 1,3 | NA |
| + Hasten | verestertes Pflanzenöl | 0,5 | NA |

Die Bewertung erfolgte nach 25 (VA) bzw. 23 Tagen (NA) zum einen prozentual im Verhältnis zur unbehandelten Kontrolle und zum anderen durch die Gewichtserfassung der gebildeten Frischmasse.

Feldversuch

Im Frühjahr 2015 wurde am Standort Bingen ein Feldversuch zur Überprüfung der Wirksamkeit und Kulturverträglichkeit gestartet. Ziel der Gewächshausversuche war es, die Anzahl der im Feld zu prüfenden Herbizide auf die erfolgversprechenden Kandidaten zu reduzieren, um den Arbeitsaufwand zu begrenzen (Tab. 2). Der Versuch erfolgte als randomisierte Blockanlage mit vierfacher Wiederholung. Die Parzellengröße betrug insgesamt 20 m² (8 m x 2,50 m). Neben der Applikation vor der Aussaat und anschließender Einarbeitung, erfolgten Vorauflauf- und Nachauflaufapplikationen. Diese wurden mit einer handgeführten selbstfahrenden Pressluft-Parzellenspritze (Arbeitsdruck 2,1 bar, Wasseraufwand 200 l/ha, abdriftarme Düsen AI 110025, Geschwindigkeit 4,5 km/h) ausgebracht. Die Wirkungsbonitur im Hinblick auf die Verträglichkeit gegenüber der Kultur erfolgte in regelmäßigen Abständen. Die Bewertung erfolgte immer im Vergleich mit einer unbehandelten Kontrolle. Beerntet wurden die Versuchspartellen mit einem Partellenmährescher mit einer Schneidwerksbreite von 1,50 m (beerntete Partelle 12 m²).

Tab. 2 Eingesetzte Herbizide im Feldversuch, Aufwandmengen und Applikationszeitpunkt (VA-Vorauflauf; NA-Nachlauf zum BBCH 12-14; NAK-Nachlauf zum Keimblattstadium der Unkräuter).

Tab. 2 *Used herbicides, dose rates and application timings in field trial.*

| VG | Herbizid | Wirkstoffe | Aufwandmenge [l/ha] | Termin |
|-----------|---|--|----------------------------------|-----------|
| 1-6 | Butisan Top | 375 g/l Metazachlor, 125 g/l Quinmerac | 1; 2; 4 | VA; NA |
| 7 | | | 1,375 + 1,375 | VSE + VA |
| 8, 9 | Devrinol FL | 450 g/l Napropamid | 2,75; 5,5 | VSE |
| 10-12 | | | 1,375; 2,75; 5,5 | VA |
| 13-18 | Stomp Aqua | 455 g/l Pendimethalin | 1; 2; 4 | VA; NA |
| 19-21 | Butisan Top (VA) + Stomp Aqua (NA) | 4375 g/l Metazachlor, 125 g/l Quinmerac + 55 g/l Pendimethalin | 1+1; 2+2; 4+4 | VA+NA |
| 22-24 | Devrinol FL (VA) + | 450 g/l Napropamid + | 1,375+0,75; 2,75+0,75; 5,5+0,75; | VA+NAK1-2 |
| 25-27 | Betasana SC (NA) | 160 g/l Phenmedipham | 1,375+1,25; 2,75+1,25; 5,5+1,25 | |
| 28, 29 | Devrinol FL (VA) + Stomp Aqua (NA) + Betasana SC (NA) | 450 g/l Napropamid + 455 g/l Pendimethalin + 160 g/l Phenmedipham | 2,75+0,5+0,75; 2,75+1+1,25 | VA+NAK1-2 |

Die statistische Auswertung aller Versuche wurde mit dem Statistikprogramm R (Version 3.1.3 (2015-03-09)) durchgeführt. Einer Winkeltransformation für die geschätzten Wirkungsgrade folgend, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Als Post-hoc Testverfahren zum Vergleich der Mittelwerte fand der Tukey-HSD Test Anwendung ($\alpha=0,05$).

Ergebnisse

Gewächshausversuche

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse der Bonitur des Gesamtschadens der Vorauflauf-Behandlungen dargestellt. Deutlich wird hier, dass sich die Herbizide Butisan, Butisan Gold, Butisan Kombi und Butisan Top nicht signifikant von einander unterscheiden. Ebenso besteht auch kein signifikanter Unterschied zu Teridox. Durch den Einsatz von Nimbus wurden die Leindotterpflanzen zu 100 % geschädigt. Ähnliche Ergebnisse zeigen sich auch bei der Anwendung von Centium CS. Die geringsten Schäden wiesen die Behandlungen mit Devrinol FL (unter 10 %) und Stomp Aqua (unter 10 % bei empfohlener Aufwandmenge) auf. Diese Ergebnisse spiegeln sich ebenso in den Wiederholungsversuchen wieder (Ausnahme: Quantum zeigte deutlich größere Schäden in den folgenden Versuchen).

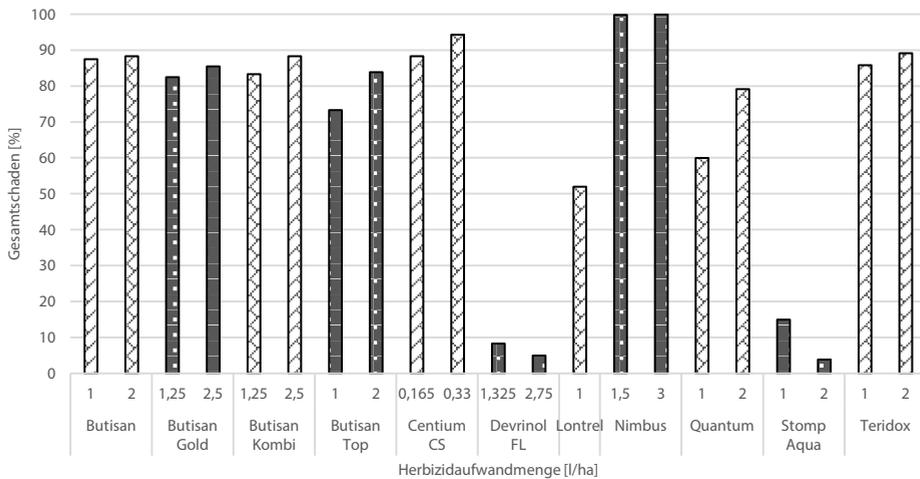


Abb. 1 Gesamtschaden ausgewählter Voraufbau-Behandlungen in Leindotter 25 Tage nach Applikation (Gewächshausversuch); unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede.

Fig. 1 Total damage of selected pre-emergence treatments in *Camelina sativa* 25 days after application (greenhouse trial); different small letter show significant differences.

Bei den Behandlungen nach dem Auflaufen der Kultur, zeigte sich neben dem im Leindotter zugelassenen Butisan (unter 5 %) auch Stomp Aqua (keine Schäden) sehr verträglich (Abb. 2). Die Applikation von Effigo und Runway im Nachaufbau führte zum Einrollen der Laubblätter an den Leindotterpflanzen. Die Herbizide Lentagran und Belvedere + Hasten zeigten deutliche Wuchsminderungen und zum Teil welke Blätter.

In weiteren Versuchen wurde zusätzlich zu den bereits gezeigten Behandlungen das Herbizid Kontakt 320 SC getestet. Hier zeigten sich nur sehr geringe Wuchsminderungen. In Verbindung mit dem Additiv Oleo zeigten sich allerdings deutliche Welkeerscheinungen an den Blättern. Und auch das Herbizid Lontrel wies Schäden über 60 % auf.

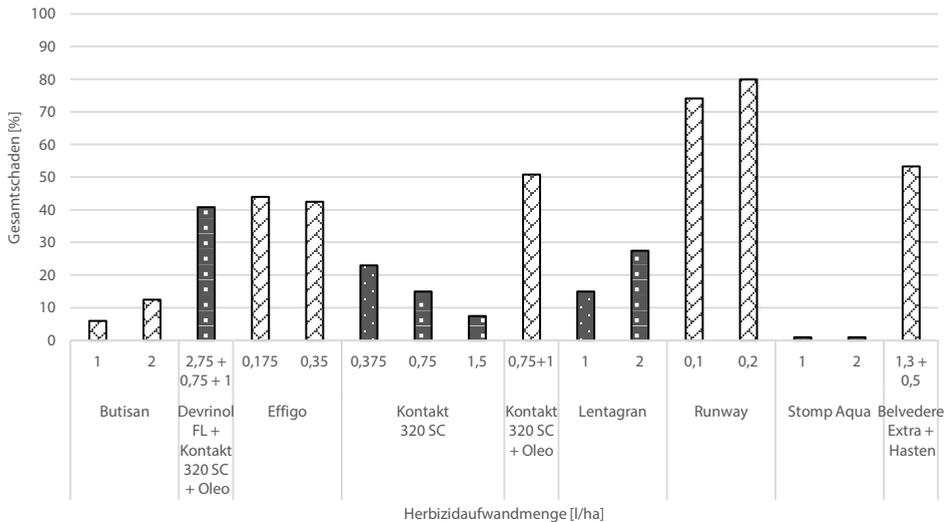


Abb. 2 Gesamtschaden ausgewählter Nachauflauf-Behandlungen 23 Tage nach der Applikation (Gewächshausversuch); unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede.

Fig. 2 Total damage of selected postemergence treatments 23 days after application (greenhouse trial); different small letter show significant differences.

Feldversuch

Die Unkrautdichte lag in fast allen behandelten Parzellen und der unbehandelten Kontrolle (kurz vor der Ernte) unter 25 %. Die Parzellen der Variante Devrinol FL+ Betasana SC (5,5 + 1,25 l/ha) bildeten mit 35 % Unkrautdichte die Ausnahme. Die Verunkrautung bestand hauptsächlich aus Weißen Gänsefuß und Schwarzen Nachtschatten. Über alle Behandlungen hinweg ist ein deutlicher Abfall der Unkrautdichte mit zunehmender Dosierung zu erkennen. Allerdings lassen sich aufgrund des geringen Unkrautbefalls in der unbehandelten Kontrolle keine gesicherten Aussagen über die Wirkung der Herbizide treffen. Dies zeigte sich auch in der statistischen Auswertung (Abb. 3). Die Variante Devrinol FL+ Betasana SC (5,5 + 1,25 l/ha) unterscheidet sich aufgrund ihrer, im Vergleich zu den anderen Parzellen, hohen Unkrautdichte signifikant von den Varianten mit Unkrautdichten unter 10 %. Die anderen Varianten unterscheiden sich nicht signifikant von einander.

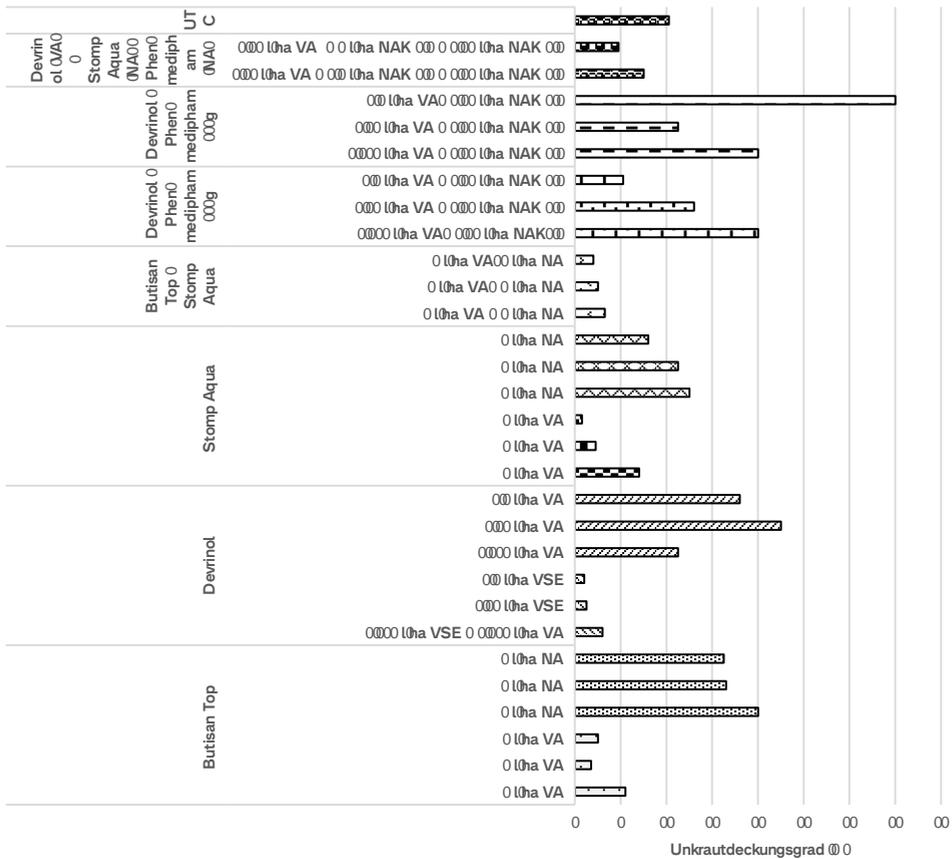


Abb. 3 Unkrautdeckungsgrad in Leindotter in Abhängigkeit verschiedener Herbizidbehandlungen 10 Tage vor der Ernte, Feldversuch am Standort Bingen; unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede.

Fig. 3 Weed coverage in *Camelina sativa* depending on various herbicide treatments 10 days before harvest, field trial at the site of Bingen; different small letter show significant differences.

Die Bonitur im Hinblick auf die Verträglichkeit der angewendeten Herbizide fiel im Gegensatz zur Unkrautdicke anders aus (Abb. 4). Hier waren die größten Schäden bei der Variante 21 (Butisan Top (4 l/ha, VA) + Stomp Aqua (4 l/ha, NA) zu verzeichnen. In fast allen Parzellen war zu sehen, dass mit doppelter Aufwandmenge die Schäden an der Kultur zunahmen. Die meisten Schäden traten bei den Herbizidkombinationen (Vor- und Nachauflaufbehandlungen, sowie Nachauflauf zum Keimblattstadium der Unkräuter) auf. Bei der Kombination von Devrinol FL im Voraufbau und der Applikation von Betasana SC im Nachauflauf (NAK) erhöht sich der Schaden um das Doppelte, wenn Betasana SC mit der doppelten Aufwandmenge eingesetzt wird (VG 22-24 im Vergleich zu VG 25-27) (Abb. 3). Gleiches spiegelt sich auch bei den Versuchsgliedern 28 und 29 wieder. Hier wird Devrinol FL im VA mit empfohlener Aufwandmenge appliziert und im Nachauflauf mit Stomp Aqua und Betasana SC in einfacher (VG 28) und doppelter (VG 29) Aufwandmenge appliziert. Keine oder kaum Schäden sind bei den Varianten 7-9 (Devrinol in VSE+VA und VSE), 10-12 (Devrinol im VA) sowie bei der Versuchsvariante 13 (Stomp Aqua in halber Aufwandmenge im VA) und 16 (Stomp Aqua in halber Aufwandmenge im NA) zu verzeichnen.

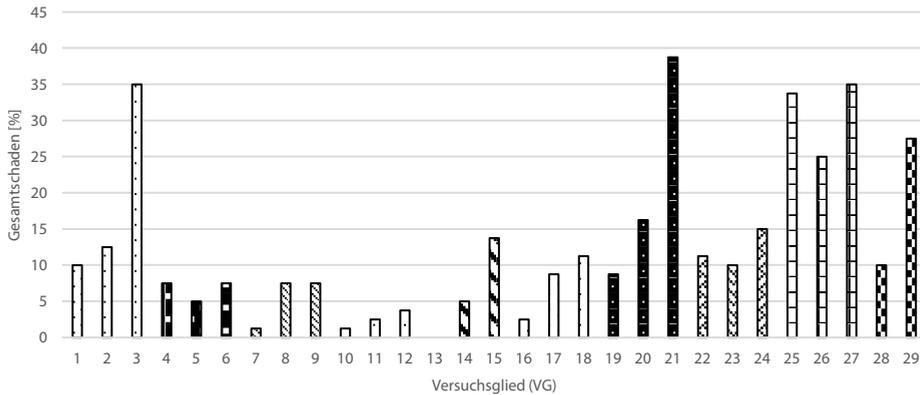


Abb. 4 Gesamtschaden an Leindotter in Abhängigkeit verschiedener Herbizidbehandlungen 16 Tage nach der letzten Applikation

Fig. 4 Total damage to *Camelina sativa* depending on various herbicide treatments 2 weeks before harvest; different small letter show significant differences.

Der Ernteertrag des Versuches lag im Durchschnitt bei 20,1 dt/ha (TM 91 %). Die statistische Auswertung ergab trotz der beobachteten deutlichen Pflanzenschäden keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,2057$) beim Kornertrag.

Diskussion

Die Gewächshausversuche haben gezeigt, dass nur ein kleiner Teil der getesteten Herbizide für den Einsatz beim Leindotter geeignet scheint. Neben Symptomen, wie dem Einrollen der Blätter und Wuchsminderungen kam es auch zum kompletten Absterben der jungen Pflanzen. Herbizide mit den Wirkstoffkombinationen aus Picloram und Clopyralid sind aufgrund der auftretenden Symptome nicht für die Anwendung im Leindotter geeignet. Picloram und Clopyralid gehören beide zur chemischen Familie der synthetischen Auxine. Als solche wirken sie auf das Wachstum der Pflanzen ein (HALL et al., 1985; HALL und VANDEN BORN, 1988), während diese Wirkstoffe im Raps hinreichend selektiv sind, ist die Verträglichkeit im Leindotter nicht gegeben.

Die Applikation von Herbiziden mit dem Wirkstoff Clomazone führte zu den stärksten Schädigungen an den Leindotterpflanzen. Dieser Wirkstoff hemmt die Carotinoidbiosynthese, sodass die Pflanze in der Absorption bestimmter Längenwellen des Lichtes gehemmt wird (FERHATOGLU und BARRETT, 2006). Dies kann, je nach applizierter Menge und dementsprechender Hemmung, zum Absterben der Pflanze führen.

Neben der schädlichen Wirkung bestimmter Wirkstoffe, zeigt auch die Zugabe von Additiven, dass die Wirkung des Herbizides auf den Leindotter verstärkt wird. Deutlich wird dies zum Beispiel bei der Verwendung von Oleo beim Herbizid Kontakt 320.

Die Anwendung verschiedener Strategien, wie die Behandlung in verschiedenen Aufwandmengen und die Kombination mit anderen Herbiziden, diente hierbei der besseren Differenzierung der Selektivität. Die Ergebnisse haben jedoch gezeigt, dass es, trotz sichtbarer Unterschiede, sowohl bei der Bonitur des Gesamtschadens als auch bei den Ernteerträgen keine oder kaum signifikante Unterschiede gab.

Allerdings zeigen die Ergebnisse sehr deutlich, dass die Kombination zweier Herbizide in Vor- und Nachauflauf zumeist zu etwas stärkeren Schäden führen. Gleiches zeigt sich vor allem auch, wenn bei der Nachauflaufbehandlung die Aufwandmenge verdoppelt wird. Bei der Applikation der halben Aufwandmenge gehen die Schäden erwartungsgemäß deutlich zurück. Hier ist es

schwierig ein gutes Verhältnis zwischen ausreichender herbizider Wirkung und geringer Schädigung für die Kulturpflanze zu finden. In fast allen Varianten blieben zumindest Anteile der Hauptunkräuter Schwarzer Nachtschatten und Weißer Gänsefuß unbekämpft in den Parzellen.

Die Auswertung der Ernteerträge ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Auf der Grundlage dieses Feldversuches kann demnach kein Einfluss des angewendeten Herbizides auf die Ertragsmenge festgestellt werden. Da die Daten allerdings auf einem einjährigen Versuch basieren, gilt es diesen in den folgenden Jahren zu wiederholen.

Danksagung

Das hier dargestellte Projekt wird gefördert durch das BMBF im Rahmen des Programmes „Ingenieur-Nachwuchs 2014“.

Literatur

- AGEGNEHU, M., 2000: Untersuchungen zum Ertragsverhalten und zur Ertragsbildung von Leindotter (*Camelina sativa* Crtz.) in Abhängigkeit von pflanzenbaulichen Einflussfaktoren. Berlin, Köster, 119 S.
- FERHATOGLU, Y. and M. BARRETT, 2006: Studies of clomazone mode of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **85** (1), 7–14.
- GRAF, T. und A. VETTER, 1994: Leindotter. Feldversuchsbericht 1992/93. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft und Forsten, 211–214.
- HALL, J.C., P.K. BASSI, M.S. SPENCER und W.H. VANDEN BORN, 1985: An Evaluation by picloram or clopyralid in rapeseed and sunflower plants. *Plant Physiology* **79**, 18–23.
- HALL, J.C. und W.H. VANDEN BORN, 1988: The absence of a role of absorption, translocation, or metabolism in the selectivity of picloram and clopyradid in two plant species. *Weed Science* **36**, 9–14.
- HEYLAND, K.-U., H. HANUS und E.R. KELLER, 2006: Ölfrüchte, Faserpflanzen, Arzneipflanzen und Sonderkulturen. Stuttgart, Ulmer, 718 S.
- KÖRBER-GROHNE, U., 1995: Nutzpflanzen in Deutschland von der Vorgeschichte bis heute. Das kompetente Nachschlagewerk. Hamburg, Nikol, 490 S., [68] Bl.
- MARTINELLI, T. und I. GALASSO, 2011: Phenological growth stages of *Camelina sativa* according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology* **158** (1), 87–94.
- PANNACCI, E. und F. TEI, 2014: Effects of mechanical and chemical methods on weed control, weed seed rain and crop yield in maize, sunflower and soyabean. *Crop Protection* **64**, 51–59.
- RADATZ, W. und W. HONDELMANN, 1981: Samenöhlhaltige Pflanzen der Wildflora als potentielle Nutzpflanzen für die Gewinnung von Industrie Grundstoffen. Literaturübersicht und Zielsetzung. *Landbauforschung Völkenrode* **31** (4), 227–240.
- RÜTHER, H., 1957: Untersuchungen über den Anbauwert von Leindotter als Ölf Frucht. *Zeitschrift landw. Versuchswesen- und Untersuchungswesen* **3**, 571–581.
- SEEHUBER, R. und M. DAMBROTH, 1984: Die Potentiale zur Erzeugung von Industrie Grundstoffen aus heimischen Ölpflanzen und die Perspektiven für ihre Nutzbarmachung. *Landbauforschung Völkenrode* **34** (3), 174–182.
- ZUBR, J. und B. MATTHÄUS, 2002: Effects of growth conditions on fatty acids and tocopherols in *Camelina sativa* oil. *Industrial Crops and Products* **15** (2), 155–162.

Einflussfaktoren auf die Verträglichkeit von Flufenacet-Anwendungen in Roggen

Factors influencing the tolerance of flufenacet applications in winter rye

Bernhard Werner^{1*}, Lüder Bornemann², Felix Haarstrich¹, Benjamin Steinfeld³, Paul Steingröver², Luitpold Scheid³

¹Landwirtschaftskammer Niedersachsen, BST Hannover,
Wunstorfer Landstraße 11, 30453 Hannover

²Landwirtschaftskammer Niedersachsen, BST Bremervörde,
Albrecht-Thaer-Straße 6a, 27432 Bremervörde

³Landwirtschaftskammer Niedersachsen, BST Uelzen,
Wilhelm-Seedorf-Straße 1-3, 29525 Uelzen

*Korrespondierender Autor, bernhard.werner@lwk-niedersachsen.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.021

Zusammenfassung

In Winterroggen, der vorrangig auf leichten Standorten angebaut wird, ist der Gemeine Windhalm (*Apera spica-venti*) eine dominierende Ungrasart. Seine Bekämpfung wird aufgrund zunehmender Resistenzentwicklungen schwieriger. Flufenacet ist in einem Antiresistenzmanagement ein wichtiger Wirkstoff zur Bekämpfung von *A. spica-venti* in Winterroggen. Allerdings kann die Anwendung von Flufenacet zu erheblichen Kulturschäden führen.

In mehrjährigen Versuchen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen wurde der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Verträglichkeit von Flufenacet-Anwendungen in Roggen geprüft. Der Schädigungsgrad der Kulturpflanze steigt mit der Höhe der ausgebrachten Wirkstoffmenge von Flufenacet. Einzelne Sorten reagieren mit Schadsymptomen, Pflanzenausfällen und Ertragsverlusten unterschiedlich stark auf die Anwendung von Flufenacet. Auf Sandböden mit einem geringen Humusgehalt war der Schädigungsgrad am höchsten. Unterschiedliche Korngrößen des Saatgutes zeigten keinen Einfluss auf den Schädigungsgrad durch Flufenacet-Anwendungen oder auf den Ertrag. Möglichkeiten der kulturverträglichen Anwendung von Flufenacet in Winterroggen werden diskutiert.

Stichwörter: *Apera spica-venti*, Flufenacet, Unkrautbekämpfung, Verträglichkeit, Winterroggen

Abstract

In winter rye which is grown mostly on locations with a lighter soil texture loose silky-bent grass (*Apera spica-venti*) is a dominate weed grass. Because of increasing herbicide resistance the control of *A. spica-venti* becomes more difficult. To manage resistant weed grass populations in winter rye flufenacet is a very important active substance. However, the application of flufenacet can lead to substantially culture damage.

The influence of different factors influencing the tolerance of flufenacet applications in rye was proved in field trails carried out by the Landwirtschaftskammer Niedersachsen over several years. The degree of damage of culture increased with a higher amount of flufenacet being applied. Damage, loss of plants and yield loss caused by flufenacet application differed between grown varieties of rye. The highest damage of culture was found on sandy soils with lowest humus content. The size of rye seed had no influence on the degree of damage or yield loss of rye caused by flufenacet application. Options to use flufenacet well-tolerated for winter rye are discussed.

Keywords: *Apera spica-venti*, flufenacet, herbicide tolerance, weed control, winter rye

Einleitung

Winterroggen ist mit einer Anbaufläche in Deutschland, die zurzeit zwischen 600.000 und 800.000 ha/Jahr schwankt, weiterhin eine wirtschaftlich bedeutende Getreideart. Ca. 20 bis 25 % der deutschen Anbaufläche liegen in Niedersachsen. Dort kam es in den letzten Jahren immer wieder zu deutlichen Herbizidschäden im Winterroggen durch die Anwendung flufenacethaltiger Herbizide, die vorrangig zur Bekämpfung des Gemeinen Windhalms (*Apera spica-venti*) eingesetzt werden.

Vor dem Hintergrund zunehmender Herbizidresistenzen von *A. spica-venti* gegenüber unterschiedlichen Wirkstoffgruppen, ALS-Hemmer sind dabei stärker betroffen als ACCase-

Hemmer, sowie gegenüber Wirkstoffen aus der HRAC-Klasse C (RAFFEL et al., 2014), bleibt der Wirkstoff Flufenacet ein wichtiger Baustein im Herbizidresistenzmanagement in Fruchtfolgen mit Winterroggenanbau. So zeigten GEHRING et al. (2014) und WOLBER (2014) dass *A. spica-venti* bisher keine Resistenzen gegenüber Flufenacet ausgebildet hat. Gleichzeitig zeigten SCHRÖDER et al. (2012), dass Bodenherbizide gegen *A. spica-venti* in Feldversuchen die höchsten Wirkungsgrade erzielten.

Bereits im Vorfeld der Zulassung von Flufenacet in Deutschland stellten BENZ et al. (1996) fest, dass es bei der Anwendung dieses Wirkstoffes in den verschiedenen Wintergetreidearten unter bestimmten Bedingungen zu Kulturschäden kommen kann, wobei Winterroggen deutlich stärker betroffen war als Winterweizen oder Wintergerste. Mögliche Schäden sind Blattaufhellungen, Wuchsdepressionen bis hin zu Pflanzenausfällen (SCHEID et al., 2014). In Niedersachsen treten diese Schäden vorrangig auf leichten Böden auf, aber nicht auf jedem Standort und in jedem Anwendungsjahr gleichermaßen. Offensichtlich haben verschiedene anbautechnische Faktoren einen Einfluss auf die Kulturverträglichkeit der Herbizidanwendungen. Um die Wirkung unterschiedlicher Einflussfaktoren auf die Verträglichkeit von Flufenacet-Anwendungen zu spezifizieren hat die Landwirtschaftskammer Niedersachsen, beteiligt waren die Bezirksstellen Bremervörde (BRV), Hannover (H) und Uelzen (UE), in den letzten Jahren Feldversuche zur Flufenacet-Anwendung in Winterroggen mit unterschiedlichen Fragestellungen angelegt. Dargestellt werden im Folgenden 2 verschiedene Versuchsserien aus den Jahren 2012 bis 2015.

Material und Methoden

Datengrundlage für die Betrachtung der Flufenacet-Verträglichkeit in Winterroggen sind Feldversuche aus den Jahren 2012 bis 2015, die an den Standorten Hamerstorf (BST UE), Ohrensen (BST BRV) und Arpke/Immensen (BST H) angelegt wurden. Alle Versuche wurden als randomisierte Blockanlagen mit 4 Wiederholungen angelegt. Die Parzellengröße betrug zwischen 12 und 15 m², die Beerntung erfolgte mit einem Haldrup-Parzellenmähdescher. Die Datenerfassung und -verwaltung erfolgte in Pifaf 5.7, Auswertungen in PifafStat 7.03, bei dem SAS 9.4 als Statistikprogramm hinterlegt ist. In den Darstellungen sind signifikante Unterschiede (t-Test) mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet. Ausgewertet wurden 2 verschiedene Versuchsserien.

In der Versuchsserie 1 aus dem Jahr 2012 wurden auf den Sandstandorten Hamerstorf, Ohrensen und Arpke jeweils ein 3faktorieller Versuch mit den Faktoren Sorte, Korngröße der Saatkörner des Winterroggens und Herbizid angelegt. Die ausgesäten Winterroggensorten waren SU Mephisto, Palazzo und Conduct. Die Sortierung des Roggensaatgutes war Korngröße < 2 cm und Korngröße > 2 cm. Die eingesetzten Herbizide waren als flufenacethaltige Variante 0,3 l/ha Herold (200 g/l Diflufenican und 400 g/l Flufenacet) in Entwicklungsstadium BBCH 7-10 und als flufenacetfreie Variante 1,0 l/ha Falcon (15 g/l Penoxsulam und 100 g/l Diflufenican) in Stadium BBCH 10-11.

In der Versuchsserie 2 aus den Jahren 2013 bis 2015 wurden 7 zweifaktorielle Versuche mit den Faktoren Sorte und Herbizid angelegt. Die dargestellten Sorten sind Palazzo, Brasetto, SU Mephisto, SU Performer und SU Forsetti. Zwei flufenacethaltige Varianten: 0,25 l/ha Cadou SC (500 g/l Flufenacet) und 1,0 l/ha Cadou SC sowie eine flufenacetfreie Variante wurden angelegt. Zur Ausschaltung der Konkurrenz von *A. spica-venti* auch in den flufenacetfreien Varianten wurde in Hamerstorf im Frühjahr in allen Versuchsjahren 1 l/ha Axial Komplett (Pinoxaden 45 g/l; Florasulam 5 g/l und Cloquintocet-mexyl 11,25 g/l) über alle Varianten bzw. in Immensen im Frühjahr 0,9 l/ha Axial 50 (Pinoxaden 50 g/l und Cloquintocet-mexyl 12,5 g/l) nur in den flufenacetfreien Varianten appliziert. In Ohrensen ist in beiden Versuchsjahren in der flufenacetfreien Variante aufgrund der sehr geringen Dichte von *A. spica-venti* keine gräserwirksame Herbizidbehandlung erfolgt. Die Tabelle 1 beschreibt ausführlich die Standorteigenschaften, Aussaatkriterien, Behandlungstermine und die Niederschlagssummen 2 und 4 Wochen nach der Cadou SC-Behandlung.

Tab. 1 Versuchsstandorte einer 3-jährigen Versuchsserie von 2013 – 2015.

Tab. 1 Sites for the trials in 3 years from 2013 – 2015.

| Standortdaten | Standorte | | | | | | |
|--|------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|
| | Hamerstorf | Ohrensen | Immensen | Hamerstorf | Ohrensen | Immensen | Hamerstorf |
| | 2013 | 2014 | 2014 | 2014 | 2015 | 2015 | 2015 |
| Bodenart | Sand | Sand | Sand | Sand | Sand | Sand | Sand |
| Ackerzahl | 26 | 30 | 25 | 29 | 28 | 25 | 25 |
| pH-Wert / org. Substanz | 5,7 / 2,1 | 5,7 / 3,9 | 5,4 / 1,3 | 5,6 / 1,9 | 5,9 / 2,4 | 5,5 / 1,3 | 5,4 / 2,3 |
| Saatbettbereitung | Pflug | Grubber | Grubber | Grubber | Pflug | Grubber | Pflug |
| Saattiefe [cm] | 3 | 2,5 | 2 | 3 | 2,5 | 3 | 2,5 |
| Datum Aussaat | 14.10.2012 | 22.10.2013 | 18.10.2013 | 20.10.2013 | 24.10.2014 | 17.10.2014 | 20.10.2014 |
| Datum Auflauf | 01.11.2012 | 02.11.2013 | 24.10.2013 | 01.11.2013 | 02.11.2014 | 25.10.2014 | 28.10.2014 |
| Aussaatsstärke (Kö./m²) | 180 | 200 | 200 | 200 | 180 | 200 | 200 |
| Cadou SC-Behandlung | 02.11.2012 | 08.11.2013 | 01.11.2013 | 01.11.2013 | 07.11.2014 | 21.10.2014 | 11.11.2014 |
| Herbst / BBCH von - bis | 10 - 10 | 10 - 11 | 10 - 11 | 9 - 11 | 10 - 10 | 0 - 7 | 9 - 11 |
| Niederschlagssumme 14 Tage nach Beh. (mm) | 16 | 55 | 37 | 17 | 0 | 12 | 8 |
| Niederschlagssumme 28 Tage nach Beh. (mm) | 32 | 80 | 45 | 33 | 2 | 20 | 33 |
| Axial-Behandlungen | 22.04.2013 | keine Axial- | 24.03.2014 | 21.03.2014 | keine Axial- | 10.03.2015 | 21.05.2015 |
| Frühjahr / BBCH von - bis | 30 - 30 | Behandlung | 23 - 25 | 23 - 25 | Behandlung | 25 - 27 | 37-39 |

Ergebnisse

Kernfrage der vorliegenden Untersuchungen war die Wirkung verschiedener Einflussfaktoren auf die Verträglichkeit von Flufenacet-Applikationen in Winterroggen.

In der Versuchsserie 1 aus dem Jahr 2012 wurde dieser Frage in einem 3faktoriellen Versuch, durchgeführt auf 3 Standorten, nachgegangen. Tabelle 2 zeigt die einfaktorielle Betrachtung der einzelnen Faktoren Sorte, Korngröße der Saat und Herbizid in ihrer Wirkung auf den Kornertrag im Mittel der Standorte und für die Einzelstandorte. Ertragliche Unterschiede bei den Sorten beruhen im Wesentlichen auf der unterschiedlichen Sortenleistung. Die Korngröße des Saatgutes als Kriterium für die Fitness des Saatgutes hatte auf keinem der drei Standorte einen direkten Einfluss auf das Ertragsergebnis. Der Faktor Herbizid mit Herold als flufenacethaltige und Falkon als flufenacetfreie Variante zeigte im Mittel der Standorte ebenfalls keinen signifikanten Ertragseffekt. Absicherbare Unterschiede traten aber auf dem Standort Arpke auf, wo in der flufenacethaltigen Variante ein geringerer Ertrag geerntet wurde.

Tab. 2 Sorte, Korngröße der Saat und Herbizidanwendung als Einflussfaktor auf den Ertrag von Winterroggen 2012 (n = 3).

Tab. 2 Variety, grain size and herbicide application as factor influencing yield of winter rye (n=3).

| Faktor | | Standorte | | | | |
|------------------|----------------------|------------|------------|------------|------------|--|
| | | Ohrensen | Arpke | Hamerstorf | Mittel | |
| Herbizid | Falkon 1 l/ha | 83,43 n.s. | 77,07 a | 80,05 n.s. | 80,18 n.s. | |
| | Herold SC 0,3 l/ha | 84,48 n.s. | 73,36 b | 79,69 n.s. | 79,18 n.s. | |
| Korngröße | kleinkörnig < 2,0 cm | 84,48 n.s. | 72,75 n.s. | 79,08 n.s. | 78,77 n.s. | |
| | großkörnig > 2,0 cm | 83,43 n.s. | 71,19 n.s. | 80,66 n.s. | 78,43 n.s. | |
| Sorte | SU Mephisto | 91,47 a | 78,07 a | 87,23 a | 85,59 n.s. | |
| | Palazzo | 86,50 b | 72,37 b | 70,50 b | 76,45 n.s. | |
| | Conduct | 73,90 c | 65,46 c | 89,17 a | 76,18 n.s. | |

Eine differenzierte Betrachtung der genannten drei Faktoren (Tab. 3) zeigt aus der Versuchsserie 1 der Einzelversuch am Standort Arpke, einem humusarmen Sandstandort. Obwohl im Herbst an keinem der drei Standorte erkennbare Herbizidschäden auftraten, zeigt die Prüfung des Faktors Herbizid innerhalb des Faktors Sorte und auch innerhalb des Faktors Korngröße durch die Flufenacet-Anwendung jeweils Pflanzenschäden im Frühjahr, eine reduzierte Anzahl Ähren/m² sowie einen geringeren Ertrag als in der flufenacetfreien Variante. Die Herbizidbedingte Ertragsdifferenz war sowohl innerhalb der Sorte Palazzo als auch innerhalb der Korngröße > 2 cm signifikant verschieden.

Tab. 3 Sorte, Korngröße der Saat und Herbizidanwendung als Einflussfaktoren auf die Flufenacet-Verträglichkeit von Winterroggen 2012 (Arpke, n = 1).

Tab. 3 Variety, grain size and herbicide application as factor influencing the tolerance of flufenacet applications in winter rye 2012 (Arpke, n=1).

| Sorte | Korngröße | Herbizid | Phytotox (%) | Ähren / m ² | Ertrag (dt/ha) |
|--|-------------------------|-----------------|--------------|------------------------|----------------|
| SU Mephisto | | Herold 0,3 l/ha | 7,0 | 440,8 | 76,35 ab |
| | | Falkon 1,0 l/ha | 0,0 | 448,8 | 79,81 b |
| Palazzo | | Herold 0,3 l/ha | 15,6 | 421,0 | 70,40 cd |
| | | Falkon 1,0 l/ha | 0,0 | 474,0 | 74,35 b |
| Conduct | | Herold 0,3 l/ha | 18,1 | 406,0 | 64,01 d |
| | | Falkon 1,0 l/ha | 0,0 | 449,3 | 66,93 cd |
| GD 95 %, Sorte x Herbizid, t-Test = 3,75 dt/ha | | | | | |
| | kleinkörnig (< 2 cm) | Herold 0,3 l/ha | 11,4 | 433,8 | 74,85 ab |
| | | Falkon 1,0 l/ha | 0,0 | 466,5 | 76,90 a |
| | großkörnig (> 2 cm) | Herold 0,3 l/ha | 11,3 | 428,0 | 71,87 b |
| | | Falkon 1,0 l/ha | 0,0 | 456,3 | 77,23 a |
| GD 95 %, Korngröße x Herbizid, t-Test = 3,06 dt/ha | | | | | |

Auf der Basis dieser Erkenntnisse wurde in den Jahren 2013 bis 2015 die Versuchsserie 2 mit 7 zweifaktoriellen Versuchen auf 3 verschiedenen Standorten angelegt. Auf den Faktor Korngröße wurde nun verzichtet, dafür wurde eine größere Anzahl Winterroggensorten ausgesät und mit dem Herbizid Cadou reines Flufenacet mit 125 g/ha und 500 g/ha Wirkstoff ausgebracht. Die differenzierte Behandlung der flufenacetfreien Variante wird im Abschnitt Material und Methoden beschrieben. Tabelle 4 zeigt innerhalb der einzelnen auf allen Standorten angebauten Sorten den Einfluss unterschiedlicher Flufenacet-Aufwandmengen auf die Wuchshemmung und die Ausdünnung im Frühjahr sowie auf den Ertrag. Sowohl die Anwendung von 125 g/ha als auch von 500 g/ha Flufenacet im Herbst führte in allen Sorten zu Wuchshemmungen und Ausdünnungen im Frühjahr, wobei die Kulturschäden bei der Aufwandmenge von 500 g/ha Flufenacet deutlich höher waren. Gleichzeitig sind die Erträge innerhalb aller Sorten und auch im Gesamtmittel mit Flufenacet-Anwendung geringer, bei der hohen Flufenacet-Menge von 500 g/ha in der Regel signifikant geringer, als in den flufenacetfreien Varianten.

Ergänzend zu der Auswertung in Tabelle 4 zeigen die linearen Regressionen in Abbildung 1, dass ein direkter Zusammenhang zwischen den im Frühjahr bonitierten Wuchshemmungen des Winterroggens sowie zwischen der Bestandesausdünnung und dem flufenacetbedingten Minderertrag bestehen.

Tab. 4 Einfluss der Flufenacet-Aufwandmenge auf Pflanzenwachstum und Ertrag von Winterroggensorten 2013 – 2015 (n = 7).

Tab. 4 Influence of application rate of flufenacet on plant growth and yield auf winter rye varieties 2013 – 2015 (n=7).

| Sorte | Herbizid | Wuchshemmung (%) | Ausdünnung (%) | Ertragsdifferenz (dt/ha) | Ertrag (dt/ha) |
|---|----------------------------|------------------|----------------|--------------------------|----------------|
| Palazzo | Kontrolle (flufenacetfrei) | 0,00 | 0,9 | 0,00 | 81,37 a |
| | Cadou SC 0,25 l/ha | 4,50 | 8,3 | -5,26 | 76,11 a |
| | Cadou SC 1,0 l/ha | 28,21 | 28,5 | -17,61 | 63,76 b |
| Brasetto | Kontrolle (flufenacetfrei) | 0,00 | 3,0 | 0,00 | 81,69 a |
| | Cadou SC 0,25 l/ha | 6,07 | 10,9 | -6,03 | 75,66 a |
| | Cadou SC 1,0 l/ha | 26,64 | 27,5 | -14,49 | 67,20 b |
| SU Mephisto | Kontrolle (flufenacetfrei) | 0,00 | 0,4 | 0,00 | 82,40 a |
| | Cadou SC 0,25 l/ha | 1,36 | 1,9 | -2,73 | 79,66 ab |
| | Cadou SC 1,0 l/ha | 9,89 | 12,2 | -7,72 | 74,67 b |
| SU Performer | Kontrolle (flufenacetfrei) | 0,00 | 2,0 | 0,00 | 86,28 a |
| | Cadou SC 0,25 l/ha | 1,89 | 3,9 | -3,01 | 83,28 a |
| | Cadou SC 1,0 l/ha | 18,00 | 16,5 | -13,87 | 72,41 b |
| SU Forsetti | Kontrolle (flufenacetfrei) | 0,00 | 1,1 | 0,00 | 83,99 a |
| | Cadou SC 0,25 l/ha | 3,50 | 5,0 | -3,33 | 80,66 a |
| | Cadou SC 1,0 l/ha | 20,39 | 21,0 | -13,05 | 70,95 b |
| GD 95%, Sorte x Herbizid, t-Test = 6,45 dt/ha | | | | | |
| Mittel | Kontrolle (flufenacetfrei) | 0,00 | 1,5 | 0,00 | 83,15 a |
| | Cadou SC 0,25 l/ha | 3,46 | 6,0 | -4,07 | 79,08 a |
| | Cadou SC 1,0 l/ha | 20,63 | 21,2 | -13,35 | 69,80 b |

Ertragsdifferenz = Ertragsdifferenz zur flufenacetfreien Kontrolle; GD 95% im Versuchsmittel, t-Test = 6,10 dt/ha

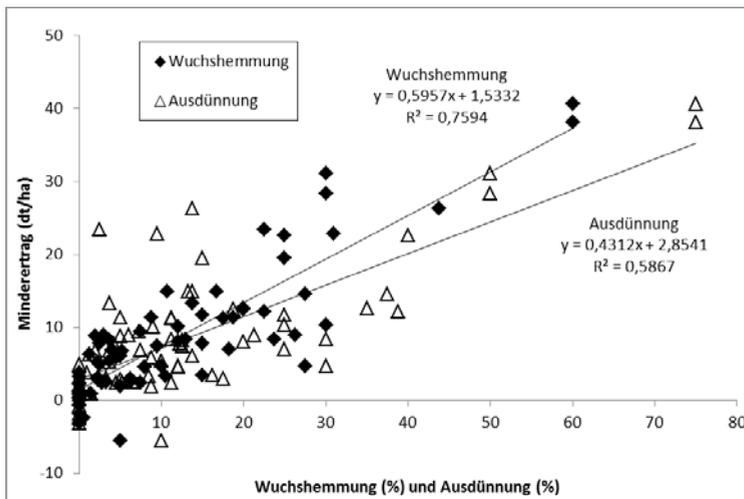


Abb. 1 Minderertrag in Abhängigkeit von Wuchshemmung und Ausdünnung nach Flufenacet-Anwendung in Winterroggen 2013 – 2015 (n = 7).

Fig. 1 Yield loss dependent on reduced growth and thinning caused by flufenacet application in winter rye (2013 – 2015 (n=7)).

Tabelle 5 zeigt die Reaktion verschiedener Winterroggensorten auf die Applikation unterschiedlicher Flufenacet-Mengen. Dargestellt sind die im Frühjahr bonitierten Ausdünnungen und die Ertragsdifferenz zwischen der Behandlung mit 0,25 l/ha Cadou (125 g/ha Flufenacet) bzw. 1 l/ha Cadou (500 g/ha Flufenacet) und der flufenacetfreien Kontrolle im Mittel der Versuchsstandorte. Zusätzlich wird in der Betrachtung nach Standortgruppen differenziert, da sich diese wesentlich im Gehalt an organischer Substanz unterscheiden.

Über alle Standorte zeigt sich ein unterschiedlicher Schädigungsgrad einzelner Sorten durch die Flufenacet-Anwendungen, die geringsten Pflanzenausfälle traten in der Sorte SU Mephisto auf, die höchsten in den Sorten Palazzo und Brasetto. Entsprechend fallen die flufenacetbedingten Mindererträge in den geringer geschädigten Sorten niedriger aus als in den stärker geschädigten Sorten. Mindererträge traten im Mittel der Standorte in allen Sorten nach Flufenacet-Anwendungen auf, bei der hohen Flufenacet-Aufwandmenge von 500 g/ha waren diese zwischen den Sorten signifikant verschieden. Die Differenzierung nach Standortgruppen zeigt die geringsten Schäden für die Standortgruppe Ohrensen mit dem höchsten Humusgehalt und die höchsten Schäden und auch die höchsten Ertragsdifferenzen für die Standortgruppe Immensen mit dem geringsten Humusgehalt. Tendenziell ist aber eine abgestufte Sortenreaktion auf die Flufenacet-Anwendungen auf allen Standortgruppen bei einer unterschiedlichen Ausprägung des Schädigungsgrades an den einzelnen Standortgruppen abzulesen.

Tab. 5 Einfluss von Flufenacet-Aufwandmenge und Sorte auf Pflanzenwachstum und Ertrag von Winterroggen 2013 – 2015 (n = 7).

Tab. 5 Influence of application rate of flufenacet and variety on plant growth and yield auf winter rye 2013 – 2015 (n=7).

| Herbizid | Sorte | Hamerstorf (n=3) | | Ohrensen (n=2) | | Immensen (n=2) | | Mittel (n=7) | |
|-----------------------|----------------|------------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| | | Ausdünnung (%) | Ertragsdifferenz (dt/ha) | Ausdünnung (%) | Ertragsdifferenz (dt/ha) | Ausdünnung (%) | Ertragsdifferenz (dt/ha) | Ausdünnung (%) | Ertragsdifferenz (dt/ha) |
| Cadou SC 0,25 l/ha | Palazzo | 9,3 | -6,16 n.s. | 0,5 | -0,66 n.s. | 14,4 | -8,50 n.s. | 4,3 | -5,26 n.s. |
| | Brasetto | 11,7 | -6,42 n.s. | 0,6 | -3,75 n.s. | 20,0 | -7,73 n.s. | 8,8 | -6,03 n.s. |
| | SU Mephisto | 2,5 | -4,65 n.s. | 0,0 | 0,33 n.s. | 3,0 | -2,91 n.s. | 0,0 | -2,73 n.s. |
| | SU Performer | 7,0 | -3,44 n.s. | 0,8 | -0,56 n.s. | 2,5 | -4,81 n.s. | 4,5 | -3,01 n.s. |
| | SU Forsetti | 4,7 | -3,91 n.s. | 0,6 | -0,13 n.s. | 10,0 | -5,66 n.s. | 2,0 | -3,33 n.s. |
| | Mittel | 7,0 | -4,92 | 0,5 | -0,96 | 10,0 | -5,92 | 3,9 | -4,07 |
| | GD 95%, t-Test | | | 5,77 | | 5,07 | | 4,31 | |
| Cadou SC 1,0 l/ha | Palazzo | 21,5 | -18,59 b | 15,0 | -9,21 n.s. | 52,5 | -24,52 b | 13,3 | -17,61 c |
| | Brasetto | 22,3 | -15,83 b | 10,4 | -5,58 n.s. | 52,5 | -21,38 b | 18,8 | -14,49 bc |
| | SU Mephisto | 8,8 | -9,21 a | 4,5 | -4,65 n.s. | 25,0 | -8,56 a | 5,0 | -7,72 a |
| | SU Performer | 11,7 | -14,54 ab | 9,3 | -8,88 n.s. | 31,0 | -17,86 b | 11,3 | -13,87 b |
| | SU Forsetti | 17,1 | -13,70 ab | 10,5 | -7,44 n.s. | 37,5 | -17,67 b | 11,3 | -13,05 b |
| | Mittel | 16,3 | -14,38 | 9,9 | -7,15 | 39,7 | -18,00 | 11,9 | -13,35 |
| | GD 95%, t-Test | | | 5,5 | | 4,2 | | 7,56 | |

Ertragsdifferenz = Ertragsdifferenz zur flufenacetfreien Kontrolle

Diskussion

Der Gemeine Windhalm ist ein weit verbreitetes Ungras der leichten Standorte. Nach KÖTTER (1991) kann *A. spica-venti* den Getreideertrag durch Konkurrenz um Nährstoffe, Licht, Wasser und Standraum erheblich beeinflussen. Ein besonderes Problem stellt er in Wintergerste, Winterroggen und früh gesättem Winterweizen dar. Im Vergleich zu *Alopecurus myosuroides* führt *A. spica-venti* bei einer gleichen Anzahl generativer Sprosse sogar zu höheren Ertragsausfällen (FRITSCHKE et al., 2012). Auch MELANDER et al. (2008) bestätigen das vorrangige Auftreten von *A. spica-*

venti auf leichten Standorten und sieht zusätzlich einen Zusammenhang des Auftretens mit der Fruchtfolge, der Bodenbearbeitung und den klimatischen Bedingungen. Insbesondere die reduzierte Bodenbearbeitung und ein hoher Anteil an Winterungen in der Fruchtfolge fördere das Auftreten von *A. spica-venti*.

Gleichzeitig wird seine chemische Bekämpfung aufgrund von zunehmender Herbizidresistenzen (DELABAYS, 2006; GEHRING et al., 2014; WOLBER, 2015) immer schwieriger. Nach AUGUSTIN (2014) sind ALS- und Photosystem II-Hemmer stärker betroffen als ACCase-Hemmer, teilweise treten bereits multiple Resistenzen bei Windhalmpopulationen auf. Im Wintergetreide sind dagegen Herbstbehandlungen mit Bodenherbiziden weniger resistenzgefährdet (NIEHOFF, 2015). Zur Vermeidung weiterer Resistenzentwicklungen weisen verschiedene Autoren (KERLEN, 2010; NAUNHEIM, 2014) auf die Notwendigkeit einer Antiresistenzstrategie unter Berücksichtigung eines ackerbaulichen Gesamtsystems hin. Dazu gehören auch ein regelmäßiger Wirkstoffwechsel und leistungsfähige Herbizide.

Aus diesem Grund bleibt der Flufenacet-Einsatz ein wesentlicher Baustein in einem angepassten Herbizidsystem in allen Wintergetreidearten. So sehen GEHRING et al. (2014) und auch WOLBER (2014) noch keine Resistenzentwicklungen von *A. spica-venti* gegenüber Flufenacet. Allerdings kann eine Flufenacet-Anwendung in Winterroggen zu erheblichen Kulturschäden (SCHEID et al., 2014) führen. Dieses Phänomen ist aber nicht neu. Bereits vor der Zulassung von Flufenacet in Deutschland in Getreide beschreiben DEEGE et al. (1996) eine gute Kulturverträglichkeit für Winterweizen und Wintergerste. Aber gleichzeitig zeigte sich in Feldversuchen (BENZ et al., 1996) bereits eine verminderte Verträglichkeit des Flufenacets in Winterroggen. Die Autoren beschreiben Ausdünnungen bei einem mangelhaften Saatbett und einer zu flachen Aussaat, bei der die Positionsselektivität nicht zum Tragen kommt. Negative Ertragsbeeinflussungen wurden aber nicht ermittelt. In den vorliegenden Versuchen wurden dagegen zum Teil erhebliche Kulturschäden festgestellt, obwohl die Saatgutablage auf allen Versuchsstandorten gleichmäßig und die Ablagetiefe jeweils bei 2 bis 3 cm lag. Signifikante Ertragsverluste traten aber in der Regel erst bei hohen Flufenacet-Aufwandmengen auf.

Denkbar wäre auch ein höherer Schädigungsgrad der Kulturpflanze, sobald der herbizide Wirkstoff direkt nach der Ausbringung durch Niederschläge in den Wurzelraum der Kulturpflanze eingespült wird. Auf diesen Effekt führt SCHÖNHAMMER (2004) Schäden nach Flufenacet-Anwendung in Topfversuchen in Wintergerste und Winterweizen zurück, bei denen der Wirkstoff durch Kopfbewässerung in den Wurzelraum verlagert wurde. In den vorliegenden Versuchen kann aber eine direkte Wirkstoffverlagerung durch Niederschläge nicht die Hauptursache für die erfassten Pflanzenschäden sein, da in keinem der Versuche bereits im Herbst Schäden bonitiert werden konnten und die Niederschlagsereignisse 2 bzw. 4 Wochen nach der Herbizidapplikation auf den einzelnen Standorten unterschiedlich aber teilweise auch sehr gering waren.

Da im Frühjahr trotzdem deutliche Schäden auftraten und diese auch nachweislich zu Ertragsverlusten führten, bleibt die Frage nach Einflussfaktoren auf die Metabolisierung des Wirkstoffes im Zeitablauf. Betrachtet man zuerst die Komponente Boden, so sind in den vorliegenden Versuchen deutliche Verträglichkeitsunterschiede zwischen den einzelnen Standortgruppen zu erkennen. Diese Standortgruppen unterscheiden sich wesentlich im Humusgehalt und daraus abgeleitet in der Sorptionsfähigkeit der Böden. So beschreiben GOTTESBÜHREN et al. (1994) die Bedeutung der Sorption von Herbiziden im Boden, z. B. von Chlortoluron, und ihre Konsequenz für Abbauraten und Verlagerung der Herbizide im Boden. Nach BERGER (2002) liegt der optimale Bereich für den mikrobiellen Abbau von herbiziden Wirkstoffen bei einem Anteil von 1,5 – 3,5 % organischer Substanz im Boden. Bei einem niedrigeren Gehalt stünden nicht ausreichend Mikroorganismen für den Abbau zur Verfügung, bei hohen organischen Gehalten sei die Festlegung des Wirkstoffes zu hoch und der Abbau verzögert. Dieser Zusammenhang erklärt die höchsten Schädigungsgrade des Roggens am Standort Immensen mit Humusgehalten von nur 1,3 %.

Es bleibt die Frage nach dem unterschiedlichen Schädigungsgrad einzelner Winterroggensorten. Denkbar wäre, dass unterschiedliche Roggensorten mit verschiedenen genetischen Herkünften eventuell den Wirkstoff in der Pflanze unterschiedlich schnell abbauen können. Zumindest zeigten BIESELER et al. (1997) mit ¹⁴C-markiertem Wirkstoff, dass die Metabolisierung des Wirkstoffes Flufenacet in unterschiedlichen Ackerbaukulturen verschieden war und sehen darin eine der wichtigsten Ursachen für eine beobachtete Herbizidverträglichkeit von Kulturpflanzen. Ob dieser Effekt auch Ursache für beobachtete Sortenunterschiede in der Toleranz von Winterroggensorten sein kann, lässt sich leider nicht abschließend klären. Zwingend notwendig wäre aber ein regelmäßiges Sortenscreening auf die Flufenacet-Verträglichkeit von Winterroggen, um unter anderem über eine gezielte Sortenwahl auch auf Grenzstandorten mit geringen Humusgehalten eine in der Aufwandmenge angepasste Flufenacet-Anwendung möglich zu machen.

Literatur

- AUGUSTIN, B., 2014: Entwicklung von Herbizidresistenzen bei Windhalm *Apera spica-venti* in Rheinland-Pfalz. Julius-Kühn-Archiv **447**, 135.
- BENZ, W., D. FEUCHT und G. MACHEFER, 1996: Mehrjährige Versuchserfahrungen mit BAY FOE 5043, einem neuen Wirkstoff zur Ungrasbekämpfung in Getreide. J. Plant Dis. Protect., Special Issue **XV**, 475-483.
- BERGER, B., 2002: Maßnahmen zur Unkrautbekämpfung – Chemische Verfahren. in ZWINGER, P. und H. U. AMMON, 2002: Unkraut – Ökologie und Bekämpfung. Verlag Eugen Ulmer, 140-200.
- BIESELER, B., C. FEDTKE, T. NEUEFEIND, W. ETZEL, L. PRADÉ und P. REINEMER, 1997: Maisselektivität von FOE 5043: Abbau des Wirkstoffes durch Glutathion-S-Transferasen. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer **50/1997,2**, 117-142.
- DEEGE, R., D. FEUCHT, H. FÖRSTER und M.A. TICE, 1996: BAY FOE 5043: Ein neues Herbizid zum Einsatz in Mais, Getreide, Kartoffeln und anderen Kulturen. J. Plant Dis. Protect., Special Issue **XV**, 469-474.
- DELABAYS, N., G. MERMILLOD und CH. BOHREN, 2006: First case of resistance to sulfonylurea herbicides reported in Switzerland: a biotype of loose silky-bent (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.). J. Plant Dis. Protect., Special Issue **XX**, 89-94.
- FRITZSCHE, R., E. SEEMANN, B. WERNER, F. DE MOL und B. GEROWITT, 2012: Informationsgewinn aus Herbizidversuchen – Auswertung von Feldversuchen der Bezirksstelle Hannover aus den Jahren 2003 – 2009. Julius-Kühn-Archiv **434**, 409-416.
- GEHRING, K., T. FESTNER und S. THYSSEN, 2014: Entwicklung der Herbizidresistenz bei Windhalm (*Apera spica-venti*) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **447**, 551-552.
- GOTTESBÜHREN, B., D. FEUCHT und G. MACHEFER, 1996: Mehrjährige Versuchserfahrungen mit BAY FOE 5043, einem neuen Wirkstoff zur Ungrasbekämpfung in Getreide. J. Plant Dis. Protect., Special Issue **XV**, 475-483.
- KERLEN, D., 2010: Resistenzmanagement und Ursachenanalyse am Beispiel von Ackerfuchsschwanz und Gemeinem Windhalm in Deutschland. Julius-Kühn-Archiv **428**, 275.
- KÖTTER, U., 1991: Entwicklung und Konkurrenzverhalten von Windhalm (*Apera spica-venti*) in Winterweizen und Winterroggen. Gesunde Pflanzen **6**, 184-189.
- MELANDER, B., N. HOLST, P.K. JENSEN, E.M. HANSEN und J.E. OLESEN, 2008: *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.
- NAUNHEIM, H.-P., 2014: Der Landwirt hat es (mit) in der Hand. Getreidemagazin **6**, 13-15.
- NIEHOFF, T.-K., 2014: Windhalm über die Fruchtfolge bekämpfen. Getreidemagazin **5**, 24-28.
- RAFFEL, H., I. MEINERS und CH. KRATO, 2014: Aktuelle Situation zur Herbizidresistenz bei Ungräsern und Konsequenzen für die Praxis. Julius-Kühn-Archiv **447**, 133-134.
- SCHEID, L., L. BORNEMANN, F. HAARSTRICH, B. STEINFELD, P. STEINGRÖVER und B. WERNER, 2014: Phytotox durch Flufenacet in Roggen. Julius-Kühn-Archiv **447**, 138-139.
- SCHÖNHAMMER, A., J. FREITAG und M. SCHNEIDER, 2004: Die Verbesserung der Wirksamkeit von Gräserherbiziden in Wintergetreide durch Pendimethalin. J. Plant Dis. Protect., Special Issue **XIX**, 647-656.
- SCHRÖDER, G., E. MEINELSCHMIDT, R. BALGHEIM, E. BERGMANN und K. GÖßNER, 2012: 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 2001-2011. Julius-Kühn-Archiv **434**, 301-312.
- WOLBER, D.M. 2014: Resistenzentwicklung von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Gemeiner Windhalm) in Niedersachsen 2013 – zunehmend auch gegen Pinoxaden. Julius-Kühn-Archiv **443**, 280-286.
- WOLBER, D.M., 2015: Ackerbauliche Maßnahmen gegen resistente Unkräuter! Getreidemagazin **4**, 8-16.

Chemical and mechanical weed control in soybean (*Glycine max*)

Chemische und mechanische Unkrautkontrolle in Sojabohne (Glycine max)

Jonas Felix Weber*, Christoph Kunz, Roland Gerhards

University of Hohenheim, Institute of Phytomedicine,
Otto-Sander-Straße 5, 70599 Stuttgart, Germany

*Corresponding author, J.Weber@uni-hohenheim.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.022

Abstract

In this study we investigated the possibility of chemical and mechanical weed control strategies in soybean. Soybean field experiments were carried out in 2013 and 2014 in Southern Germany. Five treatments including common herbicide mixtures and four mechanical weed control treatments, implementing a harrow and a hoe, were tested at different locations. In the herbicide experiments two treatments were applied by PRE emergence herbicides (metribuzin, clomazone, dimethenamid and metribuzin, flufenacet, clomazone) and another two treatments were sprayed with a combination of PRE + POST emergence herbicides (metribuzin, flufenacet, thifensulfuron and pendimethalin, thifensulfuron, bentazone, cycloxydim). Furthermore, a POST herbicide treatment was implemented (thifensulfuron, bentazone, thifensulfuron and fluzafop-P-butyl). In the mechanical weed control experiments, treatments were: three times hoeing, PRE emergence harrowing plus three times hoeing, hoeing and harrowing in rotation or three times harrowing. In both experiments an untreated control was included. A 90% weed control efficacy and 23% yield increase was observed in the POST herbicide treatment. PRE + POST treatments resulted in 92% to 99% weed control efficiency and 15% yield increase compared to the untreated control. In the mechanical weed control experiments the combination of PRE emergence harrowing and POST emergence hoeing resulted in 82% weed control efficiency and 34% higher yield compared to the untreated control. Less weed control efficiency (72%) was observed in the harrow treatment, leading to 20% higher yield compared to the control. The suitability of both strategies for implementation in "Integrated Weed Management" has been investigated.

Keywords: Harrowing, herbicide, hoeing, soybean, weed control efficacy

Zusammenfassung

In den Jahren 2013 und 2014 wurden Feldversuche mit chemischen und mechanischen Strategien zur Unkrautkontrolle in Sojabohnen angelegt. Die chemischen Experimente setzten sich aus fünf Herbizidvarianten und einer Kontrolle zusammen. In zwei der Varianten wurden Vorauffaflerherbiziden mit den Wirkstoffen Metribuzin, Clomazone und Dimethenamid (Variante 1) und einer Kombination aus Metribuzin, Flufenacet und Clomazone (Variante 2) eingesetzt. Zwei weitere Varianten beinhalteten Herbizide aus dem Vor- und Nachauflauf mit den Wirkstoffen Metribuzin, Flufenacet und Thifensulfuron (Variante 3) sowie Pendimethalin, Thifensulfuron, Bentazon und Cycloxydim (Variante 4). Die fünfte Variante beinhaltete eine reine Nachauflaufstrategie mit den Wirkstoffen Thifensulfuron, Bentazon, Thifensulfuron und Fluzafop-P-butyl. In den mechanischen Experimenten wurde in Variante 1 drei Hacküberfahrten durchgeführt. In den weiteren Varianten wurde entweder im Vorauffafl gestriegelt und anschließend ebenfalls dreimalig gehackt (Variante 2), die Hacke und der Striegel im Nachauflauf abwechselnd eingesetzt (Variante 3) oder ausschließlich der Striegel zur Unkrautkontrolle verwendet (Variante 4). Zudem wurde eine Kontrollvariante in der die Unkräuter von Hand reguliert (Variante 5) wurden und eine Variante ohne jegliche Unkrautkontrolle durchgeführt (Variante 6). Eine Effizienz in Bezug auf die Unkrautkontrolle von 90 % konnte in den Nachauflaufferbiziden beobachtet werden. Die Varianten mit Vorauffaflerherbiziden und den Kombinationen aus Vor- und Nachauflaufferbiziden zeigten Werte von 92 % bis 99 % verglichen mit der unbehandelten Kontrolle. Der Ertragszuwachs in der Nachauflaufvariante betrug 23 % während in den Varianten mit Kombination aus Vor- und Nachauflauf ein Ertragszuwachs von 15 % verglichen zu unbehandelten Kontrolle erfasst wurde. In den Versuchen mit mechanischer Unkrautkontrolle zeigte die Variante aus Vorauffaflstriegeln mit anschließend dreimaligem Hacken im Nachauflauf einen Bekämpfungserfolg von 82 % und eine Ertragssteigerung von 34 % verglichen mit der Kontrollvariante. Bei dem Einsatz des Stiegels (Variante 4) konnte eine Unkrautkontrolle von 72 % bei einer Ertragssteigerung von 20 % beobachtet werden.

Stichwörter: Hacken, Herbizide, Sojabohne, Striegeln, Unkrautkontrolle

Introduction

During the last decades, the demand of soybean products increased in central Europe. Currently, soybean requirements are covered by imports from North- and South-America. Plant improvements resulted in the adaption of soybean cultivation to the cool growing season of the Central European climatic conditions. In the early development stages, soybean plants are highly competed for resources and nutrients by weeds (VAN ACKER et al., 1993). Therefore weed control is mandatory in the early growth stages. In Europe the most common weed species found in soybean are *Echinochloa crus-galli* (L.) P. beauv., *Chenopodium album* (L.) and *Amaranthus retroflexus* (L.) (SCHROEDER et al., 1993). Weed control is commonly performed either by chemical products or mechanically. UNSLEBER (2015) pointed out different gaps in the effectiveness of herbicides concerning different weed species. In this study different combinations of herbicides, registered in soybean, were proofed to evaluate weed control efficiency at different locations. KUNZ et al. (2015) presents the potential of mechanical weed control by hoeing and harrowing for sugar beet and soybean. In conventional hoeing intra row weed control is often inadequate. The aim of this study was to investigate chemical and mechanical weed control strategies and their ability in weed control efficiency at different locations.

Materials and Methods

Field experiments were carried out in 2013 and 2014 in Southern Germany. Chemical weed control was performed at three locations: "Main-Tauber-Kreis", "Ortenaukreis" and "Tübingen". The experiments included five different herbicide treatments and one untreated control. Treatments differed in active ingredients (a.i.), herbicide rate and application time (Tab. 1). PRE and POST herbicides were spread in BBCH 03-05 and BBCH 12-17, respectively.

Tab. 1 Deployed herbicides, mode of actions and application rate of the treatments. ToA = Time of application.

Tab. 1 Eingesetztes Produkt, der Wirkstoff und die Aufwandmenge der Varianten. ToA = Time of application (Applikationszeitpunkt).

| Chemical experiments | | | | |
|----------------------|------|-------------------------------------|--|--|
| Treat- ment | ToA | Trade name | Active ingredients (a.i.) | Rate of a.i. [g ha ⁻¹] / [ml ha ⁻¹] |
| 1 | PRE | Spectrum + Sencor + Centium | dimethenamid + metribuzin + clomazone | 576 + 210 + 90 |
| 2 | PRE | Artist + Centium | metribuzin + flufenacet + clomazone | 350 + 480 + 72 |
| 3 | PRE | Artist | metribuzin + flufenacet | 350 + 480 |
| 4 | POST | Harmony | thifensulfuron | 3.75 |
| | PRE | Stomp Aqua | pendimethalin | 682.5 |
| | POST | Harmony + Basagran + Focus Ultra | thifensulfuron + bentazone + cycloxydim | 3.75 + 960 + 150 |
| 5 | POST | Harmony + Basagran | thifensulfuron + bentazone | 3.75 + 960 |
| | POST | Harmony + Fusilade Max | thifensulfuron + fluazifop-P-butyl | 3.75 + 125 |
| 6 | | Control | | |

The mechanical weed control experiments were conducted at the locations Freiburg (2013) and Stuttgart (2013 and 2014). The experiments include four different mechanical treatments, one treatment where all the weeds were removed manually and an untreated control (Tab. 2). A goose foot hoe was used in treatment 1 – 3. In treatment 2, a harrow was utilized additionally before soybean emergence. Hoe and harrow were used in rotation (treatment 3) and pre- and post-emergence harrowing was performed in treatment 4.

Tab. 2 Description of the treatments and time of application (growth stage of the crop). "PRE" = pre emergence, "POST" = post emergence. "*" = not performed in Stuttgart (2013).

Tab. 2 Beschreibung der Versuchsvarianten und Anwendungszeitpunkt (Wachstumsstadium). „PRE“ = pre emergence (Vorauflauf), „POST“ = post emergence (Nachauflauf). „*“ = nicht durchgeführt in Stuttgart (2013).

| Mechanical experiments | | | | | | |
|------------------------|--------------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|--|
| Treatment | Description | Time of application (BBCH of Soybean) | | | | |
| | | PRE (03-05) | POST (10-12) | POST (14-16) | POST (18-22) | |
| 1 | Hoe | | x | x | x ^(*) | |
| 2 | Harrow + Hoe | x | x | x | x ^(*) | |
| 3 | Harrow + Hoe in rotation | | x | x | x ^(*) | |
| 4 | Harrow | x | x | x | x ^(*) | |
| 5 | Weed free | | x | | x | |
| 6 | Untreated Control | | | | | |

Experiments were carried out as a randomized complete block design with four blocks. Each block contained one replication of all treatments. Plot size was 2 × 10 m in the chemical experiments and 3 × 15 m in the mechanical experiments. In the herbicide experiments, weed density was visually estimated first in BBCH 12 - 16 and second in BBCH 22 - 26 of the soybean plants. For the mechanical experiment, weeds were counted with a 0.5m² frame at 3 random positions within each plot. Statistical analysis was conducted with R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014) using RStudio (Version: RStudio 0.98.501). Prior to analyses the data were checked for normal distribution and homogeneity of variance. The means of every treatment were compared with Tukey's HSD (honest significant difference) test.

Results

Weed control

The results of the chemical weed control experiments are illustrated in Figure 1a. The results of the mechanical weed control are shown in Figure 1b. Weed control efficiency ranged from 72% (harrowing) up to 99% (Artist, Centium). All treatments resulted in significantly higher weed control efficiency compared to the untreated control. Concerning the herbicide experiments, efficacy was significantly increased in treatment 2 and 3 (98.5%) compared to treatment 5 (90.1%). Treatment 1 (92%) and treatment 4 (94%) showed no statistically difference compared to treatment 2, 3 and 5.

In the mechanically treated plots, all treatments had significantly higher weed control efficacy compared to the untreated control. Yet, all treatments showed significantly less weed control efficiency, than the hand controlled treatment (100%). Values ranged from 72% (harrow) up to 82% (harrow and hoe). Treatment 1 (hoe) and treatment 3 (harrow and hoe in rotation) resulted in 78% and 79% weed control efficacy, respectively. There was no significant difference between all mechanical treatments. The chemical treatments resulted in 17% higher weed control efficiency compared to the mechanical ones if we exclude the hand weeded treatments from the calculations (Fig. 1).

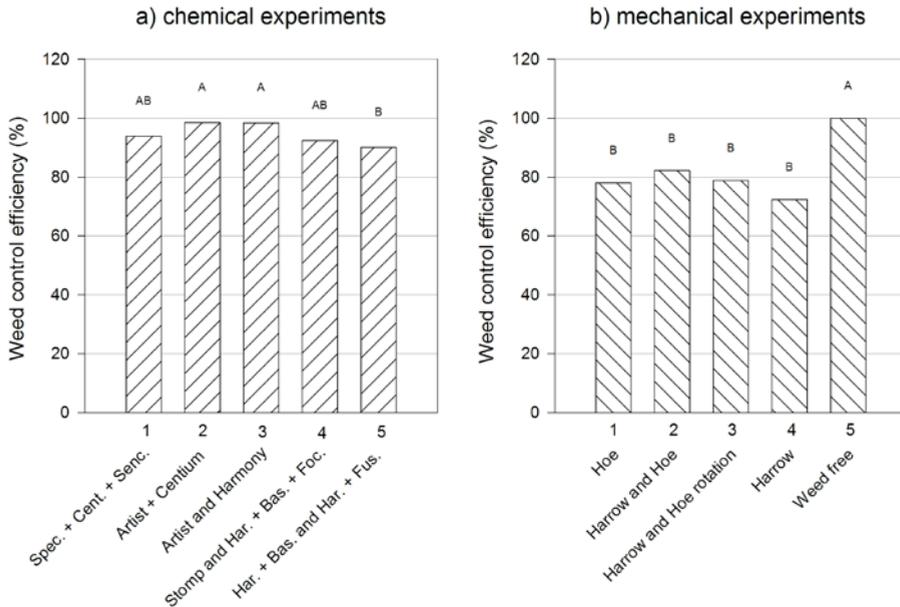


Fig. 1 Weed control efficiency compared to the untreated control in percentage of the different treatments. a) Chemical and b) mechanical experiments. Different letters indicate significant differences between treatments ($p < 0.05$). Spec. = Spectrum, Cent. = Centium, Senc. = Sencor, Har. = Harmony, Bas. = Basagran, Foc. = Focus Ultra and Fus. = Fusilade Max.

Abb. 1 Effektivität der Unkrautregulierung der unterschiedlichen Varianten verglichen mit der unbehandelten Kontrolle in Prozent. Links sind die chemischen (a) und rechts die mechanischen (b) Versuche abgebildet. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten ($p < 0,05$). Spec. = Spectrum, Cent. = Centium, Senc. = Sencor, Har. = Harmony, Bas. = Basagran, Foc. = Focus Ultra und Fus. = Fusilade Max.

Soybean yield

Results concerning the yield increase compared to the untreated control for the herbicide experiments can be found in Figure 2a and for the mechanical experiments in Figure 2b. All treatments, from both experiments resulted in higher yields (13% till 37%) compared to the untreated control. The mean over all treatments in the herbicide experiment was 17% yield increase compared to the untreated control. No statistically differences were observed between the different chemical combinations. In the mechanical experiment even though the yield increase was lower for all treatments compared to the weed free treatment only the harrow (treatment 4) was found statistically different. Between the 4 different mechanical treatments there was no difference. Treatments 1 to 3 (hoe, harrow and hoe, harrow and hoe in rotation) resulted in increased yield by 31%, 34% and 27%, respectively. Treatments 1 and 2 of the mechanical weed control experiment observed higher yields compared to all herbicide combinations. In the herbicide experiment only the chemical treatment 5 showed higher yields than harrowing and the rotation between hoeing and harrowing.

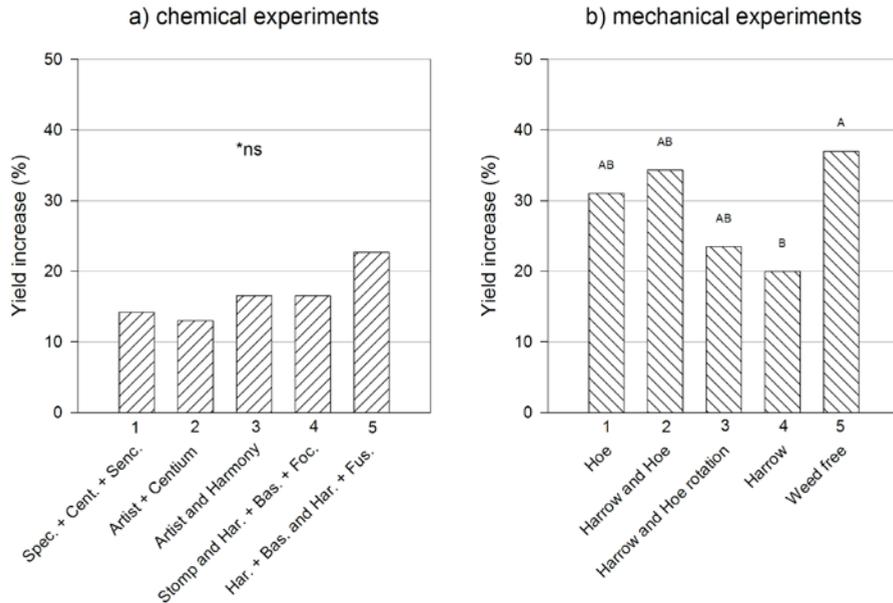


Fig. 2 Increase of yield compared to the untreated control in percentage of the different treatments. a) Chemical and b) mechanical experiments. Different letters indicate significant differences between treatments ($p < 0.05$). Spec. = Spectrum, Cent. = Centium, Senc. = Sencor, Har. = Harmony, Bas. = Basagran, Foc. = Focus Ultra and Fus. = Fusilade Max.

Abb. 2 Ertragszuwachs der unterschiedlichen Varianten verglichen mit der unbehandelten Kontrolle in Prozent. Links sind die chemischen (a) und rechts die mechanischen (b) Versuche abgebildet. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten ($p < 0,05$). Spec. = Spectrum, Cent. = Centium, Senc. = Sencor, Har. = Harmony, Bas. = Basagran, Foc. = Focus Ultra und Fus. = Fusilade Max.

Discussion

Weed control

PRE herbicides and the combination of PRE and POST herbicides lead to high weed control efficiency (treatment 1 - 4). This is in accordance with GEHRING (2014) in similar soybean herbicide experiments. Herbicide treatment 4 with the a.i. pendimethalin obtained a gap in the efficiency regard to *Matricaria chamomilla* and *Avena fatua* compared to treatment 1 - 3 with the a.i. metribuzin. The higher metribuzin content in treatment 2 and 3 (Artist, 350 g a.i. ha⁻¹) compared to treatment 1 (Sencor, 210 g a.i. ha⁻¹) can explain the difference in higher weed control efficiency (GREEN et al., 1988; SALZMAN and RENNER, 1992).

In the given study insufficient weed control was found for harrowing. It strongly depends on soil moisture content (KURSTJENS and KROPPF, 2001) and occurring weed species (PULLEN and COWELL, 1997). Therefore weed control by harrowing differed in location and year and resulted in less efficiency. Weeds were highly controlled in the inter row area by hoeing. Yet the efficiency was less compared to the hand weeded control. The increased weed control efficiency of the chemical experiment (+17%) compared to the mechanical treatments can be explained by the lower efficiency of the mechanical treatments at the intra row area and different environmental conditions. For hoeing, additional tools for the regulation of weeds close to the crop row area are needed. Precision farming methods with higher accuracy help steering the hoe close to the crop area by the use of Real Time Kinematic (GNSS-RTK) and camera steered systems. Furthermore,

different “intra row” implements (finger weeder, torsion weeder, heap element and rotary harrow) can be used (KUNZ et al., 2015).

Soybean yield

PRE herbicide treatments resulted in lower yields compared to the POST herbicides and mechanical treatments. However, higher weed control efficiency was observed in these treatments. DONALD (1998) described crop damage caused by PRE herbicides as a reason for yield losses in soybean similar to treatment 1 - 4 compared with treatment 5. The minor yield increase of the herbicide treatments can be explained by the low weed density in the untreated control of the chemical experiments. Therefore the yield increases in the mechanical treatments were higher. BUHLER (1992) described fewer yield in mechanical treatments compared to herbicide treatments under high weed pressure. For further results, mechanical and chemical strategies should be included in one experiment and repeated at different locations and environmental conditions.

We conclude that chemical weed control results in high weed control efficiency, but also entails the risk of crop damage. More research in crop tolerance and extended spectrum of registered herbicides is needed. Mechanical weed control treatments revealed less weed control efficiency especially in the intra row area. Furthermore, mechanical weed control in combination with precise implements can help for reducing herbicides and safe proper yields.

References

- VAN ACKER, R., C.J. SWANTON, S.F. WEISE and A. PRESS, 1993: The Critical Period of Weed Control in Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Weed Sci.* **41**(2), 194–200.
- BUHLER, D.D., J.L. GUNSOLUS and D.F. RALSTON, 199: Integrated Weed Management Techniques to Reduce Herbicide Inputs in Soybean. *Agron. J.* **84**, 973–978.
- DONALD, W.W., 1998: Estimated soybean (*Glycine max*) yield loss from herbicide damage using ground cover or rated stunting. *Weed Sci.* **46**(4), 454–458.
- GEHRING, K., T. FESTNER, R. GERHARDS, K. HÜSGEN and S. THYSSEN, 2014: Chemical weed control in soybean (*Glycine max*, L.). *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 701–708.
- GREEN, J.M., T.T. OBRIGAWITCH, J.D. LONG and J.M. HUTCHISON, 1988: Weed Science Society of America Metribuzin and Chlorimuron Mixtures for Preemergence Broadleaf Weed Control in Soybeans, *Glycine max* '. *Weed Sci.* **2**(3), 355–363.
- KUNZ, C., J.F. WEBER and R. GERHARDS, 2015: Benefits of Precision Farming Technologies for Mechanical Weed Control in Soybean and Sugar Beet—Comparison of Precision Hoeing with Conventional Mechanical Weed Control. *Agronomy* **5**(2), 130–142.
- KURSTJENS, D.A.G. and M.J. KROPPF, 2001: The impact of uprooting and soil-covering on the effectiveness of weed harrowing. *Weed Res.* **41**(3), 211–228.
- PULLEN, D.W.M. and P.A. COWELL, 1997: An evaluation of the performance of mechanical weeding mechanisms for use in high speed inter-row weeding of arable crops. *J. Agric. Eng. Res.* **67**(1), 27–34.
- R CORE TEAM, 2014: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2012.
- SCHROEDER, D., H. MUELLER-SCHAERER and C.S.A. STINSON, 1993: A European weed survey in 10 major crop systems to identify targets for biological control. *Weed Res.* **33**(6), 449–458.
- UNSLERER, J., 2015: Chemische Beikrautregulierung - Liste der bei Soja eingesetzten Herbizide. Available at <https://www.sojafuerderring.de/wp-content/uploads/2013/12/Sojaherbizide1.pdf> (verified 8 August 2015).

Weed flora, yield losses and weed control in cotton crop

Unkrautflora, Ertragsverluste und Unkrautkontrolle in Baumwolle

Khawar Jabran

Department of Plant Protection, Adnan Menderes University Aydin, Turkey
khawarjabran@gmail.com



DOI 10.5073/jka.2016.452.023

Abstract

Cotton (*Gossypium* spp.) is the most important fiber crop of world and provides fiber, oil, and animals meals. Weeds interfere with the growth activities of cotton plants and compete with it for resources. All kinds of weeds (grasses, sedges, and broadleaves) have been noted to infest cotton crop. Weeds can cause more than 30% decrease in cotton productivity. Several methods are available for weed control in cotton. Cultural control carries significance for weed control up to a certain extent. However, mechanical control and chemical control are the backbone of weed management plans in cotton crop. Use of allelopathy has also been found effective for suppressing weeds in cotton. Allelopathy used in several forms (such as intercropping, mulches, and crop rotation) contributes to weed control in cotton crop. All of these weed management practices may be integrated to achieve economical and sustainable weed control in cotton with an ultimate result of improved weed control, productivity, quality of produce in cotton crop.

Keywords: Cotton, weed-crop competition, weed management, yield losses

Zusammenfassung

Baumwolle (*Gossypium* spp.) ist die bedeutsamste Faserpflanze der Welt und dient als Faser-, Öl- und Tiernahrungsquelle. Unkräuter beeinträchtigen das Wachstum der Baumwollpflanzen indem sie mit den Pflanzen um essentielle Ressourcen konkurrieren. Verschiedene Unkrautarten (Gräser, Seggen und dikotyle Arten) sind in Baumwolle bekannt und können zu Ertragsverlusten von mehr als 30 % führen. Für die Unkrautkontrolle in Baumwolle stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Die Anwendung von ackerbaulichen Maßnahmen kann zu einem gewissen Teil zur Unkrautbekämpfung beitragen. Mechanische und chemische Verfahren werden aber als die wichtigsten Maßnahmen zur Unkrautkontrolle in Baumwolle angesehen. Auch der Einsatz von allelopathischen Einflüssen kann als wirkungsvolle Maßnahme eingestuft werden. Allelopathie kann in verschiedenen Formen (Zwischenfrüchte, Mulch and Fruchtfolge) genutzt werden und so zur Unkrautkontrolle in Baumwolle beitragen. Um eine ökonomische und nachhaltige Unkrautbekämpfung in Baumwolle sicherzustellen, sollten alle genannten Verfahren gemeinsam eingesetzt werden. Nur so kann das Ziel einer verbesserten Unkrautkontrolle, einer erhöhten Produktivität und einer verbesserter Qualität der Baumwolle erreicht werden.

Stichwörter: Baumwolle, Ertragsverluste, Unkraut-Kultur-Interaktion, Unkrautmanagement

Introduction

Cotton is not only among the most important cash crop of world but also a source of several of our daily use-items. Cotton provides raw material for fiber, clothes, vegetable oil, and animal meals. Moreover, the crop remains of cotton plants can be used as manure. Cotton was grown in Indus valley of Pakistan more than 3000 years BC (IQBAL et al., 2001; MOULHERAT et al., 2002).

Cotton has four species which are under cultivation worldwide. These are *Gossypium arboreum* L., *Gossypium barbadense* L., *Gossypium herbaceum* L. and *Gossypium hirsutum* L. Nevertheless, *G. hirsutum* is the most grown species of cotton which more than three-fourth area under this crop. Growing cotton requires a warm environment with a low relative humidity (USMAN et al., 2013). China, India, USA, Pakistan and Brazil are the most important cotton producing countries of world. Australia is the country which obtains highest per hectare yield of cotton (<http://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=cotton&graph=yield>).

Cotton can be planted by using either the conventional tillage or conservation tillage (BLAISE, 2006; USMAN et al., 2013). Moreover, cultivation of organic cotton is also getting popularity these days. Usually, wide distance is maintained between the crop rows by wide placement of seeds, while

plants are sown close enough to maintain rows with low plant-plant distance. Sowing of cotton crop on beds or ridges can result in considerable reduction in water inputs for optimum crop productivity (THIND et al., 2010). Variety of cotton planters are available which can plant cotton seed on all kind of soils i.e. either flat, beds or ridges. Produce can be picked from mature cotton plants (just at or before the start of winter season) with the help of mechanical harvester or manually.

Cotton plants are highly sensitive to abiotic and biotic stresses. The abiotic stresses on cotton may include a moisture stress (usually a drought stress), heat stress and salinity stress (LAW et al., 2001; LUO et al., 2008; MASSACCI et al., 2008). Biotic stresses are more damaging for cotton crop than the abiotic stresses. Cotton is among the crops which are attacked by hundreds of pests in the form of viruses, disease pathogens, insect pests and weeds which together can cause a yield loss of >80% in this crop (OERKE, 2006). A number of weed species infest the cotton fields (DOGAN et al., 2014). Weeds such as *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Trianthema portulacastrum* L., *Convolvulus arvensis* L., *Cyperus rotundus* L., *Conyza canadensis* L. and *Sorghum halepense* (L.) Pers. can be quoted as the most important examples in this regard (KALIVAS et al., 2012; DOGAN et al., 2014). The weeds can severely decrease cotton productivity and can negatively affect the lint quality. In this article, we have reviewed the important weeds of cotton crop, the yield losses caused by these weeds and the salient weed control methods in cotton.

In addition to yield losses, weeds can also pose other damages to cotton crop. This can include a provision of habitat to other pests such as viruses, insect pests and disease pathogens. *Ambrosia artemisiifolia* L. co-occurring in cotton was found to support the survival of cotton insect pest *Bimisia tabaci* (ZHANG et al., 2014). Also, many of cotton weeds create a difficulty in the harvest of the crop (SMITH et al., 2000).

A critical issue for weed management in cotton is the evolution of herbicide resistant weeds. Abundant use of specific herbicides caused a selection of tolerant species which ultimately resulted in build-up of a pool of resistant weeds. The situation is particularly alarming for fields where glyphosate has been used in glyphosate-resistant cotton. Many weeds have become resistant while several are increasing their tolerance to applied doses of glyphosate (WEBSTER and SOSNOSKIE, 2010). For example, *Commelina benghalensis* L. and *A. palmeri* (WEBSTER and SOSNOSKIE, 2010). Evolution of multiple resistance (against glyphosate and pyriithiobac, an ALS-inhibiting herbicide) is also on record for problematic weeds like *A. palmeri* (SOSNOSKIE et al., 2011). The best way to deal the danger of herbicide resistance evolution in weeds is the use of integrated weed management and practice most appropriate agronomic management techniques (NORSWORTHY et al., 2012).

Weed flora, and yield losses in cotton

A very rich weed flora infests cotton fields. Weed types such as sedges, grasses and broadleaves can be noted to compete with cotton crop. The most important weeds in cotton crop include *Amaranthus palmeri* S. Watson, *Amaranthus retroflexus* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Chenopodium album* L., *Convolvulus arvensis* L., *Cucumis melo* L., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Conyza canadensis* (L.) Cronquist, *Cyperus rotundus* L., *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Eleusine indica* (L.) Gaertn., *Portulaca oleracea* L., *Solanum nigrum* L., *Sorghum halepense* (L.) Pers., and *Xanthium strumarium* L. (CULPEPPER and YORK, 1998; SMITH et al., 2000; WOOD et al., 2002; TINGLE and STEELE, 2003; KALIVAS et al., 2012; ÖZASLAN and BÜKÜN, 2013; USMAN et al., 2013; DOGAN et al., 2014; BERGER et al., 2015; XIAO-YAN et al., 2015).

Negative impact of weeds on yield and quality of cotton are also evident. Weeds can suck more water than cotton plants and compete for light and nutrients with cotton plants, ultimately the yields are decreased significantly (BERGER et al., 2015; NALINI et al., 2015). Four plants of *E. indica* in one meter row of cotton crop were found to decrease number of bolls per plant by 25% and the cotton yield by >20% (XIAO-YAN et al., 2015). In another study, *C. melo* reduced the cotton yield by

34% if ten plants of this weed were present in a ten meter long row of cotton (TINGLE and STEELE, 2003). Overall, weeds have the potential to reduce the global cotton production by more than 35% (OERKE, 2006).

Preventive weed control in cotton

Like all other crops, the major focus should be on preventive measure for controlling weeds in cotton. Clean cultivation, use of clean (weed-seed free) seed, fertilizer and water can be mentioned as salient preventive weed control techniques for cotton crop (RIAR et al., 2013). Clean cultivation focus on keeping the field, its boundaries, water channels, farm roads and farm area free from weeds and their germ plasm (FRISVOLD et al., 2009). The objective of this is to keep a check on spread of weeds in the cotton fields. In many farms (particularly in developing countries), the farmers may use a cotton seed which was produced at their own farm. Such seeds can contain weed-seeds which will help in spread of weeds in the coming season. Use of weed-seed free cotton seed is advocated to keep the cotton fields free from weeds in upcoming crop season (FRISVOLD et al., 2009). Fertilizer (farm manures) and water may contain some weed-seed which can aggravate the issue of weeds in cotton. Principally, farm manure and water applied to cotton crop should not contain any kind of foreign objects or weed seeds. In addition, farm machinery may be cleaned after using in a field containing weeds. Another important part of preventive measure includes cutting of mature weed plants before the spread their seeds (RIAR et al., 2013).

Cultural weed control in cotton

Cultural practices are important after preventive measure as environment friendly techniques. All across the globe, several cultural weed control options are available for cotton crop. Such practices are cheap or even costless, and are easily adjustable in the weed management plan for cotton. The most important of these may include crop rotation, stale seedbed, soil solarization, suitable sowing time, use of appropriate variety, plant spacing and sowing method for weed control in cotton.

Crop rotation in general improves the crop productivity through its advantages such as improved weed control, improved soil productivity and others. Crop rotation if performed will damage the established (cotton associated) weeds. For example, if field is put under rice rather than cotton for a season, this tactic may help in control of many weeds such as sedges. Stale seedbed is another important cultural practice for suppressing weeds in cotton. Using this technique, the germinated weeds in ploughed and fallow fields are controlled by employing tillage or a non-selective herbicide (DOGAN et al., 2009). Ultimately, weed-free fields are available for sowing cotton and subsequent healthy crop and high yields. Soil solarization is a cultural technique like stale seedbed. In this method, the ploughed and fallow fields are covered with plastic sheets. These sheets raise the soil temperature by entrapping the sunlight. The temperature of soil environment is raised significantly which causes death of weeds and also damages the weeds seeds. Cotton is grown in warm areas, hence, the soil solarization (as a technique that uses sunlight to kill weeds) is an appropriate technique for cotton crop.

There are several agronomic management techniques which can help to lower the levels of weed infestation in cotton. For example, sowing time of cotton can be adjusted in accordance with the appearance time of first flush of weeds in cotton fields. Moreover, sowing a competitive cotton variety and planting seeds close can improve the competitiveness of cotton crop against weeds.

Generally, a very fine seedbed is prepared for cotton crop. Unless the farm is following a conservation agriculture system, the field is ploughed, cultivated and ploughed more than once before sowing the cotton seeds (KEISLING et al., 1995). In many farms, well-prepared seedbed is given the shape of beds or ridges for sowing cotton seeds. All of this process helps to kill all the germinated weeds in the field. Ultimately, a weed-free cotton field is provided for several days after crop sowing. An important way is to combine flat sowing of cotton with ridge sowing. This

means half of the crop season, the cotton crop is on flat field, while for rest of season, it is on ridges. In this scheme, the crop is sown on flat land that will be followed by natural emergence of weeds. The emerging weeds may be treated with a mechanical hoeing, the same field is then made into ridges by adding soil on both sides of cotton plant trunks with help of ridger. This will help to burry most of the weeds infesting field. This method has been reported very effective in suppressing the weeds in cotton field. Modern robotic machines can also play a significant role in killing the weeds in cotton fields. However, more research work is needed for successful launch of such weed control programs.

Mechanical weed control in cotton

Mechanical control has a significant role in weed management plans in cotton crop (OWEN et al., 2015). A wide variety of tools are available for accomplishing mechanical weed control in cotton. These include the conventional tractor drawn weeders as well as manually operated robot weeders. Recently, automatic robot weeders have also been developed for weed control in cotton. In many parts of world, farmers use to practice mechanical weed control in cotton with tractor drawn weeders. Usually, they repeat this practice more than once in a season depending on the intensity of weed infestation in the field.

Hand-weeding is still practiced in several parts of world. The established weeds can particularly be eradicated using hand-pulling or hand-hoeing. A few plants of a notorious weeds which were not controlled by other weed control methods (such as herbicide resistant weeds) may be destroyed by hand-weeding (OWEN et al., 2015). Hand-weeding may have an important role where cotton is grown for subsistence farming (MAVUNGANIDZE et al., 2014).

Allelopathic weed control in cotton

Evidence from recent literature indicate that allelopathy can be used for managing weeds in cotton (KHALIQ et al., 2007; FAROOQ et al., 2011; JABRAN et al., 2015). Allelopathic crops such as sesame, soybean and sorghum intercropped with cotton helped to control weeds, improve the dry matter production by cotton plants and increase the lint yield and economic benefits (IQBAL et al., 2007). Other than intercropping, the allelopathic cover crops grown in cotton rows can help to suppress the weeds (VASILAKOGLU et al., 2006). The cover crops are reported to have suppressive effect against weeds and neutral effect on growth of cotton plants (VASILAKOGLU et al., 2006). Similarly, another way is to use allelopathic plant residues between the cotton rows for controlling weeds (CAAMAL-MALDONADO et al., 2001).

Chemical weed control in cotton

Herbicides have a great role in managing weeds in cotton. Herbicides make the weed control in cotton easy, efficient and economical. Pre-emergence herbicides are the first option for chemical weed control in cotton. Some early post-emergence herbicides are also available for application in cotton. In addition, lay-by application of non-selective herbicides for weed control in cotton has also been reported (OWEN et al., 2015). Introduction of glyphosate, dicamba and glufosinate resistant cotton helped to revolutionize the weed control in cotton.

Knowledge about the current weeds infesting a cotton field is important for deciding the most appropriate herbicide. Information regarding the kind of weeds, their growth stage and density will help to select the proper chemical treatment. All of this information should be obtain through mapping weeds individually in each field at a particular farm.

Pre-emergence herbicides are usually applied before or immediately after the seedbed preparation but generally prior to crop sowing. Under certain cases, pre-emergence herbicide application immediately after cotton sowing has also been noted. Moisture content is important for herbicide activity in the soil. Pendimethalin and trifluralin are the most common herbicides that are applied for a pre-emergence weed control in cotton (KEELING et al., 1996). The others in this

list may include fluometuron and metolachlor (CULPEPPER and YORK, 1998; KRUTZ et al., 2009). Post-emergence herbicides are also available for weed control in cotton. For example, post-emergence application of trifloxysulfuron-sodium was effective in controlling several weeds in cotton (BRECKE and STEPHENSON, 2006). *Melochia corchorifolia* L., *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC., *Senna obtusifolia* L. and *Ipomea lacunosa* L. were found highly susceptible to this herbicide in the cotton fields (BRECKE and STEPHENSON, 2006). Other post-emergence herbicides effective in suppressing weeds in cotton may include haloxyfop-R-methyl, haloxyfop-R-methyl + lactofen, and fluzifop-P-butyl (GRICHAR et al., 2003; USMAN et al., 2013). An option of using early post-emergence or post-emergence as lay-by application of herbicides is also available for controlling weeds in cotton (BARNETT et al., 2013).

Herbicide resistant cotton allows a free application of non-selective herbicides for control of all kind of weeds. For example, B2XF cotton is a glyphosate-, glufosinate- and dicamba-resistant cotton variety which has been released for cultivation. Early post-emergence application of dicamba was highly effective in controlling *A. palmeri* which is among the problematic cotton weeds (CAHOON et al., 2015). Similarly, cotton variety 'GlyTol® LibertyLink® cotton' allows a combined application of glyphosate and glufosinate. This provides a highly effective weed control in cotton (REED et al., 2014).

Conclusions

Several weeds infest the cotton fields, compete with cotton plants for moisture, light and nutrients, and decrease the cotton productivity and fiber quality. Evolution of herbicide resistance in weeds is one of the major issues in successful accomplishment of weed control in cotton. Multiple weed control options including allelopathy, cultural practices, mechanical control and herbicide application are available for weed control in cotton. Use of more than one of these methods in integration with each other may provide long-term weed control.

References

- BARNETT, K.A., A.S. CULPEPPER, A.C. YORK and L.E. STECKEL, 2013: Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) control by glufosinate plus fluometuron applied postemergence to WideStrike® cotton. *Weed Technol.* **27**(2), 291-297.
- BERGER, S.T., J.A. FERRELL, D.L. ROWLAND and T.M. WEBSTER, 2015: Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) competition for water in cotton. *Weed Sci.* **63**, 928-935.
- BLAISE, D., 2006: Effect of tillage systems on weed control, yield and fibre quality of upland (*Gossypium hirsutum* L.) and Asiatic tree cotton (*G. arboreum* L.). *Soil Till. Res.* **91**, 207-216.
- BUKUN, B., 2004: Critical periods for weed control in cotton in Turkey. *Weed Res.* **44**(5), 404-412.
- CAAMAL-MALDONADO, J.A., J.J. JIMÉNEZ-OSORNIO, A. TORRES-BARRAGÁN and A.L. ANAYA, 2001: The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. *Agron. J.* **93**(1), 27-36.
- CAHOON, C. ., A.C. YORK, D.L. JORDAN, W.J. EVERMAN, R.W. SEAGROVES, A.S. CULPEPPER and P.M. EURE, 2015: Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) management in dicamba-resistant cotton. *Weed Technol.* **29**, 758-770.
- CULPEPPER, A.S. and A.C. YORK, 1998: Weed management in glyphosate-tolerant cotton. *J. Cotton Sci.* **2** (4), 174-185.
- DOGAN, M.N., A. ÜNAY, Ö. BOZ and D. ÖGÜT, 2009: Effect of presowing and pre-emergence glyphosate applications on weeds in stale seedbed cotton. *Crop Prot.* **28**, 503-507.
- DOGAN, M.N., K. JABRAN and A. UNAY, 2014: Integrated weed management in cotton. In: *Recent Advances in Weed Management*, CHAUHAN, B.S. and G. MAHAJAN, The Netherlands, Springer, 197-222.
- FAROOQ, M., K. JABRAN, Z.A. CHEEMA, A. WAHID and K.H.M. SIDDIQUE, 2011: The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Manage. Sci.* **67**(5), 493-506.
- FRISVOLD, G.B., T.M. HURLEY and P.D. MITCHELL, 2009: Adoption of best management practices to control weed resistance by corn, cotton, and soybean growers. *AgBioForum* **12**, 370-381.
- GRICHAR, J., B.A. BESLER, K.D. BREWER and R.G. LEMON, 2003: Interaction of pyriithiobac and graminicides for weed control in cotton (*Gossypium hirsutum*). *Weed Technol.* **17**, 461-466.
- IQBAL, J., Z.A. CHEEMA and M. AN, 2007: Intercropping of field crops in cotton for the management of purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.). *Plant Soil* **300**(1-2), 163-171.
- IQBAL, M.J., O.U.K. REDDY, K.M. EL-ZIK and A.E. PEPPER, 2001: A genetic bottleneck in the 'evolution under domestication' of upland cotton *Gossypium hirsutum* L. examined using DNA fingerprinting. *Theor. Appl. Genet.* **3**, 547-554.
- JABRAN, K., G. MAHAJAN, V. SARDANA and B.S. CHAUHAN, 2015: Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Prot.* **72**, 57-65.

- KALIVAS, D.P., C.E. VLACHOS, G. ECONOMOU and P. DIMOU, 2012: Regional mapping of perennial weeds in cotton with the use of geostatistics. *Weed Sci.* **60**(2), 233-243.
- KEISLING, T.C., R.F. FORD and H.D. SCOTT, 1995: Tillage systems for cotton on Mississippi river delta and loessial plains soils. *Commun. Soil Sci. Plan.* **26**(3-4), 441-452.
- KHALIQ, A., K. JABRAN, M.N. MUSHTAQ, A. RAZZAQ and Z.A. CHEEMA, 2007: Reduction of herbicide dose using allelopathic crop/plant water extracts with lower rates of pendimethlin in cotton. (*Gossypium hirsutum* L.). 8th National Weed Science Conference, G. C. University, Lahore. June 25-27, 2007.
- KRUTZ, L.J., M.A. LOCKE and R.W. STEINRIEDE, 2009: Interactions of tillage and cover crop on water, sediment, and pre-emergence herbicide loss in glyphosate-resistant cotton: implications for the control of glyphosate-resistant weed biotypes. *J. Environ. Qual.* **38**(3), 1240-1247.
- LAW, D.R., S.J. CRAFTS-BRANDNER and M.E. SALVUCCI, 2001: Heat stress induces the synthesis of a new form of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activase in cotton leaves. *Planta* **214**(1), 117-125.
- LUO, Z., H.Z. DONG, W.J. LI, W. TANG and D.M. ZHANG, 2008: Combined effects of waterlogging and salinity on plant growth and some physiological parameters in cotton seedling leaves. *Cotton Sci.* **3**, 011.
- MASSACCI, A., S.M. NABIEV, L. PIETROSANTI, S.K. NEMATOV, T.N. CHERNIKOVA, K. THOR and J. LEIPNER, 2008. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiol. Biochem.* **46**(2), 189-195.
- MAVUNGANIDZE, Z., I.C. MADAKADZE, J. NYAMANGARA and P. MAFONGOYA, 2014: The impact of tillage system and herbicides on weed density, diversity and yield of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.) under the smallholder sector. *Crop Prot.* **58**, 25-32.
- MOULHERAT, C., M. TENGBERG, J-F. HAQUET and B. MILLE, 2002: First evidence of cotton at Neolithic Mehrgarh, Pakistan: analysis of mineralized fibres from a copper bead. *J. Arch. Sci.* **29**, 1393-1401.
- NALINI, K., P. MURHUKRISHNAN, C. CHINNUSAMY and C. VENNILA, 2015: Weeds of cotton—a review. *Agric. Rev.* **36**(2), 140-146.
- NORSWORTHY, J.K., S.M. WARD, D.R. SHAW, R.S. LLEWELLYN, R.L. NICHOLS, T.M. WEBSTER, K.W. BRADLEY, G. FRISVOLD, S.B. POWLES, N.R. BURGOS, W.W. WITT, and M. BARRETT, 2012: Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. *Weed Sci.* **60**, 31-62.
- ORKE, E.C., 2006: Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.* **144**, 31-43.
- OWEN, M.D., H.J. BECKIE, J.Y. LEESON, J.K. NORSWORTHY and L.E. STECKEL, 2015: Integrated pest management and weed management in the United States and Canada. *Pest Manage. Sci.* **71**(3), 357-376.
- ÖZASLAN, C. and B. BÜKÜN, 2013: Determination of the weeds in cotton fields in Southeastern Anatolia region of Turkey. *Soil-Water J.* **2**(2), 1777-1788.
- REED, J.D., J.W. KEELING and P.A. DOTRAY, 2014: Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) management in GlyTol® LibertyLink® cotton. *Weed Technol.* **28**, 592-600.
- RIAR, D.S., J.K. NORSWORTHY, L E. STECKEL, D.O. STEPHENSON, T.W. EUBANK, J. BOND and R. SCOTT, 2013: Adoption of best management practices for herbicide-resistant weeds in midsouthern United States cotton, rice, and soybean. *Weed Technol.* **27**(4), 788-797.
- SMITH, D.T., R.V. BAKER and G.L. STEELE, 2000: Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) impacts on yield, harvesting, and ginning in dryland cotton (*Gossypium hirsutum*). *Weed Technol.* **14**, 122-126.
- SOSNOSKIE, L.M., J. M. KICHLER, R.D. WALLACE and A.S. CULPEPPER, 2011: Multiple resistance in palmer amaranth to glyphosate and pyriithiobac confirmed in Georgia. *Weed Sci.* **59**, 321-325.
- THIND, H.S., G.S. BUTTAR and M.S. AUJLA, 2010: Yield and water use efficiency of wheat and cotton under alternate furrow and check-basin irrigation with canal and tube well water in Punjab, India. *Irrigation Sci.* **28**(6), 489-496.
- TINGLE, C. H. and G.L. STEELE, 2003: Competition and control of smelldmelon (*Cucumis melo* var. dudaim Naud.) in cotton. *Weed Sci.* **51**, 586-591.
- USMAN, K., N. KHAN, M.U. KHAN, A.U. REHMAN and S. GHULAM, 2013: Impact of tillage and herbicides on weed density, yield and quality of cotton in wheat based cropping system. *J. Integr. Agric.* **12**, 1568-1579.
- VASILAKOGLU, I., K. DHIMA, I. ELEFTHEROHORINOS and A. LITHOUGIDIS, 2006: Winter cereal cover crop mulches and inter-row cultivation effects on cotton development and grass weed suppression. *Agron. J.* **98**(5), 1290-1297.
- WEBSTER, T.M. and L. M. SOSNOSKIE, 2010: Loss of glyphosate efficacy: a changing weed spectrum in Georgia cotton. *Weed Sci.* **58**(1), 73-79.
- WOOD, M.L., D.S. MURRAY, J.C. BANKS, L.M. VERHALEN, R.B. WESTERMAN and K.B. ANDERSON, 2002: Johnsongrass (*Sorghum halepense*) density effects on cotton (*Gossypium hirsutum*) harvest and economic value. *Weed Technol.* **16**, 495-501.
- XIAO-YAN, M.A, W.U. HAN-WEN, J. WEI-LI, M.A. YA-JIE and M.A. YAN, 2015: Goosegrass (*Eleusine indica*) density effects on cotton (*Gossypium hirsutum*). *J. Integr. Agric.* **14**, 1778-1785.
- ZHANG, X., N. YANG, F. WAN and G.L. LÖVEI, 2014: Density and seasonal dynamics of *Bemisia tabaci* (Gennadius) Mediterranean on common crops and weeds around cotton fields in Northern China. *J. Integr. Agric.* **13**, 2211-2220.

Integrierter Pflanzenschutz im DB-Konzern in Deutschland - Leitlinien für eine nachhaltige Vegetationspflege im Rahmen der Instandhaltung von Anlagen und Flächen

Integrated Pesticide Management at the Deutsche Bahn in Germany - guidelines for the sustainable vegetation management for maintenance of constructions and areas

Michael Below

Deutsche Bahn AG, Ressort Wirtschaft, Recht und Regulierung, TUM(N) Naturschutz, Schutzgutmanagement, Caroline-Michaelis-Straße 5-11, 10115 Berlin
michaelbelow@deutschebahn.com



DOI 10.5073/jka.2016.452.024

Zusammenfassung

Für ein nachhaltiges Vegetationsmanagement hat die Deutsche Bahn Leitlinien erstellt, die sich an den Anforderungen der EU-Richtlinie 2009/128/EG orientieren. Damit werden integrierte Verfahren umgesetzt wie z.B. vorbeugende Maßnahmen, Einhaltung des notwendigen Maßes und die Erfolgskontrolle von Maßnahmen. Im Detail werden konkrete Handlungsempfehlungen für sämtliche Anlagen und Flächen der Deutschen Bahn gegeben, auf denen unterschiedliche Rechtsvorschriften und Anforderungen erfüllt werden müssen. Die Leitlinien liegen daher differenziert für unbefestigte Flächen, befestigte Flächen sowie für Gleisanlagen vor.

Stichwörter: Befestigte Flächen, Nationaler Aktionsplan, Richtlinie 2009/128/EG

Summary

The Deutsche Bahn has compiled guidelines for a sustainable vegetation management which follows the Directive 2009/128/EC. This integrated management includes tools like preventive measures, ensuring of the necessary level and check of success of applied plant protection measure. In detail, practical guidance for all constructions and areas are given where different legal regulations and requirements have to be implemented. The specific guidelines are available for unpaved surfaces, hard surfaces and railway tracks.

Keywords: Directive 2009/128/EC, hard surfaces, National Action Plan

Einleitung

Im Besitz der Deutschen Bahn AG befinden sich neben Flächen für die in Betrieb befindlichen Infrastruktureinrichtungen (Gleisanlagen, Bahnhöfe, Energieversorgungseinrichtungen etc.) auch weitere Areale, die nicht oder nicht mehr für den Eisenbahnbetrieb erforderlich sind. Auf allen Flächen können sich Vegetationsbestände entwickeln. Dies ist auf der einen Seite erwünscht, um zum Beispiel Böschungen und Dämme zu stabilisieren. Auf der anderen Seite darf der sichere Eisenbahnbetrieb oder auch die Verkehrssicherheit gegenüber Dritten nicht beeinträchtigt werden. Deshalb ist es in den meisten Fällen erforderlich Vegetationspflegearbeiten durchzuführen. In den DB-Leitlinien für eine nachhaltige Vegetationspflege im Rahmen der Instandhaltung von Anlagen und Flächen wird beschrieben wie die Deutsche Bahn AG diese Pflegemaßnahmen im Sinne der EU-Richtlinie 2009/128/EG durchführt. Sie unterstreicht damit ihren Anspruch, Umweltvorreiter zu sein.

Rechtliche Regelungen

In den DB-Leitlinien werden die folgenden drei Bereiche unterschieden: unbefestigte Flächen, befestigte Flächen und Gleisanlagen. Der rechtliche Rahmen für diese Areale umfasst nicht nur die Regelungen zum Eisenbahnverkehr (Allgemeines Eisenbahngesetz) und der Verkehrssicherheit (Bürgerliches Gesetzbuch), sondern auch zahlreiche Fachgesetze wie zum Beispiel das Bundesnaturschutzgesetz, Wasserhaushaltsgesetz, Bundeswaldgesetz u.v.m. Daneben gelten natürlich auch die Regelungen zum Pflanzenschutz (Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen).

In den allgemeinen Grundsätzen zur Vegetationskontrolle im DB-Konzern in Deutschland wird Bezug auf den Anhang III der EU-Richtlinie 2009/128/EG genommen. Dieser beinhaltet die

Berücksichtigung und Beschreibung der folgenden Elemente als wesentliche Inhalte für zu erstellende Leitlinien zum Integrierten Pflanzenschutz:

- (1) Vorbeugende Maßnahmen
- (2) Befallsermittlung
- (3) Entscheidungshilfen
- (4) Vorzug nicht-chemischer Verfahren
- (5) Pflanzenschutzmittelauswahl
- (6) Notwendiges Maß
- (7) Resistenzmanagement
- (8) Dokumentation/ Erfolgskontrolle

Diese acht Grundsätze werden auf den Managementprozess der Deutschen Bahn mit den nachfolgenden Schritten angewendet:

- (1) Inspektion
- (2) Bewertung des Inspektionsergebnisses
- (3) Planung und Durchführung von Maßnahmen
- (4) Bewertung des Behandlungserfolges bzw. Abnahme der (Fremd)Leistungen
- (5) Dokumentation der durchgeführten Maßnahmen

Struktur der Leitlinien

a) Leitlinien für unbefestigte Flächen:

In den Bereich der Leitlinie für unbefestigte Flächen fallen alle Areale außerhalb der Gleisanlagen, die keine Oberflächenversiegelung aufweisen wie Böschungen in An- und Einschnitten, Waldflächen oder auch andere Brachflächen, deren Oberflächenbeschaffenheit durch mehrjährigen Gehölzbewuchs und sonstigen Pflanzenwuchs gekennzeichnet sind. Die Pflanzen haben grundsätzlich positive Effekte auf diesen Flächen, wenn sie beispielsweise in Böschungs- und Dammbereichen als natürlicher Stabilisator für den Boden fungieren. Im Gegensatz dazu können auch Pflanzenschutz- oder Vegetationskontrollmaßnahmen erforderlich werden, wenn betriebliche bzw. technische Anforderungen eingeschränkt werden. So zum Beispiel das Unterschreiten von Mindestabständen zu elektrischen Anlagen und Leitungen oder das Auftreten von Schädlingen und Kalamitäten wie Riesenbärenklau oder des Eichenprozessionsspinner mit Gefährdungen für Dritte und Mitarbeiter.

Im Sinne der Richtlinie 2009/128/EG Anhang III wird in diesen Bereichen als vorbeugende Maßnahme die Anpflanzung von standortgerechtem Pflanzgut bei Neu- und Ausbaivorhaben vorgesehen. Im Bestand zielen die Pflegemaßnahmen auf die Entwicklung von Vegetationsbeständen ab, die standortgerecht und vital sind und dadurch weniger anfällig für Krankheiten.

Darüber hinaus werden die Bestände regelmäßig durch geschulte Mitarbeiter inspiziert, um mögliche Schäden zu erkennen, die zu Gefährdungen des Eisenbahnbetriebs oder der Verkehrssicherheit führen können. In Ergänzung werden auch Hinweise Dritter überprüft bzw. berücksichtigt, wenn diese zwischen den Inspektionsintervallen eingehen.

Bei der Notwendigkeit von Pflanzenschutz-/ Vegetationskontrollmaßnahmen werden diese sowohl mit den beauftragten Fachfirmen als auch den zuständigen Behörden abgestimmt. In diesen Bereichen kommen für krautige Pflanzen und strauchartige Gehölze grundsätzlich nur mechanische Verfahren wie Mähen oder Mulchen zum Einsatz. Ansonsten werden Rückschnittverfahren oder das Fällen mit Motorkettensägen eingesetzt. Lediglich beim Vorkommen von Schädlingen, invasiven Neophyten oder anderen problematischen Arten können im Einzelfall auch chemische Verfahren zum Einsatz kommen. Sie werden dann in Abstimmung (Mittelwahl) und mit Genehmigung der zuständigen Behörde durch die beauftragten Fachfirmen durchgeführt. Die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln wird entsprechend der DB-internen Regelung dokumentiert.

b) Leitlinien für befestigte Flächen:

Die Kategorie der befestigten Flächen wird in einer weiteren eigenen Leitlinie beschrieben. Die Areale dieser Leitlinie umfassen versiegelte Flächen außerhalb der Gleisanlagen, die aus verschiedenen Materialien bestehen können z.B. wassergebundene Decken, Pflastersteine oder Bitumen. Diese Flächen können u. a. Betriebswege, Lagerplätze oder Bahnsteige umfassen. In diesen Bereichen sind verschiedene Sicherheitsbedürfnisse bzw. Schutzzwecke zu berücksichtigen. So ist die Verkehrssicherheit, z.B. auf öffentlich zugänglichen Wegen und Plätzen ebenso zu gewährleisten wie der Personen- und Arbeitsschutz, beispielsweise auf Arbeitswegen.

Grundsätzlich sind die Bekämpfungsmaßnahmen zur Beseitigung der Vegetation je nach Oberflächenbeschaffenheit in unterschiedlicher Intensität notwendig.

Im Rahmen der Planungen sollen die Flächen grundsätzlich so konstruiert werden, dass eine Besiedelung durch Pflanzen erschwert wird (z.B. durch eine vollständige Versiegelung der Oberfläche bzw. mit geringem Fugenanteil). In der Regel werden die meisten dieser Flächen sehr intensiv genutzt, so dass in Kombination mit der üblichen Reinigung ein vorbeugender Effekt in Bezug auf die Besiedelung entsteht. Zusätzlich soll durch regelmäßiges Mähen bzw. Mulchen der angrenzenden Flächen das Einwachsen in diese Bereiche vermindert werden.

Die Inspektion der Flächen erfolgt in der Regel durch beauftragte Fachfirmen bzw. bahninterne Dienstleister. In diesen Bereichen kommen grundsätzlich nicht-chemische Verfahren zum Einsatz, wobei eine Behandlung zu einem möglichst frühen Zeitpunkt bspw. mittels Infrarot-Behandlung erfolgen sollte, um gute Erfolge zu erzielen

c) Leitlinien für Gleisanlagen:

Der Gleisbereich wird aufgrund seiner Besonderheit in einer eigenen Leitlinie beschrieben. Es werden drei Ausprägungen von Gleisanlagen unterschieden: (a) Hauptgleise der freien Strecke, (b) durchgehende Hauptgleise in Personenbahnhöfen und (c) Nebengleise in Rangier- und Umschlagbahnhöfen.

Des Weiteren ist eine Differenzierung in zwei Fahrwegkonstruktionen erforderlich: (a) Schotteroberbau (traditionell) und (b) Betonoberbau der festen Fahrbahn (Anwendung im Hochgeschwindigkeitsverkehr). Die an den Oberbau angrenzenden Rand- oder Rangierwege bestehen aus mineralischen Materialien und sind für beide Konstruktionen gleich.

1. Die Notwendigkeit von Vegetationskontrollen in Gleisanlagen ergibt sich aus folgenden Aspekten: Sicherheit, z.B. Bremsfunktion und Signalsichten auf niedrig stehende Signale.
2. Betrieb und Technik, z.B. Lagestabilität des Gleises: humose Bestandteile halten das Wasser im Oberbau fest, in Folge kann es zu Frostaufbrüchen und Gleishebungen kommen.
3. Wirtschaftlichkeit und Lebensdauer der Gleisanlage: der natürliche Alterungsprozess des Schotters kann verstärkt werden, wenn Wurzeln und abgestorbene Pflanzenteile zusätzlich die Grobporen verstopfen; damit nimmt die Elastizität und Scherfestigkeit des Schotters ab, so dass Fahrgeschwindigkeiten herabgesetzt werden müssen, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Dies kann aufgrund der Netzwirkung zu Verspätungen im gesamten Streckennetz führen; des Weiteren können kostenintensive und betrieblich aufwändige Bettungsreinigungsintervalle bei erfolgreicher Vegetationskontrolle deutlich verlängert werden.

Grundsätzlich sind der Schotteroberbau und insbesondere die feste Fahrbahn ein vegetationsfeindlicher Lebensraum. Die Besiedelung erfolgt deshalb überwiegend aus den seitlichen Flächen, die direkt an die Rand- und Rangierwege angrenzen. Diese Bereiche werden deshalb vorbeugend gemäht bzw. gemulcht, um das seitliche Einwachsen in die Rand- und Rangierwege und im Weiteren in den Schotter zu verlangsamen. Die Inspektion auf Bewuchs erfolgt durch beauftragte Fachfirmen, die hierzu die in den Verträgen festgelegten Vegetationsbedeckungsgrade zur Beurteilung, ob Vegetationskontrollmaßnahmen erforderlich

sind, heranziehen. Aktuell existieren sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene keine Alternativen zur chemischen Vegetationskontrolle, so dass die Bahnen hier das Ziel verfolgen durch den Einsatz moderner Techniken wie Infrarotsensoren zur Vegetationserkennung den Einsatz weiter zu optimieren, um die Aufwandmengen auf das notwendige Maß mit entsprechender Dokumentation zu reduzieren.

Fazit

Diese Ausführungen zeigen, dass Pflege- bzw. Instandhaltungsmaßnahmen an den Vegetationsbeständen auf allen Flächen der Deutschen Bahn AG unerlässlich sind. Die Art und Weise richtet sich dabei nach den Anforderungen der jeweils zu betrachteten Flächenkategorien und stellt auf den Anhang III der EU-Richtlinie 2009/128/EG ab, die in den Leitlinien der DB differenziert beschrieben sind. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln wird durch diese Regelungen, die verbindlich im DB Konzern in Deutschland festgeschrieben sind, auf das notwendige Maß reduziert. Die vorliegenden Leitlinien sind ein wichtiger Bestandteil des Nationalen Aktionsplans und können als Vorlage für ähnliche Flächen im Bereich des Nichtkulturland dienen.

Einfluss der Herbizidaufwandmenge auf Wirkungsgrad und Erträge in Wintergetreide am Beispiel von Ackerfuchsschwanz und Windhalm

Influence of herbicide doses on efficacy and yield in winter cereal on the example of blackgrass and loose silky-bentgrass

Arne Brathuhn*, Jan Petersen

Fachhochschule Bingen, Fachbereich Life Science and Engineering,
Fachrichtung Agrarwirtschaft, Berlinstr. 109, 55144 Bingen, Germany
*Korrespondierender Autor, a.brathuhn@fh-bingen.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.025

Zusammenfassung

Die Landwirtschaft steht heute vor der Herausforderung, einerseits den Eintrag von Herbiziden in die Umwelt möglichst gering zu halten, auf der anderen Seite aber auch hohe Flächenerträge zu erzielen und gleichzeitig die Entwicklung von Minderwirkungen aufgrund von Resistenzen zu vermeiden. Vor diesem Hintergrund werden Ergebnisse aus drei Jahren Feldversuche in Wintergetreide mit ACCase- und ALS-Hemmern vorgestellt. Im Versuchsjahr 2012/13 konnten an sieben Versuchsstandorten 21 Herbizidvarianten beerntet und ausgewertet werden. Im Versuchsjahr 2013/14 waren dies sechs Versuchsstandorte mit 22 Herbizidvarianten und im Versuchsjahr 2014/15 waren es fünf Versuchsstandorte mit 15 Herbizidvarianten. Alle Herbizidvarianten wurden in vier bis sechs unterschiedlich hohen Aufwandmengen zwischen 6,25 und 100 % der jeweils maximal zugelassenen Aufwandmenge appliziert.

Die Daten aus den drei Versuchsjahren zeigen deutlich, dass der Parameter Ertrag weitaus unsensibler reagiert, verglichen mit dem Parameter Wirkungsgrad. Die Herbizidaufwandmenge konnte im Durchschnitt der drei Versuchsjahre zum Teil um mehr als 50 % reduziert werden ohne einen signifikanten Ertragseinfluss zu bewirken. Jedoch wurde bei geringen Aufwandmengen teilweise eine Restverunkrautung toleriert, bei der eine verstärkte Gefahr der Selektion resistenter Pflanzen bestehen könnte. Am Beispiel von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*; ALOMY) und Gemeinem Windhalm (*Apera spica-venti*; APESV) wurde deutlich, dass durchschnittlich nur 48 bis 68 % der maximal zugelassenen Herbizidaufwandmenge benötigt wurde, um den Ertrag zu sichern. Zum Erreichen von mindestens 95 % Herbizidwirkung waren hingegen 61 bis 76 % der maximal zugelassenen Aufwandmenge nötig. Dennoch besteht ein gewisses Potential zur Optimierung des Herbizideinsatzes. Voraussetzung hierfür ist es, dass es gelingt, die Einflussfaktoren näher zu beschreiben, die eine optimierte, schlag- und situationsspezifische Aufwandmenge mit der notwendigen Wirkungssicherheit möglich erscheinen lassen.

Stichwörter: ACCase-Hemmer, ALS-Hemmer, reduzierte Aufwandmengen

Abstract

Agriculture today is facing the challenge to both keeping the input of herbicides into nature at a low level and aiming for high yields while avoiding low efficacies caused by resistance evolution. Taking all this into consideration, results from three years of field-trials in winter cereals with ACCase and ALS inhibitors are presented. In season 2012/13 seven trial-sites with 21 herbicide-treatments could be harvested. In 2013/14 it were six sites with 22 treatments and 2014/15 five sites with 15 treatments. In all herbicide treatments four to six different doses were applied that varied between 6.25 and 100% of the maximum registered dose.

The results from the three years show that the parameter yield is less sensitive compared to the parameter efficacy. The amount of herbicide could be reduced by up to 50% in the average of the three trial years without a significant influence on yield. However, at low dosages a certain amount of weed infestation was tolerated. Consequently, risk of selecting resistant plants might be higher with increasing population densities. In field trials with blackgrass (*Alopecurus myosuroides*; ALOMY) or loose silky-bent grass (*Apera spica-venti*; APESV) it could be shown that 48 to 68% of registered herbicide dose was necessary to secure yield. However, to reach 95% efficacy on average 61 to 76% of the registered herbicide dose was needed. Consequently, there is a potential for reduction of herbicide dose. To realize this potential, there is a need for describing the site specific influences of environmental factors on herbicide performance.

Keywords: ACCase inhibitors, ALS inhibitors, reduced dose rates

Einleitung

Die Landwirtschaft ist verpflichtet, den Eintrag von Herbiziden in die Umwelt möglichst gering zu halten (NAP, 2013). Gleichzeitig sollen hohe Flächenerträge erzielt werden. Die erfolgreiche Unkrautkontrolle ist hierbei eines der wichtigsten Kriterien. Die Beziehung zwischen Unkrautbesatz und Ertragseinbußen ist gut erforscht (HEEMST, 1985) und die Empfehlung von Schadschwellen zeigt, dass eine Restverunkrautung ohne nennenswerte Auswirkung auf den Flächenertrag toleriert werden kann (COUSENS, 1987), wobei hier vornehmlich ökonomische Ziele verfolgt werden. In den letzten Jahren wird das Verbleiben behandelter Unkrautpflanzen auf dem Feld als zunehmend kritisch bewertet, da sich so schrittweise Herbizidresistenzen entwickeln und verbreiten können. Immer deutlicher wird zur Verwendung der maximal zugelassenen Aufwandmenge geraten, um eine mögliche Selektion resistenter Unkräuter zu verhindern (LUTMAN et al., 2013). Gerade reduzierte Aufwandmengen gelten als problematisch, da sie zur schnelleren Selektion resistenter Pflanzen beitragen können (NEVE und POWLES, 2005; MANALIL et al., 2011).

Vor diesem Hintergrund werden Ergebnisse aus drei Jahren Feldversuche in Wintergetreide mit ACCase- und ALS-Hemmern vorgestellt. Am Beispiel von Ackerfuchsschwanz und Windhalm wird der Einfluss der Herbizidaufwandmenge auf Wirkungsgrade und Erträge des Wintergetreides hinsichtlich möglicher Reduktionspotentiale gezeigt. Die Ergebnisse der Feldversuche bilden eine breite Datenbasis, die zur Bewertung der Auswirkungen von reduzierten Herbizidaufwandmengen hinsichtlich einer möglichen gezielten Verwendung im Rahmen einer EDV-gestützten Entscheidungshilfe beitragen.

Material und Methoden

In den Versuchsjahren 2012/13, 2013/14 und 2014/15 wurden insgesamt 19 Feldversuche auf Flächen mit Wintergetreide (Wintertriticale, Wintergerste, Winterweizen) an verschiedenen Standorten in Rheinland-Pfalz durchgeführt. Auf 15 der Versuchsflächen kam Ackerfuchsschwanz vor, auf vier Versuchsflächen fand sich Windhalm. Jeder Versuch umfasste zwischen zwei und sechs Herbizidvarianten in jeweils vier bis sechs unterschiedlich hohen Konzentrationsstufen (zwischen 6,25 und 100 % der jeweils maximal zugelassenen Aufwandmenge). Die Anlage der Versuche erfolgte in Kleinparzellen (2,5 x 8 m) in einem vollständig randomisierten Blockdesign mit vier Wiederholungen. Die Herbizidapplikationen wurden mittels Einradparzellenspritze (Spritzdruck: 2,1 bar; Düse: AI11025; 4,5 km/h; 200 L/ha Wasser) durchgeführt, die Beerntung erfolgte mit einem Parzellenmähdescher.

Es wurden Herbizide aus den Wirkstoffgruppen der ACCase-Inhibitoren (HRAC-Gruppe A) und ALS-Inhibitoren (HRAC-Klasse B) appliziert. Diese waren AXIAL 50® (50 g a.i. L⁻¹ Pinoxaden; EC; Syngenta Agro GmbH), RALON SUPER® (69 g a.i. L⁻¹ Fenoxaprop-P-Ethyl; Nufarm Deutschland GmbH), ATLANTIS WG® (30 g a.i. kg⁻¹ Mesosulfuron-methyl + 6 g a.i. kg⁻¹ Iodosulfuron-methyl; WG; Bayer Crop Science GmbH) und HUSAR OD® (100 g a.i. L⁻¹ Iodosulfuron-methyl-natrium; OD; Bayer Crop Science GmbH).

Die Wirkung der Herbizide auf die Ungräser wurde mittels Ähren- bzw. Rispenzählung vorgenommen. In jeder Einzelparzelle wurden je nach Ungrasbesatz zwischen drei und acht Zählungen mit einem Zählrahmen (0,25 m²) vorgenommen. In Relation zu den unbehandelten Kontrollparzellen wurden der Wirkungsgrad und der relative Ertrag (in Relation zum Ertrag der unbehandelten Kontrolle) bestimmt.

Ergebnisse

Auf den Versuchsflächen mit Ackerfuchsschwanzbesatz wurden die Wirkungs- und Erntedaten von insgesamt 1.262 Kleinparzellen ausgewertet, auf diesen Flächen lag der Ungrasbesatz in den Kontrollparzellen bei durchschnittlich 296 Ähren/m². Abbildung 1 zeigt die Wirkungsgrade (A) und relativen Erträge (B) in Abhängigkeit der applizierten relativen Aufwandmengen bei Standorten mit Ackerfuchsschwanz.

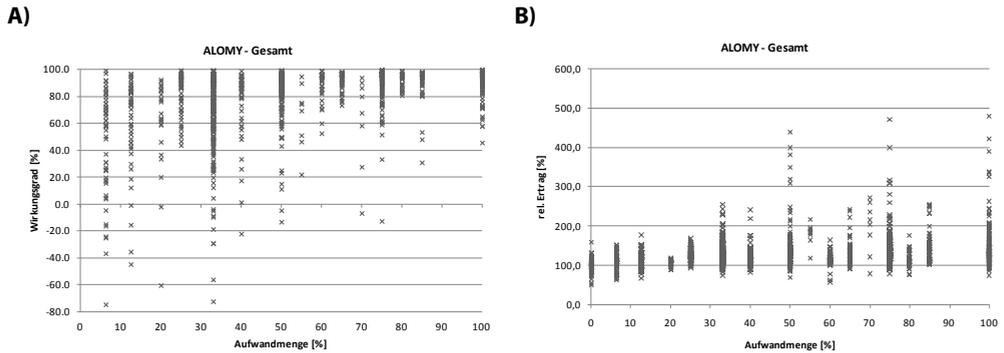


Abb. 1 Wirkungsgrade (% A) und relative Erträge von Wintergetreide (% B) in Abhängigkeit der relativen Aufwandmenge von verschiedenen Herbiziden auf Ackerfuchsschwanzstandorten.

Fig. 1 Efficacies (% A) and relative grain yield of winter cereals (% B) depending on relative herbicide doses on blackgrass sites.

Von Flächen mit Windhalmbesatz konnten die Daten von 352 Kleinparzellen ausgewertet werden, der mittlere Ungrasbesatz der Kontrollparzellen lag bei 80 Rispen/m². Abbildung 2 zeigt die Wirkungsgrade (A) und relativen Erträge (B) in Abhängigkeit der applizierten relativen Aufwandmengen bei Standorten mit Windhalm.

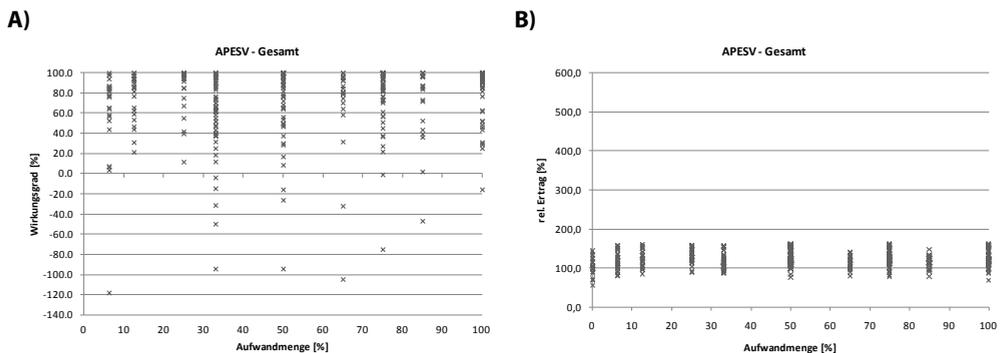


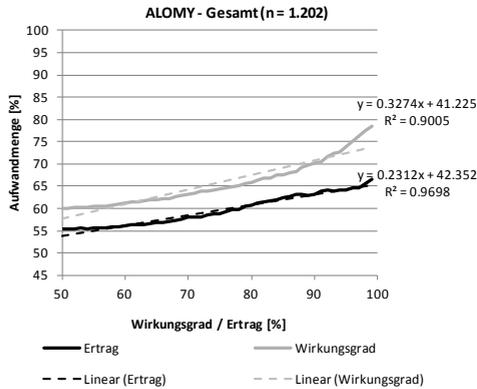
Abb. 2 Wirkungsgrade (% A) und relative Getreideerträge (% B) in Abhängigkeit der relativen Aufwandmenge auf Windhalmstandorten.

Fig. 2 Efficacies (% A) and relative cereal grain yield (% B) depending on relative herbicide doses on loose silky-bent grass sites.

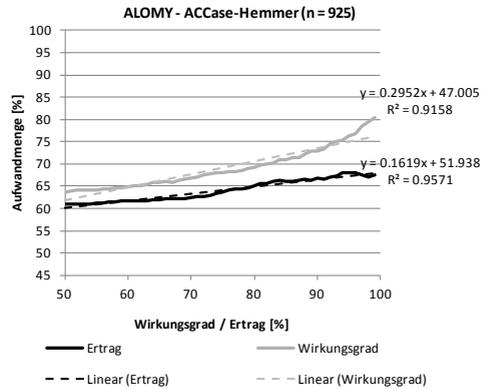
Die Auswertung der Daten zeigt, dass der Parameter Ertrag weitaus unsensibler reagiert, verglichen mit dem Parameter Wirkungsgrad. Auf Ackerfuchsschwanzstandorten konnten unabhängig vom eingesetzten Herbizid sowohl mit Blick auf die Wirkungsgrade als auch mit Blick auf den Ertrag deutliche Reduktionspotentiale festgestellt werden (Abb. 3A). Dabei lag die mittlere relative Aufwandmenge, die zur Erreichung eines bestimmten Ertragspotentials aufzuwenden war, deutlich unter der, die zur Realisierung bestimmter Wirkungsgrade notwendig war. Gerade im Bereich hoher Wirkungsgrade (>95 %) stieg die benötigte mittlere Aufwandmenge im Vergleich zu den Ertragszahlen stärker an. Dieses Bild fand sich auch in der einzelnen Betrachtung der untersuchten Wirkstoffgruppen wieder. Sowohl bei der Gruppe der ACCase-Inhibitoren (Abb. 3B),

als auch in noch stärkerem Maße bei den ALS-Inhibitoren (Abb. 3C) lag das Reduktionspotential hinsichtlich der Erträge deutlich über dem der Wirkungsgrade.

A)



B)



C)

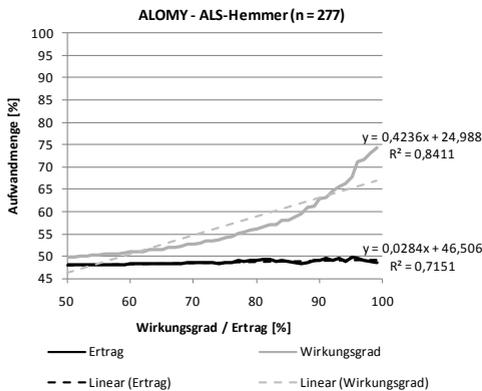


Abb. 3 Einfluss der relativen Aufwandmenge von ACCase- und ALS-Hemmern auf Wirkungsgrad und relativen Wintergetreideertrag bei Ackerfuchsschwanzbesatz.

Fig. 3 Influence of the relative herbicide dose of ACCase- and ALS-inhibitors on blackgrass efficacy and relative winter cereal grain yield

Auch auf Standorten mit Windhalmbesatz konnten vergleichbare Unterschiede hinsichtlich der Sensibilität der untersuchten Parameter festgestellt werden (Abb. 4). Wie auch auf Ackerfuchsschwanzstandorten konnten hohe Ertragsniveaus verglichen mit hohen Wirkungsgraden mit deutlich geringeren mittleren Aufwandmengen erzielt werden. Allerdings zeigten sich auch mit Blick auf hohe Wirkungsgrade starke Reduktionspotentiale. Hinsichtlich der untersuchten Wirkstoffgruppen reagierte Windhalm sensibler auf ACCase-Inhibitoren im Vergleich zum Ackerfuchsschwanz. Hier konnte das höchste Reduktionspotential hinsichtlich der Wirkung der Wirkstoffgruppe festgestellt werden.

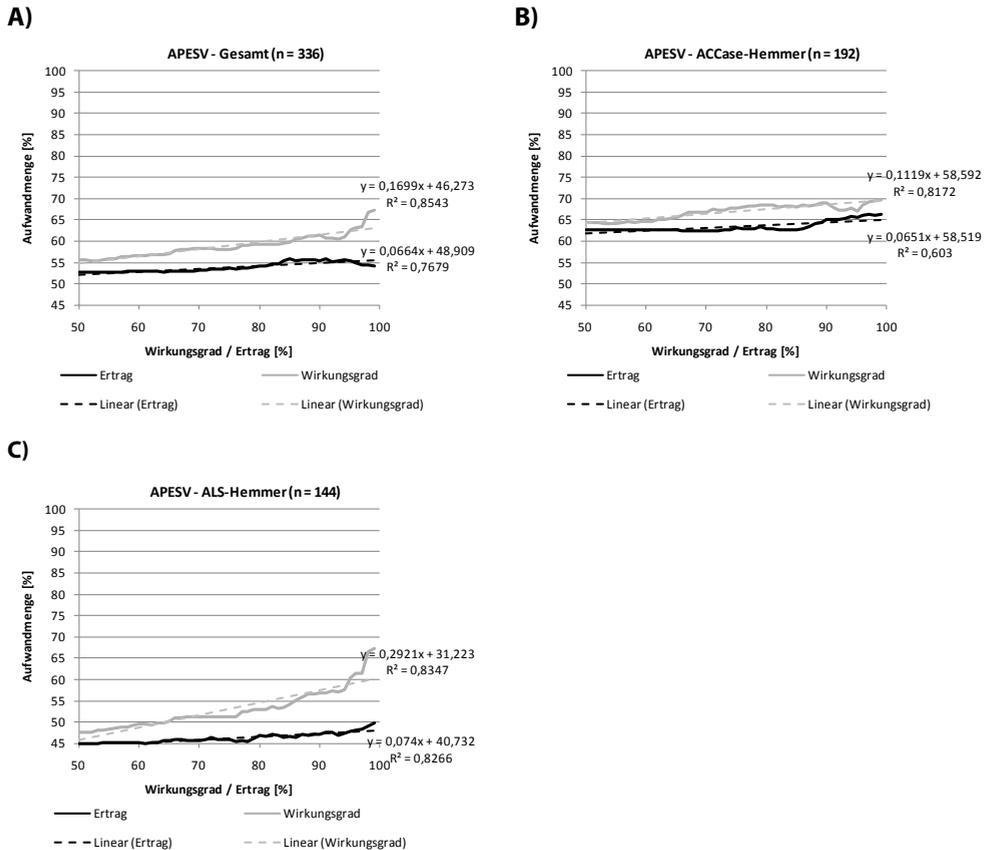


Abb. 4 Einfluss der relativen Aufwandmenge von ACCase- und ALS-Hemmern auf Wirkungsgrad und relativen Wintergetreideertrag bei Windhalmbesatz.

Fig. 4 Influence of the relative herbicide dose of ACCase- and ALS-inhibitors on loose silky-bent efficacy and relative winter cereal grain yield.

Die Betrachtung der Ergebnisse aus drei Jahren Feldversuche zeigt über den gesamten Versuchszeitraum hinweg deutliche Reduktionspotentiale der Herbizidaufwandmengen bei Ackerfuchsschwanz und Windhalm hinsichtlich hoher Wirkungsgrade und Erträge. Dabei wurde über die untersuchten Spezies, Herbizide und Parameter hinweg eine recht deutliche Variabilität der Ergebnisse festgestellt. Tabelle 1 zeigt am Beispiel von einem Ertrags- bzw. Wirkungsgradziel von 95 % die zum Erreichen benötigten mittleren Aufwandmengen nebst Standardabweichungen. Neben den teils deutlichen Reduktionspotentialen (z.T. > 50 %), zeigt sich eine relativ große Streuung der Ergebnisse.

Tab. 1 Durchschnittlich benötigte relative Herbizidaufwandmenge [%] zum Erreichen des 95 %-Niveaus von Getreideertrag und Wirkungsgrad (WG). SD = Standardabweichung.

Tab. 1 Average relative herbicide dose [%] needed for 95%-level of cereal grain yield and efficacy (WG). SD = standard deviation.

| | ALOMY | | APESV | |
|--------------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
| | 95 % Ertrag (SD) | 95 % WG (SD) | 95 % Ertrag (SD) | 95 % WG (SD) |
| Gesamt | 64,1 (26,8) | 73,8 (23,6) | 55,3 (31,4) | 62,7 (29,1) |
| ACCCase- Hemmer | 67,9 (24,3) | 76,4 (21,1) | 65,6 (24,2) | 67,0 (25,2) |
| ALS-Hemmer | 49,9 (34,0) | 67,9 (27,7) | 48,0 (34,4) | 60,6 (31,2) |

Diskussion

Die Landwirtschaft steht heute vor der Herausforderung, einerseits den Eintrag von Herbiziden in die Umwelt möglichst gering zu halten, auf der anderen Seite aber auch hohe Flächenerträge zu erzielen und gleichzeitig die Entwicklung Minderwirkungen aufgrund von Resistenzen zu vermeiden. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass die beiden erstgenannten Punkte durchaus keine Gegensätze darstellen müssen. So konnten Herbizidaufwandmengen durchgängig deutlich (teilweise um 50 %) reduziert werden, ohne signifikante Ertragsseinbußen in Kauf nehmen zu müssen. Liegt der Fokus bei der Reduzierung von Herbizidaufwandmengen allerdings allein auf dem Parameter Ertrag, wird eine teils nicht unerhebliche, mit Herbiziden behandelte Restverunkrautung toleriert. Eine mit reduzierten Aufwandmengen behandelte Restverunkrautung kann mit einer gesteigerten Resistenzselektion verknüpft sein (NEVE und POWLES, 2005). Die vorliegenden Ergebnisse zeigen jedoch, dass mit einer Absenkung der Aufwandmenge nicht zwingend ein Wirkungsverlust verbunden sein muss. Die Reduktionspotentiale hinsichtlich des Wirkungsgrads waren zwar geringer, verglichen mit den Möglichkeiten hinsichtlich des Ertrags, lagen in Einzelfällen jedoch bei über 30 %. Die Möglichkeit mit reduzierten Aufwandmengen hohe Wirkungsgrade zu erreichen, wurde bereits in verschiedenen Studien zuvor festgestellt (CHRISTENSEN, 1993; PALLUTT, 2002; VERSCHWELE und ZWERGER, 2006).

Diese hohen Wirkungsgrade sind im Rahmen der Resistenzproblematik höchst relevant (LUTMAN et al., 2013). Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass hohe Wirkungsgrade auch mit reduzierten Aufwandmengen erreicht werden können. Allerdings wird auch deutlich, dass die Variabilität der Aufwandmengen, die zu einem gewünschten Wirkungsgrad führen kann, erheblich ist. Neben Unkrautart und -dichte spielen viele weitere Einflussfaktoren wie zum Beispiel die Witterung vor, während und nach einer Behandlung eine Rolle für die Wirksamkeit von Herbiziden (ANDREWS et al., 2007). Daher ist es unerlässlich, zur erfolgreichen Anwendung reduzierter Aufwandmengen, EDV-gestützte Entscheidungshilfemodelle zu entwickeln, die eine schlagspezifische Optimierung der Herbizidaufwandmenge zulassen und dazu beitragen, Minderwirkungen durch falsch bemessene Aufwandmengen zu vermeiden und auf diese Weise Resistenzentwicklungen verhindern.

Literatur

- ANDREWS, T.S., R.W. MEDD, R.J. van de VEN und D.I. PICKERING, 2007: Field validation of the factors related to clodinafop efficacy on *Avena* species. *Weed Research* **47**, 15-24.
- CHRISTENSEN, S., 1993: Herbicide dose adjustment and crop weed competition. British crop protection conference, weeds. The BCPC Conference: Weeds, Brighton, UK, **3**, 1217-1222.
- COUSENS, R., 1987: Theory and reality of weed control thresholds. *Plant Protection* **2**, 13-20.
- HEEMST, H.D.J., 1985: The Influence of Weed Competition on Crop Yield. *Agricultural Systems* **18**, 81-93.
- LUTMAN, P.J.W., S.R. MOSS, S. COOK und S.J. WELHAM, (2013): A review of the effects of crop agronomy on the management of *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* **53**, 299-313.
- NAP, 2013: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. § 4 Pflanzenschutzgesetz 2013.
- NEVE, P. und S. POWLES, 2005: Recurrent selection with reduced herbicide rates results in the rapid evolution of herbicide resistance in *Lolium rigidum*. *Theor Appl Genet* **110**, 1154-1166.
- MANALIL, S., R. BUSI, M. RENTON und S.B. POWLES, 2011: Rapid Evolution of Herbicide Resistance by Low Herbicide Dosages. *Weed Science* **59**, 201-217.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

PALLUTT, B., 2002: Langzeitwirkungen reduzierter Herbizidanwendung und Stickstoffdüngung auf Populationsdynamik und Konkurrenz von Unkräutern in Getreide. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XVIII**, 293-304.

VERSCHWELE, A. und P. ZWARGER: 2006: Auswertung von Grenzaufwand-Versuchen in Bezug auf das notwendige Maß beim Herbizideinsatz. Journal of Plant Diseases and Protection, Sonderheft **XX**, 675-682.

Auswirkung reduzierter Herbizidaufwandmengen bei pflugloser Bodenbearbeitung auf den Unkrautauflauf

Effect of reduced herbicide amounts with minimum tillage systems on weed infestation

Jürgen Schwarz^{*}, Bernhard Pallutt

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsanstalt für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow

^{*}Korrespondierender Autor, juergen.schwarz@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.026

Zusammenfassung

Die pfluglose Bodenbearbeitung wird in Deutschland auf 40 % der Ackerfläche angewandt. In einem Dauerfeldversuch in Dahnsdorf (Brandenburg) werden die langfristigen Auswirkungen der nichtwendenden Bodenbearbeitung auf den Unkrautauflauf untersucht. Dabei werden auch reduzierte Herbizidaufwandmengen getestet. Die Anwendung von Glyphosat auf der Stoppel bei der pfluglosen Bodenbearbeitung ist dabei nicht immer notwendig.

Die ehemalige Fruchtfolge (67 % Getreide oder 50 % Getreide) hat auf den Unkrautauflauf auch nach sieben Jahren Einfluss. Der Unkrautauflauf in der Fruchtfolge mit ehemals 50 % Getreide ist meistens geringer.

Nach vier Jahren zeigt die pfluglose Bodenbearbeitung einen stärkeren Einfluss auf den Unkrautauflauf. Der Unkrautauflauf ist in der pfluglosen Variante stärker. Die gleichzeitige Anwendung reduzierter Herbizidaufwandmenge verstärkt diesen Effekt nicht.

Bei *Apera spica-venti* ist Ähnliches festzustellen, allerdings sind hier die Auflaufbedingungen im Herbst entscheidend.

Stichwörter: *Apera spica-venti*, Dauerfeldversuch, Fruchtfolge, Gemeiner Windhalm, Glyphosat

Abstract

Minimum tillage, mainly soil cultivation without ploughing is used in Germany on 40% of arable land. In a long-term field trial in Dahnsdorf (federal state of Brandenburg, Germany) the impact of reduced tillage on weed occurrence is investigated. At the same time reduced herbicide amounts are also tested.

The use of glyphosate for seedbed preparation is not always necessary.

The former crop rotation (67% cereals or 50% cereals) has even seven years later a big influence on the weed occurrence. The weed occurrences are lower for the crop rotation with the former 50% cereals.

After four years the minimum tillage shows a larger effect of weed infestation. For the non ploughed variants it is higher. If reduced herbicide amounts are used at the same time the effect will increase even more.

Results for *Apera spica-venti* are similar, although the conditions for germination in autumn are also relevant.

Keywords: *Apera spica-venti*, crop-rotation, glyphosate, long-term field trial

Einleitung

Die pfluglose, nichtwendende Bodenbearbeitung bietet Vorteile gegenüber der wendenden Bodenbearbeitung mit dem Pflug, z. B. die Reduzierung des Energieverbrauchs zur Bearbeitung des Bodens (SCHWARZ, 2013). Durch den geringeren Energieverbrauch (Kraftstoff) ist auch ein verringerter Ausstoß an treibhauswirksamen Gasen gegeben. Als weitere Vorteile der pfluglosen Bodenbearbeitung werden z. B. eine verminderte Erosionsgefahr, eine verbesserte Befahrbarkeit der Flächen und Kostenersparnis genannt (ROSNER und KLIK, 2005). In Deutschland wird auf ca. 40 % der Ackerfläche die pfluglose, nichtwendende Bodenbearbeitung angewandt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011). Den Vorteilen der pfluglosen Bodenbearbeitung stehen jedoch auch Nachteile gegenüber, z. B. Probleme mit Mäusen und Schnecken. Als einen weiteren Nachteil der pfluglosen Bodenbearbeitung wird die Zunahme der Verunkrautung genannt (SCHWARZ und PALLUTT, 2014). Meist wird die Zunahme von monokotylen Unkräutern beschrieben (AMANN, 1991; DITTMANN, 2012). Auch der Einsatz von Glyphosat bei der pfluglosen Bodenbearbeitung wird als problematisch thematisiert (STEINMANN, 2013).

Im Rahmen eines Dauerfeldversuchs werden die Auswirkungen der pfluglosen Bodenbearbeitung in Verbindung mit unterschiedlichen Herbizidaufwandmengen auf den Unkrautauflauf überprüft.

Material und Methoden

Der Dauerfeldversuch befindet sich auf der Versuchsfläche Dahnsdorf des Julius Kühn-Instituts. Das Versuchsfeld befindet sich im südlichen Brandenburg (52.108494 N, 12.636338 E), Naturraum Hoher Fläming, nahe der Stadt Bad Belzig. Die Versuchsfläche hat einen lehmigen Sandboden mit einer mittleren Bodenwertzahl von 48 mit 57,9 % Sand, 37,5 % Schluff und 4,6 % Ton; der pH-Wert liegt bei 5,8. Die durch eine eigene Wetterstation gemessenen Werte der mittleren Jahrestemperatur und des mittleren Jahresniederschlages betragen 9,4 °C und 598 mm im Zeitraum von 1997 bis 2014; eine häufige Vorsommertrockenheit ist typisch. Der Versuchsstandort dürfte für ungefähr 1/3 der Ackerflächen der neuen Bundesländer charakteristisch sein.

Der Dauerfeldversuch wurde im Herbst 1995 mit zwei unterschiedlichen Fruchtfolgen (Marktfruchtfolge 67 % Getreide und Futterbaufuchtfolge 50 % Getreide) angelegt. In beiden Fruchtfolgen wurden die Pflanzenschutzstrategien „Situationsbezogen“ und „50 % von Situationsbezogen“ und jeweils die vier Pflanzenschutzmittelstufen unbehandelte Kontrolle (UK), Fungizid (F), Herbizid (H) und Herbizid/Fungizid (HF) untersucht. Zu detaillierten Beschreibungen des Versuchs siehe PALLUTT et al. (2010).

Zum Erntejahr 2008 (Herbst 2007) wurde der Dauerfeldversuch neu ausgerichtet, die Fruchtfolgen wurden zu einer Fruchtfolge vereinheitlicht, diese bestand für diese Rotation (2008 bis 2013) aus Wintertraps – Winterweizen – Winterroggen – Grünschnittroggen/Sorghum-Hirse – Erbsen – Triticale. Die Pflanzenschutzstrategie „Situationsbezogen“ wurde zur „Guten fachliche Praxis (GFP)“, die „50 % von Situationsbezogen“ zum „Integrierten Pflanzenschutz (IPS)“. Dabei erfolgte bei der „Guten fachlichen Praxis (GFP)“ die Auswahl der Pflanzenschutzmittel praxisüblich. Beim „Integrierten Pflanzenschutz (IPS)“ erfolgte eine stärkere Berücksichtigung von Schwellenwerten, eine situationsbezogene Dosierung und ein- bzw. mehrfache Anwendung reduzierter Aufwandmengen.

In beiden Strategien „GFP“ und „IPS“ werden die Nachwirkungen aus den vorgehenden 12 Jahren der vier Pflanzenschutzmittelstufen (UK, H, F und HF) ermittelt. Aus der Stufe „UK“ wurde die Stufe „H1“, hier erfolgt seit Herbst 2007 der Einsatz von Herbiziden, jedoch wird weiterhin auf den Einsatz von Fungiziden im Getreide, bzw. Insektizide in Raps/Erbsen verzichtet. Die ehemalige Stufe „F“ wurde zu „HF1“, hier erfolgte bis Herbst 2007 ebenfalls kein Einsatz von Herbiziden, jedoch wurden Fungizide in Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen eingesetzt. Seit Herbst 2007 werden Herbizide ausgebracht und weiterhin auch Fungizide in Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen. Die Stufen „H“ und „HF“ erfuhren seit Versuchsbeginn keine Änderung.

Der Faktor Grundbodenbearbeitung wird seit Herbst 2007 in den Stufen „gepflügt (wendend)“ und „pfluglos (nichtwendend)“ mit jeweils 5 Wiederholungen durchgeführt. Abbildung 1 zeigt die Strategien und Stufen und deren Überführung.

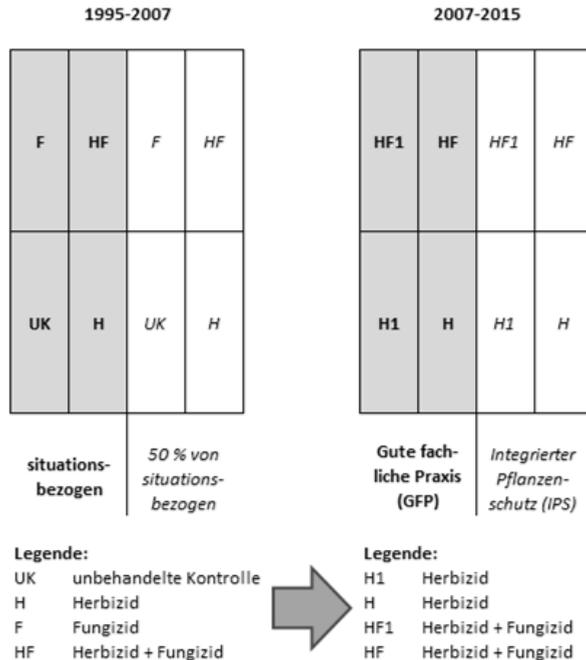


Abb. 1 Pflanzenschutzstrategien und Pflanzenschutzmittelstufen von 1995 bis 2007 und Modifizierung seit 2007.

Fig. 1 Plant protection strategies and the pesticide treatments from 1995 to 2007 and modifications since 2007.

Aufgrund der Änderungen im Pflanzenschutzrecht zum 01.01.2014 (Verbindlichkeit der allgemeinen Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes) wurden die beiden Pflanzenschutzstrategien angepasst. Ab dem Erntejahr 2014 wurde aus der „Guten fachlichen Praxis (GFP)“ die „Allgemeinen Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (GFP)“, aus der Strategie „Integrierter Pflanzenschutz (IPS)“ wurden die „Sektor- und Kulturartspezifischen Leitlinien des Integrierten Pflanzenschutzes (IPS)“. Die Pflanzenschutzmittelstufen blieben unverändert, die Fruchtfolge wurde leicht modifiziert.

Nach der Ernte wird jährlich für jede Kulturart entschieden, ob eine Stoppelbehandlung der pfluglosen Wiederholungen mittels Glyphosat erfolgt, die Aufwandmenge wird den herrschenden Gegebenheiten angepasst.

Nach der Aussaat, vor der Herbizidbehandlung wird in jeder Versuchsparzelle der Unkrautauflauf nach Art und Anzahl an vier Zählstellen mit jeweils 0,25 m² Größe meist im Herbst, teilweise im Frühjahr, erfasst.

Nur die immer mit Herbiziden behandelten Varianten „H“ und „HF“ werden im Folgenden zusammengefasst betrachtet.

Für die Darstellung des Unkrautauflaufs wird ein Mittelwert aus den angebauten Getreidearten berechnet. Durch diese Mittelwertbildung wird die Anzahl der Versuchsparzellen vergrößert und die Aussagesicherheit, besonders vor dem Hintergrund der heterogenen Unkrautverteilung auf Ackerflächen (z. B. MORTENSEN et al., 1993; NORDBO und CHRISTENSEN, 1995), erhöht.

Ergebnisse

Herbizideinsatz in den Pflanzenschutzstrategien

In den Versuchsjahren bis 2007 waren die Pflanzenschutzstrategien hinsichtlich der Aufwandmengen klar abgegrenzt. Seit 2008 ist diese Abgrenzung nicht mehr in dieser Deutlichkeit gegeben. Im Mittel der Jahre sind die Aufwandmengen der Strategie „IPS“ um ca. 20 % niedriger als die der Strategie „GFP“. Beispielhaft ist in der Tabelle 1 der Behandlungsindex der Herbizide im Winterweizen dargestellt, ohne die Berücksichtigung von Glyphosat in den pfluglosen Varianten.

Tab. 1 Behandlungsindex der Herbizide im Winterweizen.

Tab. 1 *Treatment frequency index (BI) of herbicides for winter wheat.*

| Versuchsjahr | Behandlungsindex GFP | Behandlungsindex IPS |
|--------------|----------------------|----------------------|
| 2008 | 1,50 | 1,15 |
| 2009 | 1,37 | 0,90 |
| 2010 | 1,25 | 1,03 |
| 2011 | 1,50 | 1,18 |
| 2012 | 1,25 | 1,03 |
| 2013 | 1,00 | 0,85 |
| 2014 | 1,00 | 0,85 |
| 2015 | 0,90 | 0,80 |

Glyphosateinsatz in der pfluglosen Bodenbearbeitung

Die Entscheidung der Anwendung von Glyphosat und die Bemessung der Aufwandmenge in den pfluglosen Varianten werden wesentlich von der Anzahl und der Größe der Durchwuchspflanzen der Vorkultur und den aufgelaufenen Unkräutern bestimmt. Im Jahr 2008 wurde in allen Kulturen auf den pfluglosen Flächen Glyphosat vor der Saatbettbereitung angewandt, da witterungsbedingt eine nur wenig intensive Bodenbearbeitung durchgeführt werden konnte und damit Ausfallpflanzen und Unkräuter im fortgeschrittenen Stadium waren. Über den Glyphosateinsatz in den weiteren Versuchsjahre und Kulturen informiert Tabelle 2.

Tab. 2 Anwendung von Glyphosat vor Saatbettbereitung in den pfluglosen Varianten.

Tab. 2 *Use of glyphosate before seedbed preparation in non-ploughed treatments.*

| Versuchsjahr | Kulturen vor denen Glyphosat angewandt wurde |
|--------------|---|
| 2009 | Winterroggen, Grünschnittroggen, Triticale, Wintereraps |
| 2010 | keine Anwendung |
| 2011 | Winterweizen, Triticale |
| 2012 | Winterweizen, Winterroggen, Triticale |
| 2013 | Winterweizen, Winterroggen, Triticale |
| 2014 | Winterweizen, Winterroggen |
| 2015 | Winterweizen, Wintergerste (GFP), Triticale (IPS) |

Unkrautaufbau

Zusammenstellungen des Unkrautaufbaus in dem betrachteten Dauerfeldversuch sind unter verschiedenen Konstellationen möglich. Im Folgenden wird der Effekt der pfluglosen Bodenbearbeitung in Verbindung mit den reduzierten Herbizidaufwandmengen der Strategie „IPS“ betrachtet. Dabei werden die ehemaligen Fruchtfolgen Marktfrucht und Futterbau getrennt dargestellt, um den Effekt der Nachwirkungen abzubilden (vgl. auch SCHWARZ et al., 2012). Beim

Unkrautauflauf wird nachfolgend zwischen *Apera spica-venti* und den dikotylen Unkräutern unterschieden.

Die Abbildung 2 stellt den Auflauf von *Apera spica-venti* in der Strategie „IPS“ dar, getrennt nach den ehemaligen Fruchtfolgen und der Bodenbearbeitung.

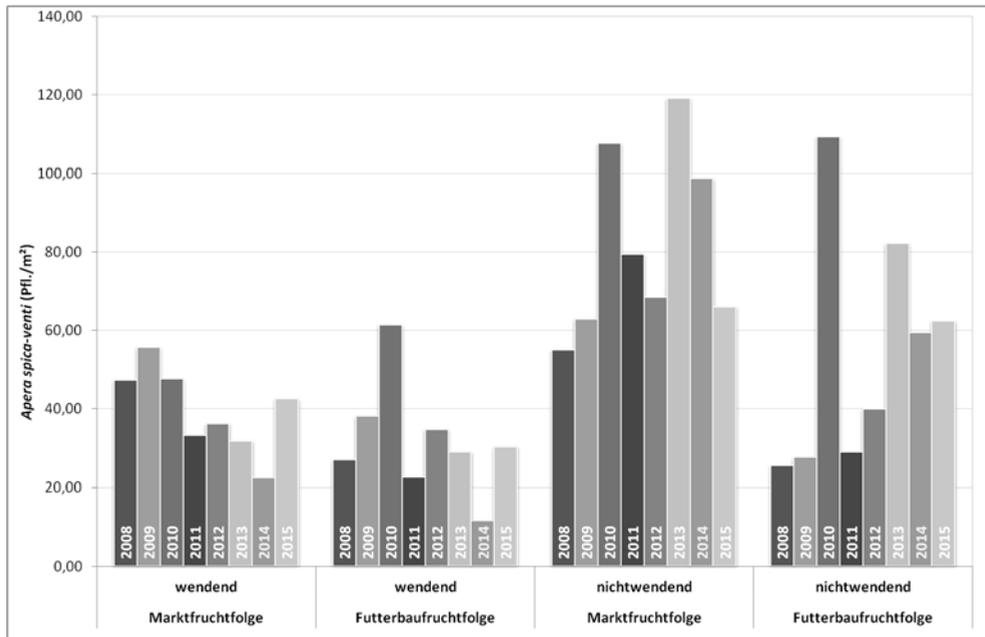


Abb. 2 Auflauf von *Apera spica-venti* in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und der vorherigen Fruchtfolge in der Pflanzenschutzstrategie „IPS“.

Fig. 2 Emergence of *Apera spica-venti* in dependency on soil cultivation and former crop rotation for the strategy „IPS“.

In der ehemaligen Futterbaufruchtfolge ist der Auflauf von *Apera spica-venti* vor der Herbizidbehandlung in Getreide, bei gleicher Bodenbearbeitungsvariante, in den meisten Jahren geringer als in der ehemaligen Marktfruchtfolge. Betrachtet man die unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten, so ist in der nichtwendenden Variante, bei gleicher ehemaliger Fruchtfolge, der Auflauf von *Apera spica-venti* meisten deutlich höher als in der wendenden Variante. Dieser Effekt tritt bei der ehemaligen Futterbaufruchtfolge verstärkt nach dem vierten Jahr auf.

In der Tendenz sinken in der ehemaligen Marktfruchtfolge in den wendenden, gepflügten Varianten die Auflaufzahlen über die Jahre.

Die Abbildung 3 stellt den Auflauf der dikotylen Unkräuter in der Strategie „IPS“ dar, getrennt nach den ehemaligen Fruchtfolgen und der Bodenbearbeitung.

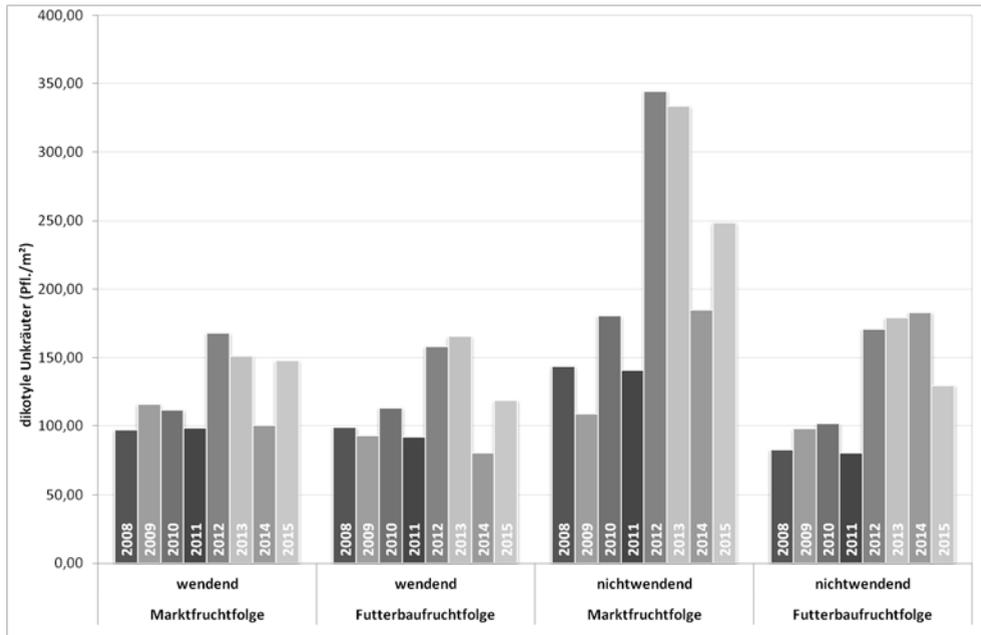


Abb. 3 Auflauf der dikotylen Unkräutern in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und der vorherigen Fruchtfolge in der Pflanzenschutzstrategie „IPS“.

Fig. 3 Emergence of dicotyledonous weeds in dependency on soil cultivation and former crop rotation for the strategy "IPS".

Bei den dikotylen Unkräutern ergibt sich ein ähnlicher Verlauf wie bei *Apera spica-venti*, auch hier sind in der ehemaligen Marktfruchtfolge bei nichtwendender Bodenbearbeitung die Auflaufzahlen vor der Herbizidbehandlung erhöht. Anders als bei *Apera spica-venti* setzt dieser Effekt nach vier Jahren verstärkt ein. Dies gilt auch für die ehemalige Futterbaufuchtfolge, auch hier sind nach 4 Jahren die Auflaufzahlen im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung erhöht.

Diskussion

Durch die weite Verbreitung der pfluglosen Bodenbearbeitung in Deutschland ergeben sich Fragestellungen hinsichtlich der langfristigen Auswirkungen auf die Entwicklung der Verunkrautung. Auch wird der Einsatz von Glyphosat bei der pfluglosen Bodenbearbeitung kontrovers diskutiert. In unserem Dauerfeldversuch war der Einsatz von Glyphosat bei der pfluglosen Bodenbearbeitung nicht in jedem Fall nötig. Im Jahr 2010 konnte ganz darauf verzichtet werden, da die Ausfallkulturen in diesem Jahr, bedingt durch die Witterung, nahezu vollständig aufliefen und mechanisch bekämpft werden konnten. In den anderen Jahren erfolgte eine sorgsame Abwägung der tatsächlichen Notwendigkeit.

Die Fruchtfolge übt auch noch Jahre später einen deutlichen Einfluss auf den Unkrautauflauf aus. Bei der Bodenbearbeitung stellen sich die Effekte nach ca. vier Jahren ein. Die fruchtfolgebedingte Nachwirkungen bleiben bei der nichtwendenden Bodenbearbeitung länger erhalten. Bei den reduzierten Herbizidaufwandmengen in der Strategie „IPS“ prägen sich die Effekte der Bodenbearbeitung, besonders der nichtwendenden, und der vorherigen Fruchtfolge (Getreideanteil in der Fruchtfolge) stärker aus. Dies gilt insbesondere für die dikotylen Unkräuter.

Beim *Apera spica-venti* spielt die Witterung und insbesondere die daraus resultierende Bodenfeuchte eine große Rolle, da er aus einer geringen Tiefe aufläuft.

Bei Einsatz von um ca. 20 % reduzierter Herbizidaufwandmengen („IPS“) in Verbindung mit nichtwendender Bodenbearbeitung steigt die Verunkrautung an. Somit kann bei reduzierten Herbizidaufwandmengen auf eine Pflugfurche eigentlich nicht verzichtet werden.

Dieser Sachverhalt wird in anderen Untersuchungen, z. B. am Standort Glaubitz (PALLUTT, 2010), bestätigt. In Glaubitz waren bei getreidebetonten Fruchtfolgen und pflugloser Bodenbearbeitung in Verbindung mit verringerten Herbizidaufwandmengen eine verstärkte Verunkrautung mit dikotylen Arten und *Apera spica-venti* zu beobachten. Beim Pflugverzicht im ökologischen Landbau ist dies ebenfalls zu beobachten (DITTMANN, 2012).

Literatur

- AMANN, A., 1991: Einfluss von Saattermin und Grundbodenbearbeitung auf die Verunkrautung in verschiedenen Kulturen. Dissertation Universität Hohenheim, 148 Seiten.
- DITTMANN, B., 2012: Abschließende Ergebnisse zur Wirkung von langjährig pflugloser Bodenbearbeitung auf die Verunkrautung in der ökologischen Fruchtfolge Güterfelde. Julius-Kühn-Archiv **434**, 708-711.
- MORTENSEN, D. A., G. A. JOHNSON und L.J. YOUNG, 1993: Weed Distribution in Agricultural Fields. In: ROBERT, 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., 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.
- ROSNER, J. und A. KLIK, 2005: Konservierende Bodenbearbeitungssysteme. Gesunde Pflanzen **57**, 179-186.
- SCHWARZ, J. und E. MOLL, 2010: Entwicklung der Verunkrautung in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Herbizidintensität. Journal für Kulturpflanzen **62**, 317-325.
- SCHWARZ, J., B. PALLUTT und E. MOLL, 2012: Einfluss von Fruchtfolge und Herbizidaufwandmenge auf die Verunkrautung. Julius-Kühn-Archiv **434**, 337-344.
- SCHWARZ, J. und B. PALLUTT, 2014: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Entwicklung der Verunkrautung in einem Dauerfeldversuch. Julius-Kühn-Archiv **443**, 141-148.
- SCHWARZ, J., 2013: Energetische Betrachtung zum Einsatz von Herbiziden und Bodenbearbeitung. Gesunde Pflanzen **65**, 33-37.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Bodenbearbeitung, Bewässerung, Landschaftselemente. Erhebung über landwirtschaftliche Produktionsmethoden (ELPM). Fachserie **3**, Heft **5**.
- STEINMANN, H.-H., 2013: Glyphosat - ein Herbizid in der Diskussion und die Suche nach dem „Notwendigen Maß“. Gesunde Pflanzen **65**, 47-56.

On-farm investigations on integrated weed management in maize in three European countries

Integriertes Unkrautmanagement in Mais auf Praxisbetrieben in drei europäischen Ländern

Arnd Verschwele^{1*}, Vasilis Vasileiadis², Robert Leskovsek³, Maurizio Sattin²

¹Julius Kühn-Institut, Federal Research Centre for Cultivated Plants, 38104 Braunschweig, Germany

²National Research Council (CNR), 35020 Legnaro (PD), Italy

³Agricultural Institute of Slovenia, 1000 Ljubljana, Slovenia

*Corresponding author, arnd.verschwele@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.027

Abstract

In 2011 and 2012, a total of 9 on-farm experiments were conducted to evaluate the effectiveness of different integrated weed management strategies (IWM) against the conventional approach (CON) in three important European maize producing countries. These sites were located in Italy, Germany and Slovenia and represent the range of various geographic, climatic and cultivation types in Europe. The IWM strategies tested were: 1) Italy: the early-post emergence herbicide broadcast application when-if indicated by a predictive model of weed emergence after performing one scouting in the field, followed by hoeing, 2) Germany: the early-post emergence band application combined with hoeing followed by a second hoeing and 3) Slovenia: the harrowing at BBCH 12-13 of maize and low doses of post-emergence herbicide. Results showed that the different IWM strategies tested in the countries were similarly effective with the CON broadcast herbicide application in reducing weed density. In terms of mean weed density in the 3 countries and 2 years the efficacy of CON was significantly higher than IWM in only 2 out of 6 trials across two growing seasons. Furthermore, there were no significant differences of both management strategies in terms of grain yield. The study highlights the potential of IWM tools already available in Europe

Keywords: Herbicide reduction, maize yield, mechanical weed control

Zusammenfassung

An insgesamt 9 Standorten in 3 wichtigen europäischen Maisanbaugebieten wurden 2011 und 2012 auf Praxisbetrieben vergleichende Versuche mit Verfahren des integrierten Unkrautmanagements (IWM) und der konventionellen Unkrautbekämpfung (CON) durchgeführt. Die Versuchsstandorte lagen in Italien, Deutschland und Slowenien und repräsentieren unterschiedliche geographische, klimatische produktionstechnische Bedingungen in Europa. Folgende IWM-Strategien wurden getestet: 1) Italien: Herbizid-Flächenbehandlung im frühen Nachauflauf nach Bonitur und standortspezifischem Entscheidungsmodell, gefolgt von Hackmaßnahme; 2) Deutschland: Herbizid-Bandspritzung in Kombination mit Hackscharen und nachfolgende Hackmaßnahme und 3) Slowenien: Striegeln im BBCH 12-13 und Flächenbehandlung mit reduzierten Herbizid-Aufwandmengen. Die Versuche zeigten, dass die verschiedenen IWM-Strategien in den Ländern die Unkrautdichte signifikant reduzieren konnte. Bezogen auf die mittlere Unkrautdichte in den 3 Ländern und 2 Jahren war die Wirksamkeit der konventionellen Behandlung (CON) nur in 2 von 6 Versuchen signifikant höher als die der integrierten Varianten (IWM). Die Kornerträge vom Mais unterschieden sich in keinem Fall signifikant voneinander. Die Untersuchungen verdeutlichen das Potenzial von IWM-Methoden, die bereits in Europa zur Verfügung stehen.

Stichwörter: Herbizidreduktion, Maisertrag, mechanische Unkrautbekämpfung

Introduction

Integrated weed management (IWM) is a major component of integrated pest management (IPM) aiming at optimizing crop production and grower's profit through the concerted use of preventive tactics, scientific knowledge, management skills, monitoring procedures, and efficient use of control practices (BUHLER, 2002). IWM has the potential to reduce weed infestation to acceptable levels, reduce the environmental impact of weed control measures, increase cropping system sustainability, and reduce selection pressure for weed resistance to herbicides (HARKER and O'DONOVAN, 2013). Consequently, one of the main challenges in European research is to develop IWM strategies that manage weed infestations with a low dependence on herbicides. These

strategies can satisfy the rising public concern about the massive use of pesticides and will significantly contribute to addressing the EU's strategic commitment to the sustainable use of pesticides by promoting the implementation of IPM, which became compulsory in the EU by the Directive 2009/128/EC (EUROPEAN PARLIAMENT, 2009). Thus, the aim of this study was to investigate the efficiency of different IWM tools which are already available on the market but not yet widely implemented for practical farm uses.

Materials and Methods

In 2011 and 2012, a total of 9 on-farm experiments were conducted to evaluate the effectiveness of different IWM strategies against the conventional (CON) approach in 3 different European regions. Northern Italy (5 sites) represented the southern European region where the average characteristics are medium-heavy soils, relatively mild winters and warm-hot summers, water availability (medium-high rainfall or irrigation) and high grain yield potential. The central region was represented by southern Germany (2 sites) that is characterised by mild-warm summers and high grain yield potential. Slovenia (2 sites) is located in the eastern region with continental climate and a medium grain yield potential (Tab. 1).

Tab. 1 Climatic conditions of the trial regions in 2011 and 2012 (April-October).

Tab. 1 Klimatische Bedingungen in den Versuchsregionen 2011 und 2012 (April-Oktober).

| Country | Sites | 2011 | | 2012 | |
|----------|-------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | | Precipitation (mm) | Temperature (°C) | Precipitation (mm) | Temperature (°C) |
| Italy | 5 | 300 | 18 | 380 | 19 |
| Germany | 2 | 410 | 17 | 505 | 17 |
| Slovenia | 2 | 670 | 16 | 790 | 17 |

In each region, a minimum of 2 different sites were used as the replicates each year. 2 plots (minimum size of 0.5 ha) were created on each of these sites, where one plot was managed with the CON approach against weeds and the other using different IWM strategies for each region. All on-farm experiments were managed with commercially available equipment which is suited for field scale applications.

The IWM strategies tested in the different countries were: 1) Italy: the early-post emergence herbicide broadcast application when indicated by a predictive model of weed emergence after performing one scouting in the field, followed by hoeing, 2) Germany: the early-post emergence band application combined with hoeing followed by a second hoeing, 3) Slovenia: the harrowing at BBCH 12-13 of maize and low doses application of post-emergence herbicide. The choice of herbicide products and doses in the IWM plots was always decided taking under consideration the weed infestation (i.e. species present and density).

Shortly after maize sowing on each site, 14 sampling areas were fixed randomly in the centre of each plot, each of 0.75 m² size (75 cm x 100 cm), where the weed assessments were performed. These sampling areas were fixed in order to determine the efficacy of the IWM strategies tested against the CON management during the growing season. Two weed assessments were conducted: before any post-emergence treatments and before harvesting, where the density per weed species was counted. Maize grain yield was determined by harvesting the whole plot using a combine harvester and converting to t ha⁻¹ at 14% moisture content. All statistical analysis were performed with Statistica 10 (STATSOFT Inc., 2011). Means obtained by ANOVA were compared using Fisher's protected LSD test at P = 0.05 level of significance. Spearman rank order correlation analysis was performed for grain yield, weed density, and graphical comparison was also used to identify general trends. For further details on materials and methods see VASILEIADIS et al. (2015).

Results

The initial weed infestation in the IWM plots across the different sites for 2011 and 2012 was variable but generally low, ranging from 7 to 157 plants m^{-2} , with species richness ranging from 7 to 17 weed species. The most frequent species detected across all experiments were *Chenopodium album* and *Chenopodium polyspermum*, whereas *Abutilon theophrasti*, *Amaranthus retroflexus*, *Convolvulus arvensis* and *Echinochloa crus-galli* were commonly observed in Italy and Slovenia.

Overall both strategies were effective in reducing significantly weed density, but CON was significantly more effective than IWM (82% vs. 65% of weed control). Effects were stable across countries and years (interactions not significant), despite of the greater weed density reduction in 2012 due to the higher initial density (Fig. 1).

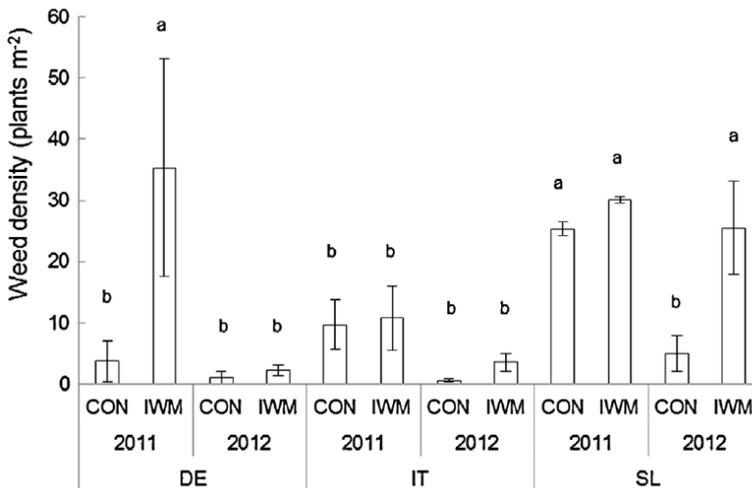


Fig. 1 Effect of different weed management (CON/IWM) on residual weed density in maize.

Abb. 1 Wirkung von unterschiedlichem Unkrautmanagement (CON/IWM) auf die restliche Unkrautdichte in Mais.

In terms of weed density, more specifically, in Germany the initial weed density in CON and IWM was similar as no pre-emergence herbicides were applied in both years. The IWM strategy tested in this country (i.e. early post-emergence herbicide application combined with hoeing and followed by another hoeing) had a similar high efficacy as the CON only in 2012 (95% vs. 98%). In 2011, *C. polyspermum* was not controlled efficiently by the hoeing operations between maize rows in IWM, resulting in high final densities compared to the post-emergence broadcast herbicide application in CON that had 86% of weed control. In both years, no significant differences were observed in grain yield between IWM and CON strategies of the German trials (Fig. 2).

In Italy 2011, the pre-emergence application of herbicides in CON was ineffective because of the dry soil conditions, resulting in similar weed density to that of the initial weed infestation in IWM (6 vs. 7 plants m^{-2}). The use of the predictive model in IWM indicated no need for post-emergence herbicide application, thus only hoeing was practiced at all 5 sites, whereas post-emergence herbicide was applied to CON plots in 4 out of 5 sites. This resulted in similar weed control of CON and IWM strategies (final density of 10 vs. 11 plants m^{-2} , respectively). Contrary to 2011, in 2012 the pre-emergence application of herbicides was very effective, with an efficacy of almost 100% for CON and a residual density of 0.5 plants m^{-2} compared to 44 plants m^{-2} in IWM. In this case, the IWM strategy indicated herbicide application in 4 out of 5 sites and resulted in high weed control

(93%) comparable to that of the CON strategy (99%). In both years, there was no significant difference in the grain yields between IWM and CON strategies, but only a strong year effect because of extremely dry season that highly reduced grain yields in 2012.

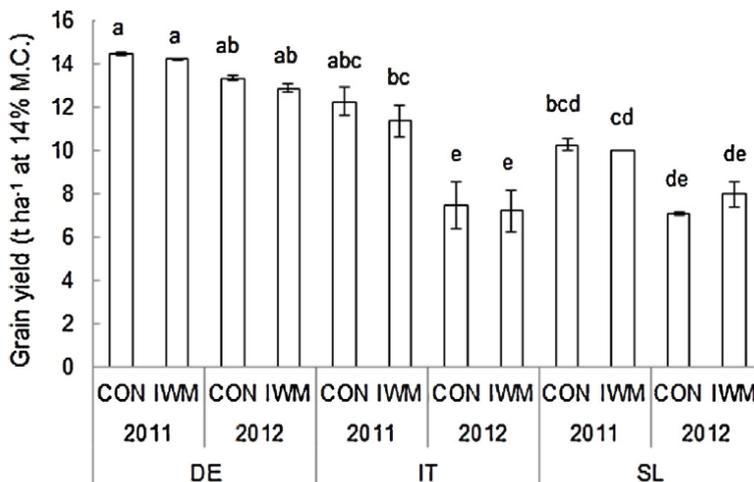


Fig. 2 Effect of different weed management (CON/IWM) on grain yield of maize.

Abb. 2 Wirkung von unterschiedlichem Unkrautmanagement (CON/IWM) auf den Kornertrag von Mais.

In Slovenia, the highest initial weed infestation was observed compared to all other countries (70 and 161 plants m^{-2} in 2011 and 2012, respectively). The harrowing combined with reduced herbicide doses provided partial weed control in 2011 compared to the broadcast application of herbicide, and a higher weed control in 2012 when the initial density was higher (57% and 84% weed control in 2011 and 2012, respectively). Also in Slovenia no significant differences in the grain yields between IWM and CON strategies were observed. For more comprehensive results of this study (e.g. on economic effects) see VASILEIADIS et al. (2015).

Discussion

This study indicates that IWM is efficient in controlling weeds without losing grain yield under different growing conditions in Europe. This is remarkable, because this high efficacy, comparable to the broadcast herbicide application, was achieved with old-fashioned technique. Other experimental studies have also shown that weed control and grain yield did not differ in banded herbicide application plus mechanical weeding in maize compared to the broadcast application of herbicides (EADIE et al., 1992; SWANTON et al., 2002). JOHNSON et al. (2002) found that reduced-rate herbicide applications in maize can provide good weed control and maintain a crop yield similar to that obtained with the full-rate.

However, considering the variation of the residual weed density of this study it becomes evident that the IWM strategy may result in high weed seed production before harvest and consequently in weed problems in the succeeding crops. Also it has to be mentioned that on a larger scale (e.g. farms growing more than 30 ha maize) the use of IWM like tested here is limited because of the low area performance and the high risk of unfavourable weather and soil conditions. On the other hand, the findings also demonstrate the strong need for further technical improvements in order to achieve a broad and cost-efficient use of IWM tools in Europe.

Acknowledgements

This research activity was jointly funded by PURE (Pesticide Use-and-Risk reduction in European farming systems with Integrated Pest Management, project number 265865, EU Seventh Framework Programme) and all participating institutions.

References

- BUHLER, D.D., 2002: Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Sci.* **50**, 273-280.
- EADIE, A., C.J. SWANTON, J. SHAW and G.W. ANDERSON, 1992: Integration of cereal cover crops in ridge-tillage corn production. *Weed Technol.* **6**, 553-560.
- EUROPEAN PARLIAMENT, 2009: Directive 2009/128/EC of the European parliament and of the council. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0071:0086:EN:PDF>>.
- HARKER, K.N. and J.T. O'DONOVAN, 2013: Recent Weed Control, Weed Management and Integrated Weed Management. *Weed Technol.* **27**, 1-11.
- JOHNSON, B.C., B.G. YOUNG and J.L. MATTHEWS, 2002: Effect of post emergence application rate and timing of mesotrione on corn (*Zea mays*) response and weed control. *Weed Technol.* **16**, 414-420.
- STATSOFT INC., 2011: STATISTICA (DATA ANALYSIS SOFTWARE SYSTEM), VERSION 10. <http://www.statsoft.com>. StatSoft, Inc., Tulsa, OK, 74104, USA.
- SWANTON, C.J., A. SHRESTHA, D.R. CLEMENTS, B.D. BOOTH and K. CHANDLER, 2002: Evaluation of alternative weed management systems in a modified no-tillage corn-soybean-winter wheat rotation: weed densities, crop yield, and economics. *Weed Sci.* **50**, 504-511.
- VASILEIADIS, V.P., S. OTTO, W. VAN DIJK, G. UREK, R. LESKOVSEK, A. VERSCHWELE, L. FURLAN and M. SATTIN (2015): On-farm evaluation of integrated weed management tools for maize production in three different agro-environments in Europe: agronomic efficacy, herbicide use reduction and economic sustainability. *European Journal of Agronomy* **63**, 71-78.

Vorzüglichkeit des Clearfield®-Systems bei Raps unter verschiedenen Bewirtschaftungsintensitäten

Performance of oilseed rape in the Clearfield®-system in different cropping intensities

Sebastian Schwabe*, Sabine Gruber, Ernst Albrecht Weber, Wilhelm Claupein

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Universität Hohenheim, 70599 Stuttgart

*Korrespondierender Autor, Sebastian.Schwabe@uni-hohenheim.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.028

Zusammenfassung

In einem zweifaktoriellen Feldversuch mit Clearfield®-Raps (*Brassica napus*; Sorte PT228CL) sollte im Jahr 2014 auf der Versuchsstation Ihinger Hof geprüft werden, ob eine Vorzüglichkeit des Clearfield®-Systems bei verschiedener Bewirtschaftungsintensität vorliegt. Faktor 1 war die Bewirtschaftungsintensität mit den Varianten Normalsaat (NS; wendende Bodenbearbeitung, 50 Körner m⁻², Reihenabstand 12 cm), Dünnsaat (DS; wendende Bodenbearbeitung, 25 Körner m⁻², Reihenabstand 50 cm) und Strip-till (ST; 25 Körner m⁻², Reihenabstand 50 cm). Faktor 2 war die Herbizidstrategie mit den Varianten Vorauffaufstrategie (VAS; Colzor® Trio (30 g l⁻¹ Clomazone, 187,5 g l⁻¹ Dimethachlor, 187,5 g l⁻¹ Napropamid), appliziert einen Tag nach der Saat; Agil®-S (100 g/l Propaquizafop), appliziert ca. 3,5 Wochen nach der Saat) und Clearfield®-Strategie (CLS; Clearfield®-Vantiga® (375 g l⁻¹ Metazachlor, 125 g l⁻¹ Quinmerac, 6,25 g l⁻¹ Imazamox) + Dash® E.C. (345 g l⁻¹ Fettsäuremethylester, 205 g l⁻¹ Fettalkoholalkoxyolat, 46 g l⁻¹ Ölsäure), appliziert am gleichen Tag wie Agil®-S). Die Variante NS erzielte im Mittel aller Herbizidstrategien mit 3,9 t ha⁻¹ den höchsten Ertrag, signifikant mehr als die ertragsschwächste Variante Strip-till mit 3,6 t ha⁻¹. Mit VAS war der Ertrag im Mittel der Bewirtschaftungsintensitäten mit 3,8 t ha⁻¹ signifikant höher als mit CLS (3,7 t ha⁻¹). Wechselwirkungen traten nicht auf. Die Unkrautdichte war insgesamt vergleichsweise niedrig (kein Auftreten von *Sisymbrium officinale* und *Galium aparine*) und dabei noch am höchsten in DS/CLS und ST/CLS mit 12,8 bzw. 13,9 Pflanzen m⁻², dem rund 2 bis 3-Fachen der anderen Varianten. Clearfield®-Vantiga® zeigte bei vermutlich höherem Unkrautdruck in Dünnsaat (DS) und Strip-till (ST) eine Minderwirkung gegenüber *Stellaria media* und Ausfallgetreide (hier: *Hordeum vulgare*). Eine ökonomische Auswertung der Ergebnisse soll sich anschließen.

Stichwörter: Bodenbearbeitung, *Brassica napus*, Imidazolinon-Toleranz, Vorauffaufferbizide

Abstract

A two-factorial field experiment should reveal the performance of Clearfield® oilseed rape under different cropping intensities. The experiment was conducted at the experimental station Ihinger Hof in 2014, with cropping intensity as factor 1 and herbicide strategy as factor 2, all treatments sown with variety PT228CL. Treatments of cropping intensities were "normal sowing" (NS; soil inversion tillage tillage, 50 seeds m⁻², 12 cm row spacing), "reduced sowing density" (DS; soil inversion tillage, 25 seeds m⁻², 25 cm row spacing) and strip-till (ST; 25 seeds m⁻², 25 cm row spacing). The two herbicide strategies were pre-emergence strategy (VAS; application of Colzor® Trio (30 g L⁻¹ Clomazone, 187.5 g L⁻¹ Dimethachlor, 187.5 g L⁻¹ Napropamide) one day after sowing and of Agil® S (100 g/L Propaquizafop) 3.5 weeks after sowing) and Clearfield® strategy (CLS; application of Clearfield®-Vantiga® (375 g L⁻¹ Metazachlor, 125 g L⁻¹ Quinmerac, 6.25 g L⁻¹ Imazamox) and Dash® E.C. (345 g L⁻¹ fatty acid methyl ester, 205 g L⁻¹ fatty alcohol alkoxyolates, 46 g L⁻¹ oleic acid) at the same day as Agil® S). NS resulted in the highest yield (3.9 t ha⁻¹) which was significantly more than obtained by ST (3.6 t ha⁻¹), the least-yielding intensity. There were no significant interactions of the effects. Weed density was highest in DS/CLS and ST/CLS with 12.8 and 13.9 plants m⁻², respectively, and thus the two to threefold of the other treatments.

The results indicate a lack of efficacy of Clearfield®-Vantiga® under the presumably higher weed pressure in DS and ST, specifically in controlling the weeds *Stellaria media* and volunteer cereals (in this case: *Hordeum vulgare*). An economic evaluation will follow.

Keywords: *Brassica napus*, imidazolinone tolerance, pre-emergence herbicides, soil tillage

Einleitung

Der Anbau von Raps (*Brassica napus*) im Clearfield®-System soll bestimmte Vorzüge zeigen, die sich vor allem in einem Umfeld verstärkt auftretender, kreuzblütiger Problemunkräuter und begrenzter arbeitszeitlicher Ressourcen manifestieren. Die Clearfield®-Herbizidstrategie soll eine

höhere Wirksamkeit und Pflanzenverträglichkeit mit sich bringen, dadurch ertragssteigernd wirken und darüberhinaus durch die Nachaufaufanwendung des Herbizids ein effizienteres Arbeitsmanagement ermöglichen. In einem Feldversuch wurde geprüft, inwieweit eine derartige Vorzüglichkeit des Clearfield®-Systems beim Rapsanbau unter verschiedenen Bewirtschaftungsintensitäten vorliegt.

Material und Methoden

Ein zweifaktorieller Versuch wurde als Spaltanlage am 22.08.2014 auf der Versuchsstation Ihinger Hof der Universität Hohenheim mit der Rapsorte „PT228CL“ in allen Varianten nach der Vorfrucht Wintergerste angelegt. Versuchsfaktoren waren 1. die Bewirtschaftungsintensität (Großteilstück, 120 m²) und 2. die Herbizidstrategie (Kleinteilstück, 60 m²). Die Bewirtschaftungsintensität unterschied sich in der Bodenbearbeitung und der Aussaatmenge, mit den Varianten: Normalsaat (NS), gesät mit 12 cm Reihenabstand und 50 keimfähigen Körnern m⁻², Grundbodenbearbeitung Pflug; Dünnsaat (DS), gesät mit 50 cm Reihenabstand und 25 keimfähigen Körnern m⁻², Grundbodenbearbeitung Pflug; Strip-till (ST), gesät mit 50 cm Reihenabstand und 25 keimfähigen Körnern m⁻², Grundbodenbearbeitung: Streifenlockerung. Zwei Herbizidstrategien kamen zum Einsatz: Voraufaufstrategie mit der Applikation von 4 l ha⁻¹ Colzor® Trio im Voraufauf am 23.08.2014 und von 0,7 l ha⁻¹ Agil®-S am 16.09.2014 (VAS); Clearfield®-Strategie mit der Applikation von 2 l ha⁻¹ Clearfield®-Vantiga® und 1 l ha⁻¹ Dash® E.C. am 16.09.2014 (CLS). Der Versuch wurde in vier Wiederholungen angelegt, so dass insgesamt 24 Parzellen mit den Ausmaßen 10 m x 6 m vorlagen. Um Ausfallgetreide sicher zu bekämpfen, wurde die Variante „VAS“ in BBCH 14 zusätzlich mit dem Gräserherbizid Agil®-S zeitgleich zur Applikation von Clearfield®-Vantiga® + Dash® E.C. in den entsprechenden Varianten behandelt. Als weitere Pflanzenschutzmaßnahmen wurden unabhängig von der Variante am 09.09.2014 und 26.09.2014 0,3 l ha⁻¹ Decis® flüssig (25 g l⁻¹ Deltamethrin), am 15.04.2015 0,2 l ha⁻¹ Trebon® 30 EC (287,5 g l⁻¹ Etofenprox), am 23.04.2015 0,3 l ha⁻¹ Biscaya® (240 g l⁻¹ Thioclopid) und als Blütenspritzung am 06.05.2015 zum BBCH 65 1 l ha⁻¹ Ortiva® (250 g l⁻¹ Azoxystrobin); 0,2 l ha⁻¹ Mavrik® (240 g l⁻¹ Tau-Fluvalinat) sowie 0,3 kg ha⁻¹ Citro (1.000 g kg⁻¹ wasserfreie Citronensäure) appliziert. Die Stickstoffdüngung betrug insgesamt 220 kg N ha⁻¹, aufgeteilt in drei Gaben: 40 kg N ha⁻¹ in Form von KAS am 01.10.2014, 90 kg N ha⁻¹ in Form von ASS am 10.03.2015 und 90 kg N ha⁻¹ in Form von ASS am 08.04.2015. Als eines der Kriterien zur Bewertung der Vorzüglichkeit wurde der Kornertrag durch einen Kerndrusch mit dem Parzellenmähdrescher ermittelt. Die Ernte erfolgte am 22.07.2015. Ein weiteres Kriterium war die Unkrautzahl in Pflanzen (Pfl.) m², bestimmt mittels Quadratmeterrahmen am 18.04.2015 im BBCH 57. Weiterführend erfolgte eine Unterteilung der Gesamtunkrautzahl gemäß der am häufigsten am Versuchsstandort vorkommenden Arten in die Gruppen: *Hordeum vulgare* (Ausfallgetreide); *Viola arvensis*; *Stellaria media*; „neu gekeimte, dikotyle Unkräuter bis BBCH 10 sämtlicher Arten“; und "restliche dikotyle Unkräuter ab BBCH 11". Zur statistischen Analyse wurden die Datensätze Kornertrag und Unkrautzahl mit dem Programm SAS 9.3 mit der PROC MIXED und einem t-Test zum Mittelwertvergleich varianzanalytisch verrechnet.

Ergebnisse

Sowohl Bewirtschaftungsintensität als auch Herbizidstrategie hatten einen signifikanten Effekt auf den Kornertrag des Rapses, signifikante Wechselwirkungen lagen dabei nicht vor ($\alpha=0,05$, Abb. 1). Der durchschnittliche Kornertrag der Variante NS lag im Mittel über beide Herbizidstrategien mit 3,9 t ha⁻¹ und unterschied sich signifikant nur von der Variante mit dem geringsten Ertrag (ST, 3,6 t ha⁻¹). Der durchschnittliche Kornertrag für VAS war im Mittel über alle Intensitäten mit 3,8 t ha⁻¹ signifikant höher als der für CLS mit 3,7 t ha⁻¹. Tendenziell fiel die Differenz im Kornertrag zwischen VAS und CLS in der Variante NS mit 0,16 t ha⁻¹ am höchsten aus, in DS und NS belief sie sich auf 0,07 bzw. 0,08 t ha⁻¹.

Bewirtschaftungsintensität, Herbizidstrategie sowie deren Wechselwirkung hatten einen signifikanten Einfluss auf das Unkrautauftreten ($\alpha=0,05$, Abb. 2). Am meisten Unkräuter fanden

sich zum Zeitpunkt der Erhebung am 18. April in den Varianten DS/CLS und ST/CLS mit rund 13 bzw. 14 Pflanzen m⁻², die anderen Varianten unterschieden sich davon signifikant und zeigten rund 5 bis 6 Unkrautpflanzen m⁻². Die Unkrautanzahl in NS war mit 5,6 Pfl. m⁻² grundsätzlich geringer als die in DS (8,8 Pfl. m⁻²) und ST (9,4 Pfl. m⁻², nicht dargestellt). In VAS fanden sich mit 4,9 Pfl. m⁻² im Mittel über alle Intensitäten signifikant weniger Unkräuter als in CLS (10,9 Pfl. m⁻²; nicht dargestellt). In allen CLS-Varianten trat Ausfallgerste auf, besonders viel dabei unter ST. Ausschließlich in den CLS-Varianten wurde *Stellaria media* in größerem Umfang gefunden.

Diskussion

Wird die Vorzüglichkeit eines Anbausystems definiert durch Maximierung des Kornertrags bei gleichzeitiger Minimierung der Unkrautdichte, war den Ergebnissen dieses Versuches zufolge die Variante NS günstiger als DS und ST, und VAS übertraf CLS. Ursache für die höheren Erträge in der Variante NS gegenüber DS und ST war vermutlich die mit einer höheren Bodenbearbeitungsintensität einhergehende Schaffung günstigerer Keimungs-, Auflauf- und Entwicklungsbedingungen unter anderem durch eine bessere Lockerung, Mischung und Erwärmung des Bodens.

Die signifikant geringeren Kornerträge in CLS gegenüber VAS waren vermutlich auf eine höhere Unkrautdichte insbesondere in DS und ST zurückzuführen. Die Herbizidmaßnahme in CLS schien bei höherem Unkrautdruck, wohl ausgelöst durch eine geringere Beschattung des Bodens vor Bestandsschluss in DS und ST aufgrund der geringeren Saatkichte bei größerem Reihenabstand, nicht die gleiche Wirkung entfalten zu können wie in NS. Hinsichtlich der Unkrautzusammensetzung machten dikotyle Unkräuter den größten Anteil in NS und DS aus, während in ST *Hordeum vulgare* als Ausfallgetreide dominierte.

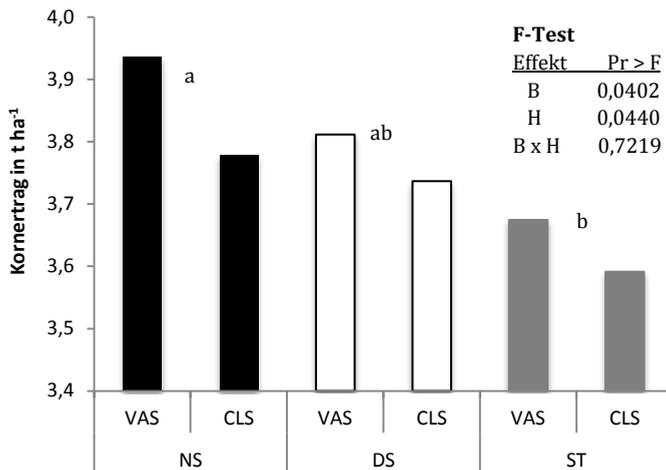


Abb. 1 Kornertrag von Raps in t ha⁻¹ in Abhängigkeit von den Bewirtschaftungsintensitäten (B) Normalsaat (NS), DünnSaat (DS) und Strip-till (ST) sowie den Herbizidstrategien (H) Voraufbau (VAS) und Clearfield® (CLS), Versuchsstation Ihinger Hof, 2015. Ergebnisse mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. Buchstaben beziehen sich hier auf den Faktor Bewirtschaftungsintensität ($\alpha=0,05$; t-Test).

Fig. 1 Grain yield in t ha⁻¹ as effect of the cropping intensities (B) normal sowing (NS), reduced sowing (DS), and strip till (ST), and of the herbicide strategies (H) pre-emergence (VAS) and Clearfield® (CLS), research station Ihinger Hof, 2015. No significant differences between values with same letters, comparison here only between cropping intensities, ($\alpha=0,05$; Student's t-test).

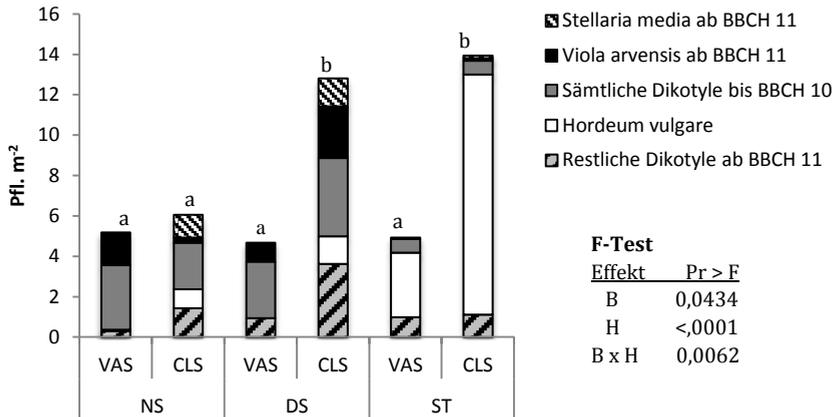


Abb. 2 Unkrautaufkommen (Pflanzen m⁻²) und -zusammensetzung in Raps in Abhängigkeit von den Bewirtschaftungsintensitäten (B) Normalsaat (NS), Dünnsaat (DS) und Strip-till (ST) sowie von den Herbizidstrategien (H) Voraufbau (VAS) und Clearfield® (CLS); Versuchsstation Ihinger Hof, 18.04.2015. Ergebnisse mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, Buchstaben bezogen auf die Wechselwirkung B x H für die Gesamtpflanzenzahl m⁻² ($\alpha=0,05$; t-Test).

Fig. 2 Weed numbers (plants m⁻²) and composition in oilseed rape as effect of the cropping intensity (B) normal sowing (NS), reduced sowing (DS), and strip till (ST), and of the herbicide strategies (H) pre-emergence (VAS) and Clearfield® (CLS); research station Ihinger Hof, 18th April 2015. No significant differences between values with same letters. Letters for interaction B x H, referred to total number of weeds. ($\alpha=0.05$; Student's t-test).

Wegen der geringen Bodenbearbeitungsintensität in ST entfiel vor der Saat eine mechanische Zerstörung des Ausfallgetreides; weiterhin hinderte wohl hier eine Mulchauflage dikotyle Unkräuter am Auflaufen, sodass sich diese kaum bis BBCH 10 feststellen ließen. In NS und DS war deren Anteil vermutlich aufgrund günstigerer Keimbedingungen größer. Die in CLS Varianten tendenziell vermehrt aufgetretenen *Stellaria media* (NS und DS) und *Hordeum vulgare* (NS, DS und ST) deuteten auf eine Minderwirkung von Clearfield®-Vantiga® hin. Kreuzblütige „Problemunkräuter“, für die das Clearfield®-System vorteilhaft sein soll (TAN et al., 2005; BASF, 2015), traten nicht auf. Dennoch können sich Vorteile hinsichtlich der Arbeitslogistik und -effizienz sowie im Bereich der Herbizidkosten bei der Nutzung des Clearfield®-Systems positiv auf die bereinigte Marktleistung auswirken (MERKER und SCHÄFER, 2015). Gleiches gilt für Kosteneinsparungen durch einen geringeren Energiebedarf bei der Bodenbearbeitung (ST) und einer verringerten Saatgutmenge (DS und ST) bei den untersuchten Bewirtschaftungsweisen geringerer Intensität. Allerdings könnte sich in diesem Zusammenhang ein erhöhter Aufwand in der Prävention bzw. aktiven Bekämpfung von Clearfield®-Durchwuchsraps ebenfalls negativ auswirken (KRATO et al., 2012).

Literatur

- BASF, 2015: Clearfield® - Das Produktionssystem für unkrautfreien Raps, http://www.agrar.basf.de/agroportal/de/media/migrated/de/produkte_neu_1/clearfield_1/Clearfield_Infoblatt_2015.pdf (Stand: 22.10.2015).
- KRATO, C., K. HARTUNG und J. PETERSEN, 2012: Response of imidazolinone-tolerant and -susceptible volunteer oilseed rape (*Brassica napus* L.) to ALS inhibitors and alternative herbicides. *Pest Management Science* **68**, 1385-1392.
- MERKER, C. und B. C. SCHÄFER, 2014: Abschlussbericht UFOP-Modellanbau Clearfield-Raps. Fachhochschule Südwestfalen – University of Applied Sciences. UFOP-Schriften. 1-113.
- 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.

Combining cutting and herbicide application for *Ambrosia artemisiifolia* control

Kombination von Herbizidapplikation und Schneiden zur Bekämpfung von *Ambrosia artemisiifolia*

Ulrike Sölter^{1*}, Solvejg K. Mathiassen², Arnd Verschwele¹

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, Germany

²Dept. of Agroecology, Aarhus University, Forsøgsvej 1, 4200 Slagelse, Denmark *Corresponding author, ulrike.soelter@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.029

Abstract

The effect on *Ambrosia artemisiifolia* (common ragweed) of combining cutting and herbicide application was studied in pot experiments in Germany and Denmark in 2013. Single plants of common ragweed were established in 2 L pots in glasshouses. Two cutting treatments were conducted: cutting to 10 cm height at the beginning of male budding (BBCH 51-59) and no cutting. Clopyralid (in Germany: Lontrel 600, in Denmark: Matrigon), mesotrione (in Germany and Denmark: Callisto) and glyphosate (in Germany: Clinic, in Denmark: Roundup Bio) were applied at 4 doses at three different timings: on the day of cutting, one week and two weeks after cutting. The plants were harvested 5 weeks after the last herbicide application. At both sites clopyralid and mesotrione had a low efficacy on common ragweed when applied on developed plants with only minor differences in efficacy at the three timings. Application after cutting improved the efficacy of clopyralid at both sites and of mesotrione in Denmark. In Germany glyphosate had a higher efficacy on non-cut plants in comparison to the cut plants, in Denmark it was *vice versa*. The highest dose of glyphosate provided higher control levels on developed plants than clopyralid and mesotrione at both sites. In Denmark the highest effects were obtained shortly after cutting with the maximum dose of each herbicide and declined with time between cutting and herbicide application. In summary the results demonstrated that herbicides can be applied shortly after cutting without loss of efficacy.

Keywords: *Ambrosia artemisiifolia*, clopyralid, common ragweed, cutting, glyphosate, herbicides, mesotrione

Zusammenfassung

In Deutschland und Dänemark wurde in Gewächshausversuchen die Kombinationswirkung von Herbizid und Schnitt auf *Ambrosia artemisiifolia* (Beifußblättrige-Ambrosie) untersucht. Einzelpflanzen der Beifußblättrigen-Ambrosie wurden in 2 L Gefäßen im Gewächshaus angezogen. Zwei Schnittvarianten wurden durchgeführt: Schnitt der Pflanzen auf 10 cm Höhe zum Beginn der männlichen Blüte (BBCH 51-59) und kein Schnitt. Clopyralid (in Deutschland: Lontrel 600, in Dänemark: Matrigon), Mesotrione (in Deutschland und Dänemark: Callisto) und Glyphosat (in Deutschland: Clinic, in Dänemark: Roundup Bio) wurden mit 4 Dosierungen zu drei verschiedenen Zeitpunkten ausgebracht: am Tag des Schneidens, eine Woche und zwei Wochen nach dem Schnitt. Die Ernte der gesamten Pflanze fand 5 Wochen nach der letzten Herbizidapplikation statt. An beiden Standorten hatten Clopyralid und Mesotrione eine geringere Wirkung auf die ungeschnittenen Pflanzen, ungeachtet des Applikationszeitpunktes. Die Herbizidausbringung nach erfolgreichem Schnitt verbesserte die Wirkung von Clopyralid an beiden Standorten und von Mesotrione in Dänemark. In Deutschland war die Wirkung von Glyphosat auf die ungeschnittenen Pflanzen besser als auf die geschnittenen, am dänischen Standort war es umgekehrt. Glyphosat mit der maximalen Dosis hatte an beiden Standorten eine bessere Wirkung auf ältere Pflanzen als Clopyralid und Mesotrione. In Dänemark wurde die höchste Wirkung kurz nach dem Schnitt mit der maximalen Dosis und jedem Herbizid erreicht, diese Wirkung nahm ab, je später die Herbizidapplikation nach dem Schnitt erfolgte. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die angewendeten Herbizide kurz nach dem Schnitt ausgebracht werden können, ohne dass ein Wirkungsverlust zu verzeichnen ist.

Stichwörter: *Ambrosia artemisiifolia*, Beifußblättrige-Ambrosie, Clopyralid, Glyphosat, Herbizide, Mesotrione, Schneiden

Introduction

Ambrosia artemisiifolia (common ragweed) is an invasive alien species originating from North America that has been spreading in Central European countries during the second half of the 20th century. It can lead to severe negative impacts on public health, crop yield and biodiversity in a

country or region. Strategies to control and repress the plant with the aim to mitigate its impacts are therefore recommendable. Common ragweed is a very fertile and high productive plant in terms of seed production, especially dormant seeds can stay viable under beneficial conditions (KAZINCZI et al., 2008). A long-term strategy is the most favorite one, where the production of seeds is prevented. The application of herbicides is one of several strategies that can be carried out. In order to increase the efficacy, herbicide application can be combined with a cutting treatment, which was a result of the Euphresco project Ambrosia (HOLST, 2009). This combination can be applied on farmland, where common ragweed became a major weed and also on rural areas like roadsides, where in some countries permission must be applied for.

Materials and Methods

The effect on common ragweed of combining cutting and herbicide application was studied in pot experiments in Germany and Denmark in 2013. Single plants of *A. artemisiifolia* were established in 2 L pots at the beginning of March in glasshouses with a potting mixture consisting of field soil, sand and peat (2:1:1 weight per volume). Two cutting treatments were conducted: cutting to 10 cm height at the beginning of male budding (BBCH 51-59, reached at the beginning of June) and no cutting in order to detect the impact of cutting in this trial. On average cutting the plants at 10 cm height left very few leaves but all the stems of the side and main shoots.

Three active ingredients (a.i.) were selected which are known to be effective against dicotyledonous weeds: clopyralid (N=120 g a.i./ha), mesotrione (N=150 g a.i./ha) and glyphosate (N=1080 g a.i./ha), the corresponding herbicides were in Germany: Lontrel 600, Callisto and Clinic, in Denmark: Matrigon, Callisto and Roundup Bio, respectively. They were applied at 4 doses: 20%; 40%; 60%; 80% of the registered and recommended dose (N). An untreated control (without herbicide application) was established for the cut and non-cut treatments. The trial was conducted with three replicates per treatment. Herbicide application took place on three different timings: on the day of cutting, one week and two weeks after cutting (in Denmark it became 3 weeks due to technical problems with the sprayer). Herbicide preparations were applied using a mobile hand device sprayer (Germany) or a laboratory pot sprayer (Denmark) equipped with a boom fitted with two Hardi ISO F110-02 flat fan nozzles using a volume rate of ca. 300 l/ha. The plants were harvested 5 weeks after the last herbicide application. The plants were cut at the soil surface and fresh weight biomass was recorded. The plant biomass was dried at 80° C for 48 hours and dry weight biomass was recorded.

Results

Germany

In the trials conducted in Germany, clopyralid and mesotrione had a low efficacy on common ragweed when applied on non-cut plants with only minor differences in efficacy at the three timings. Application after cutting improved the efficacy of clopyralid (Fig. 1). In contrast the efficacy of mesotrione was not improved by cutting (Fig. 2). Glyphosate had a higher efficacy on non-cut plants in comparison to cut plants with almost no differences in the application timing (Fig. 3). Glyphosate provided higher control levels on developed plants with the maximum dose than clopyralid and mesotrione.

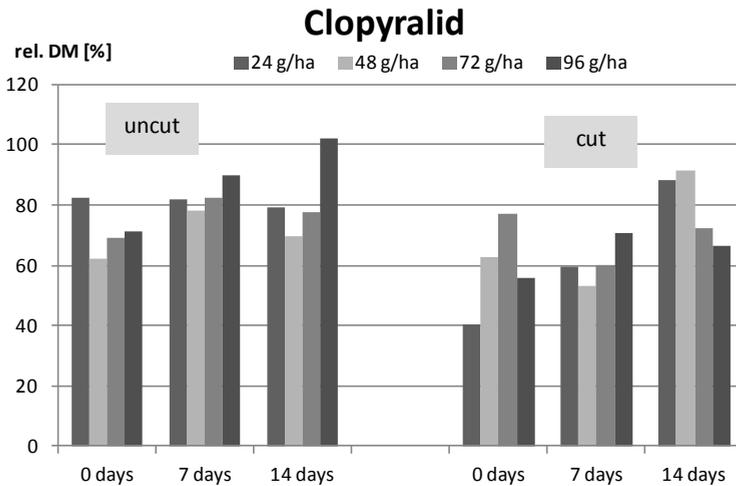


Fig. 1 Relative dry weight of biomass (rel. DM) of common ragweed plants treated with 4 different doses of clopyralid in Germany. One group of the plants was cut at 10 cm height at day 0. Clopyralid was applied at 3 timings: 0, 7, 14 days after cutting.

Abb. 1 Relativer Trockenmasseertrag (rel. DM) der Beifuß-Ambrosien in Deutschland mit 4 verschiedenen Clopyraliddosierungen. Eine Pflanzengruppe wurde am Tag 0 auf 10 cm Höhe geschnitten. Clopyralid wurde an 3 verschiedenen Tagen appliziert: 0, 7, 14 Tage bezogen auf die Schnittvariante.

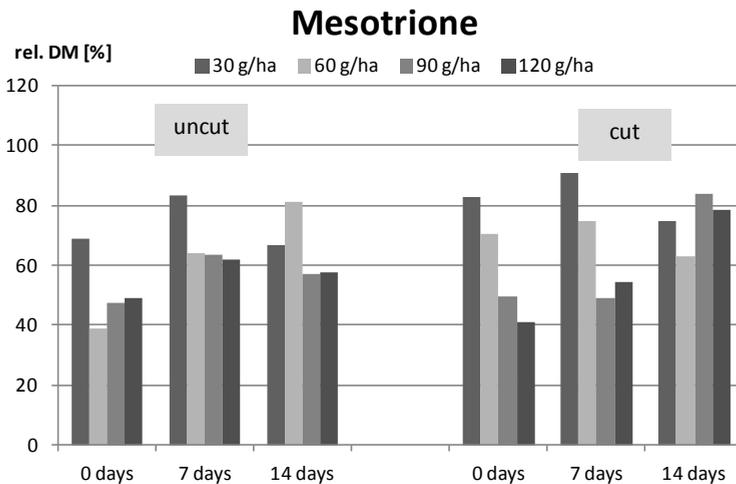


Fig. 2 Relative dry weight of biomass (rel. DM) of common ragweed plants treated with 4 different doses of mesotrione in Germany. One group of the plants was cut at 10 cm height at day 0. Mesotrione was applied at 3 timings: 0, 7, 14 days after cutting.

Abb. 2 Relativer Trockenmasseertrag (rel. DM) der Beifuß-Ambrosien in Deutschland mit 4 verschiedenen Mesotriiondosierungen. Eine Pflanzengruppe wurde am Tag 0 auf 10 cm Höhe geschnitten. Mesotriion wurde an 3 verschiedenen Tagen appliziert: 0, 7, 14 Tage bezogen auf die Schnittvariante.

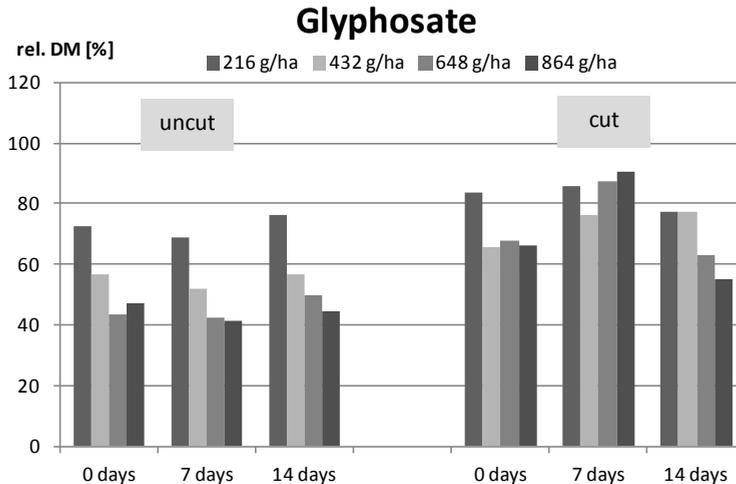


Fig. 3 Relative dry weight of biomass (rel. DM) of common ragweed plants treated with 4 different doses of glyphosate in Germany. One group of the plants was cut at 10 cm height at day 0. Glyphosate was applied at 3 timings: 0, 7, 14 days after cutting.

Abb. 3 Relativer Trockenmasseertrag (rel. DM) der Beifuß-Ambrosien in Deutschland mit 4 verschiedenen Glyphosatdosierungen. Eine Pflanzengruppe wurde am Tag 0 auf 10 cm Höhe geschnitten. Glyphosat wurde an 3 verschiedenen Tagen appliziert: 0, 7, 14 Tage bezogen auf die Schnittvariante.

Denmark

In Denmark clopyralid and mesotrione had a low efficacy on common ragweed when applied on non-cut plants. The efficacy of clopyralid was highest at the first timing while there were only minor differences in efficacy of mesotrione at the three timings. Application after cutting improved the efficacy of both herbicides (Fig. 4-5). In general the applied doses of glyphosate provided higher control levels on developed plants than clopyralid and mesotrione (Fig. 6) and similar to the other herbicides the efficacy was higher on cut plants in comparison to the non-cut plants. For all herbicides the best effects were obtained shortly after cutting with the maximum dose of each herbicide and declined with time between cutting and herbicide application.

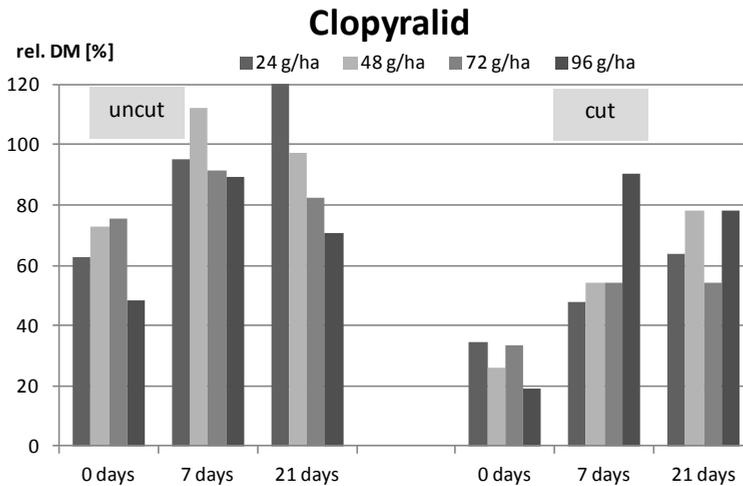


Fig. 4 Relative dry weight of biomass (rel. DM) of common ragweed plants treated with 4 different doses of clopyralid in Denmark. One group of the plants was cut at 10 cm height at day 0. Clopyralid was applied at 3 timings: 0, 7, 21 days after cutting.

Abb. 4 Relativer Trockenmasseertrag (rel. DM) der Beifuß-Ambrosien in Dänemark mit 4 verschiedenen Clopyraliddosierungen. Eine Pflanzengruppe wurde am Tag 0 auf 10 cm Höhe geschnitten. Clopyralid wurde an 3 verschiedenen Tagen appliziert: 0, 7, 21 Tage bezogen auf die Schnittvariante.

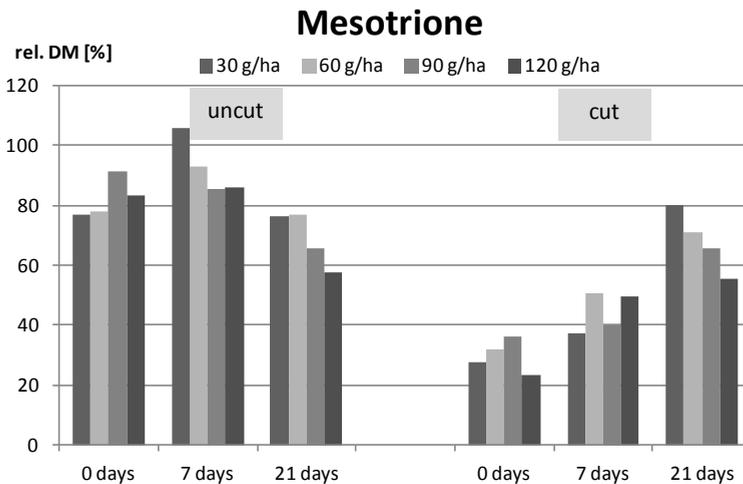


Fig. 5 Relative dry weight of biomass (rel. DM) of common ragweed plants treated with 4 different doses of mesotrione in Denmark. One group of the plants was cut at 10 cm height at day 0. Mesotrione was applied at 3 timings: 0, 7, 21 days after cutting.

Abb. 5 Relativer Trockenmasseertrag (rel. DM) der Beifuß-Ambrosien in Dänemark mit 4 verschiedenen Mesotriiondosierungen. Eine Pflanzengruppe wurde am Tag 0 auf 10 cm Höhe geschnitten. Mesotriion wurde an 3 verschiedenen Tagen appliziert: 0, 7, 21 Tage bezogen auf die Schnittvariante.

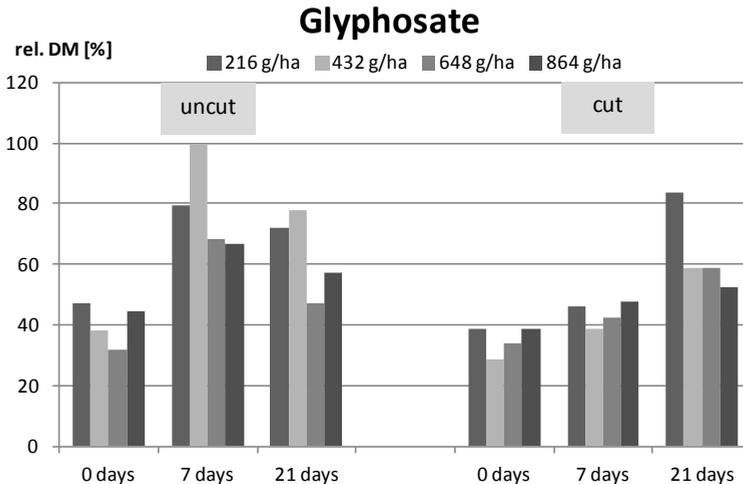


Fig. 6 Relative dry weight of biomass (rel. DM) of common ragweed plants treated with 4 different doses of glyphosate in Denmark. One group of the plants was cut at 10 cm height at day 0. Glyphosate was applied at 3 timings: 0, 7, 21 days after cutting.

Abb. 6 Relativer Trockenmasseertrag (rel. DM) der Beifuß-Ambrosien in Dänemark mit 4 verschiedenen Glyphosatdosierungen. Eine Pflanzengruppe wurde am Tag 0 auf 10 cm Höhe geschnitten. Glyphosat wurde an 3 verschiedenen Tagen appliziert: 0, 7, 21 Tage bezogen auf die Schnittvariante.

Discussion

At both sites clopyralid and mesotrione had a low efficacy on common ragweed when applied on non-cut plants with only minor differences in efficacy at the three timings. Application after cutting improved the efficacy of clopyralid at both sites and of mesotrione in Denmark. This effect was also described by BOHREN et al. (2008) with glyphosate and clopyralid experiments on common ragweed. In Germany glyphosate had a higher efficacy on non-cut plants in comparison to the cut plants, in Denmark it was vice versa. Glyphosate provided higher control levels on developed plants with the maximum dose than clopyralid and mesotrione at both sites. The good efficacy of glyphosate against common ragweed was documented in other studies, too (e.g. GEHRING et al., 2008; SCHROEDER and MEINLSCHMIDT, 2009). In Denmark the highest effects were obtained shortly after cutting with the maximum dose of each herbicide and declined with time between cutting and herbicide application. In summary the results demonstrated that herbicides can be applied shortly after cutting without loss of efficacy.

Acknowledgement

The authors wish to express her thanks to the European Commission, DG Environment for financial support (HALT AMBROSIA, 07.0322/2010/58340/SUB/B2). We also like to thank the Danish technicians Betina Bendtsen and Willy Rasmussen and in Germany Martina Kracht and Werner Lühr.

References

- BOHREN, C., G. MERMILLOD and N. DELABAYS, 2008: *Ambrosia artemisiifolia* L. - Control measures and their effects on its capacity of reproduction. Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XXI, 311-316.
- HOLST, N., 2009: Strategies for *Ambrosia* control. Euphresco project AMBROSIA 2008-2009, Scientific report, 23-31. http://www.euphresco.net/media/project_reports/ambrosia_report.pdf.
- GEHRING, K., S. THYSSEN and T. FESTNER, 2008: Erste Erfahrungen im Rahmen des Aktionsprogramms zur Bekämpfung der *Ambrosia artemisiifolia* L. Mitt. Julius Kühn –Institut **417**, 228.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

SCHROEDER, G. and E. MEINLSCHMIDT, 2009: Untersuchungen zur Bekämpfung von Beifußblättriger Ambrosia (*Ambrosia artemisiifolia* L.) mit herbiziden Wirkstoffen. *Gesunde Pflanze* **61**, 135-150.

KAZINCZI, G., I. BÉRES, R. NOVÁK, K. BIRÓ and Z. PATHY, 2008: Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*): A review with special regards to the results in Hungary. I. Taxonomy, origin and distribution, morphology, life cycle and reproduction strategy. In: *Herbologia*. Ed. ŠARIĆ. Vol. **9**, No. 1, 55-92.

Beifußblättrige Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia* L.) auf Äckern Südbrandenburgs: Anwendung eines Indikators für Bestandsüberwachung und Einschätzung des Bekämpfungserfolgs

Ragweed (Ambrosia artemisiifolia L.) in agricultural fields of South Brandenburg: using an indicator to monitor infestation and the success of control measures

Wilko Schweers*, Christine Tümmeler, Jörg Lübcke

Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF),
Abt. 3 – Pflanzenschutz, Ref. 32 – Pflanzenschutz im Ackerbau und auf dem Grünland,
Steinplatz 1, 15806 Zossen OT Wünsdorf
*Korrespondierender Autor, w.schweers@lelf.brandenburg.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.030

Zusammenfassung

Teile Südbrandenburgs sind stark von der Beifußblättrigen Ambrosie befallen. Ackerschläge mit integriertem Pflanzenschutz und ökologischen Anbau wurden 2014-2015 beobachtet. Das Ziel bestand darin, die Auswirkungen chemischer und sonstiger Maßnahmen gegen die Ambrosie unter Praxisbedingungen der Region zu bewerten.

Anzahl der Unkräuter pro m², Pflanzhöhe und BBCH wurden aufgezeichnet. Diese Parameter wurden eingestuft und, im Wege der Multiplikation, in einem Wert zusammengefasst, der als Anteil an einem definierten Intensivbefall ausgedrückt werden kann.

Solch eine Vorgehensweise wird als sinnvoll angesehen, um die Erholung der Schläge vom Befall zu dokumentieren und den Bekämpfungserfolg durch einen Vergleich der Situation vor und nach Bekämpfungsmaßnahmen einzuschätzen. Der Indikator wird auf Ergebnisse der Anbausaison 2014 angewendet, was durch einige Beispiele veranschaulicht wird.

Stichwörter: Beifuß-Ambrosie, Bekämpfungsmaßnahmen, Indikator

Abstract

Parts of South Brandenburg are heavily infested with ragweed. Agricultural fields under integrated pest management and ecological farming were monitored 2014-2015. The aim was to assess the performance of chemical and other control measures against ragweed under farming conditions of the region.

Number of weeds per m², plant height, and BBCH were recorded. These parameters were ranked and, by way of multiplication, merged into one single value, which can be expressed as degree of a defined intense infestation level.

Such approach is considered to be useful to track recuperation efforts and estimate control efficiency by comparing pre and post measure infestation status. The index is applied to results of the 2014 growing season, which is illustrated by some examples.

Keywords: Control measures, indicator, ragweed

Einleitung

Ambrosia artemisiifolia L., eine ursprünglich in der nordamerikanischen Prärie beheimatete Pflanze, wurde in Südbrandenburg bereits 1928 entdeckt (HEGL, 1979). Vermutlich durch Einschleppung verunreinigter Sonnenblumensaat ist die Beifuß-Ambrosie (im Folgenden einfach ‚Ambrosie‘ genannt) in den 70er Jahren auch auf Äckern der Region beobachtet worden. Aber erst in den 90er Jahren breitete sie sich relativ schnell aus; dies vor allem in den Landkreisen Spree-Neiße und Oberspreewald-Lausitz, wo sie zu einem bekämpfungswürdigen Ackerunkraut wurde. Als Gründe für dieses Phänomen wurden veränderte Agrarstrukturen nach der Wiedervereinigung, z.B. Stilllegungen, mehr Öko-Anbau, Änderungen der Herbizidzulassungen, z.B. weniger Bodenherbizide, sowie wärmere und trockenere Wachstumsbedingungen genannt (SCHRÖDER und MÜLLER, 2011).

Aus Sicht der Landwirte geht es bei der Bekämpfung der Ambrosie vor allem darum, zu verhindern, dass sie durch Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe (LEHOCZKY et al., 2006) wirtschaftlichen Schaden (KAZINCZI, 2007; ZWERTGER und EGGERS, 2008) anrichtet. Die ökonomische Schadschwelle ist kulturbedingt sehr unterschiedlich, kann nach Untersuchungen von COWBROUGH et al. (2003) an Soja mit nur 0,5 Pflanzen/m² doch relativ niedrig liegen. Dass bodenmikrobiologische Effekte der invasiven Pflanze (QIN et al., 2014) auch eine positive Rolle spielen können, z.B. im Hinblick auf die P-Verfügbarkeit (KOIDE und LI, 1991; FILE et al., 2012), dürfte in diesem Zusammenhang von Interesse, aber insgesamt von untergeordneter Bedeutung sein.

Entscheidend ist, dass es sich um ein Kraut mit stark allergener Wirkung handelt (BERGMANN et al., 2008). Nach Studien des Robert-Koch-Instituts (HAFTENBERGER et al., 2013) sind bereits ca. 8,2 % der Erwachsenen in Deutschland sensibilisiert. Hinzu kommt, dass Sensibilisierungsraten innerhalb von etwa 15 Jahren ab Erstexposition weiter steigen und Allergien in Form von Heuschnupfen und Asthma erst mehrere Jahre nach Sensibilisierung verstärkt auftreten (TOSI, 2011). Simulationen der Ambrosien-Ausbreitung in Österreich und Bayern mit unterschiedlichen Management- und Klimaszenarien zufolge ließen sich dort bis 2050 bei entsprechendem Management und 10 % der Kosten etwa 10 Milliarden Euro im Gesundheitssektor einsparen (RICHTER et al., 2013).

Ein Problem bei der Bekämpfung der Ambrosie ist der Mangel an gesetzlichen Regelungen (SCHÖNTALER et al., 2011) und klaren Handlungsvorgaben, abgesehen von der Begrenzung des Gehalts an Ambrosia-Samen in Futtermittel-Ausgangserzeugnissen und Mischfuttermitteln (EU KOMMISSION, 2011) und der Möglichkeit von Beseitigungsanordnungen durch kommunale Ordnungsgämter aus Gründen des Gesundheitsschutzes (SCHÖNTALER et al., 2011). Auf der Grundlage der neuen EU Verordnung über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten (EU, 2014) könnte diese Lücke geschlossen werden, sollte der von der Kommission bestellte Ausschuss die Kriterien zur Aufnahme in die ‚Unionsliste‘ auf Antrag eines oder mehrerer Mitgliedsstaaten in Zukunft als erfüllt ansehen. Das würde dann auch materielle Unterstützung als Ausgleich für besondere Maßnahmen auf Antrag ermöglichen, z.B. über einen Fonds, dem neben EU-Mitteln auch Überschüsse der gesetzlichen Krankenkassen zufließen.

Wenngleich unterstützt durch Feldforschung (SCHRÖDER und MEINLSCHMIDT, 2009; BOHREN et al., 2008; SÖLTER und VERSCHWELE, 2014; NEDELICU et al., 2010; MOLL et al., 2010) sowie Öffentlichkeits- und Aufklärungsarbeit (MLUL, 2014; MUGV, 2011), sind die Akteure im Kampf gegen die Ambrosie vor Ort (Landwirte, Maschinenringe und Agrardienstleister, Gemeinden und Straßenbetriebe, etc.) wesentlich auf eigenes Engagement und gegenseitige Zusammenarbeit angewiesen. Aufgrund von Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen Bewertung der Ambrosie durch die Gesetzgeber, möglicher Wertverluste von Befallsflächen und der Erkenntnis, dass Befallsvermeidung und Begrenzung der Ausbreitung erfolversprechender und wirtschaftlicher sind, als Bekämpfung (NAWRATH und ALBERTERNST, 2014), erscheint eine geringe Toleranzschwelle gegenüber der Ambrosie, ähnlich wie gegenüber der Gemeinen Quecke, gerechtfertigt.

Wenn Bekämpfungsmaßnahmen allerdings notwendig sind, was im Starkverbreitungsgebiet Südbrandenburgs der Fall ist, dann stellt sich die Frage, wie man den Erfolg von Maßnahmen befällener Schläge hinsichtlich der Ambrosia-Bekämpfung erfassen und bewerten kann. Grundsätzliche Ausführungen zum Thema Monitoring und Klassifizierung von Unkrautbesatz finden sich beispielsweise bei AULD (2009). Welche Methode dabei auch immer zur Anwendung kommt, so AULD (2009), die Kontrolle des Erfolgs von Unkrautbekämpfung ist wichtig, um Zeit und Geld zu sparen und das Unkrautmanagement entsprechend anzupassen.

Im Land Brandenburg werden vom Pflanzenschutzdienst Schadorganismen in ausgewählten Boniturschlägen regelmäßig überwacht und die Ergebnisse den Landwirten u.a. in Form von Warnhinweisen zur Verfügung gestellt (ISIP, 2015). Was Unkräuter betrifft, beschränken sich diese Erhebungen nur auf die Entnahmen von Samenproben zur Feststellung von Herbizid-Resistenzen einzelner Unkrautarten. Dafür unterhält der Pflanzenschutzdienst aber in eigener Regie Versuche auf einer Prüfstation und nimmt im Kooperationsverbund mit anderen Bundesländern an

Ringversuchen teil. Die Wirkung von Herbiziden auf die Beifußblättrige Ambrosie wird in der Befallsregion ebenfalls geprüft, wobei der Wirkungsgrad von Behandlungen in der Regel über den Unterschied der Artmächtigkeit im Vergleich zur unbehandelten Variante geschätzt wird (BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 1999). Ausgewählte Versuchsergebnisse fließen in die Broschüre des Kooperationsverbundes und – gemeinsam mit den Erfahrungen aus der Schaderregerüberwachung - in Sachkundeveranstaltungen für Landwirte zum Thema Pflanzenschutz ein.

Um der besonderen Bedeutung der Ambrosie im Starkverbreitungsgebiet und der Ausbreitung der Schadpflanze innerhalb Brandenburgs Rechnung zu tragen, hat das LELF mit Unterstützung des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft (MLUL) im Jahre 2014 eine Projektstelle eingerichtet. Der Schwerpunkt der Aktivitäten besteht in der Überwachung der Ambrosie in repräsentativen Kulturpflanzenbeständen im Raum Drebkau südwestlich von Cottbus. Vorrangiges Ziel ist die Bewertung von Maßnahmen zur Bekämpfung der Schadpflanze unter Praxisbedingungen zwecks Ergänzung und Vervollständigung von Schulungsmaterialien für Landwirte.

Material und Methoden

Boniturstellen wurden entsprechend der von SCHWÄHN et al. (1986) beschriebenen Methode jeweils am Rand und im Schlaginneren mit PVC-Stäben abgesteckt. Im Folgejahr sind die Positionen von 2014 über ein DGPS-System wieder lokalisiert worden. Innerhalb der Vegetationszeit der Ambrosie (April – September 2014, 2015) wurden die Boniturstellen turnusmäßig mithilfe eines Göttinger Schätzrahmens (BARTELS et al., 1983) mit 0,5 m Kantenlänge überwacht. Die bonitierte Fläche entsprach je nach Schlaggröße und Wachstumsbedingungen meist 2-3 m², maximal 5 m² pro Schlag. Dabei wurden die Kenngrößen Anzahl, Entwicklungsstadium (BBCH) sowie Wuchshöhe erfasst und nach dem in Tabelle 1 dargestellten Schema klassifiziert.

Tab. 1 Einteilung von Kenngrößen der Verunkrautung in Befallsfaktoren.

Tab. 1 Classification of weed infestation parameters as infestation factors.

| Kenngröße | Bereich | Faktor |
|-----------------------------|---------|--------|
| | 0 | 0 |
| Anzahl/m² | 1-9 | 1 |
| | 10-39 | 2 |
| | 40+ | 3 |
| | | |
| BBCH | 09-49 | 1 |
| | 50-79 | 2 |
| | 80+ | 4 |
| Wuchshöhe (cm) | 0,1-19 | 1 |
| | 20-49 | 2 |
| | 50+ | 3 |

Das Produkt der Befallsfaktoren wurde mit deren Maximalprodukt ins Verhältnis gesetzt, woraus sich ein prozentualer Befallsgrad errechnete (Abb. 1). Dieser wurde, gemeinsam mit Aufzeichnungen, betrieblichen Informationen und Fotos, schließlich genutzt, um die Befallsentwicklung im Bestand zu dokumentieren und die Wirkung von Bekämpfungsmaßnahmen auf den Befall abzuschätzen.

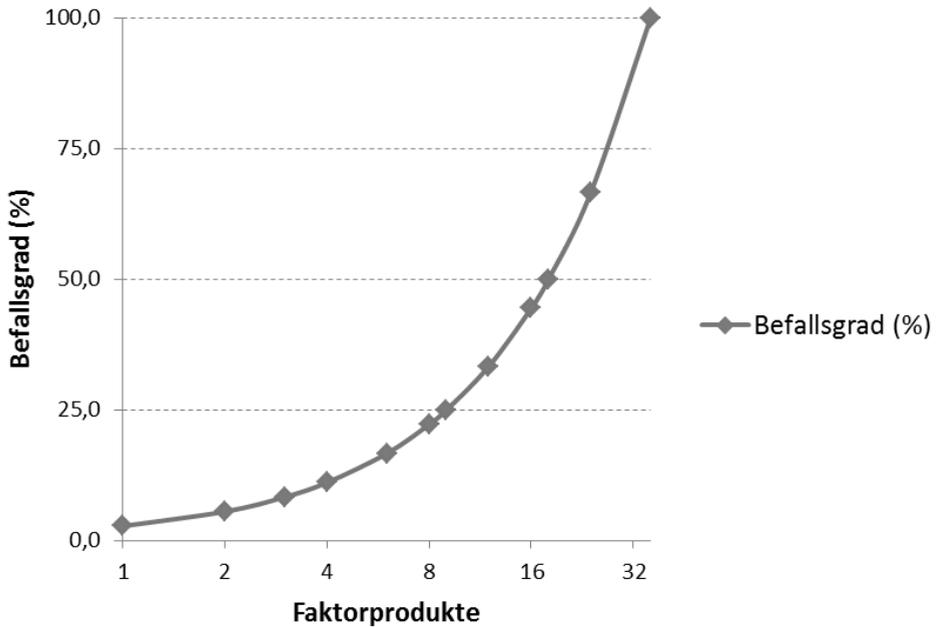


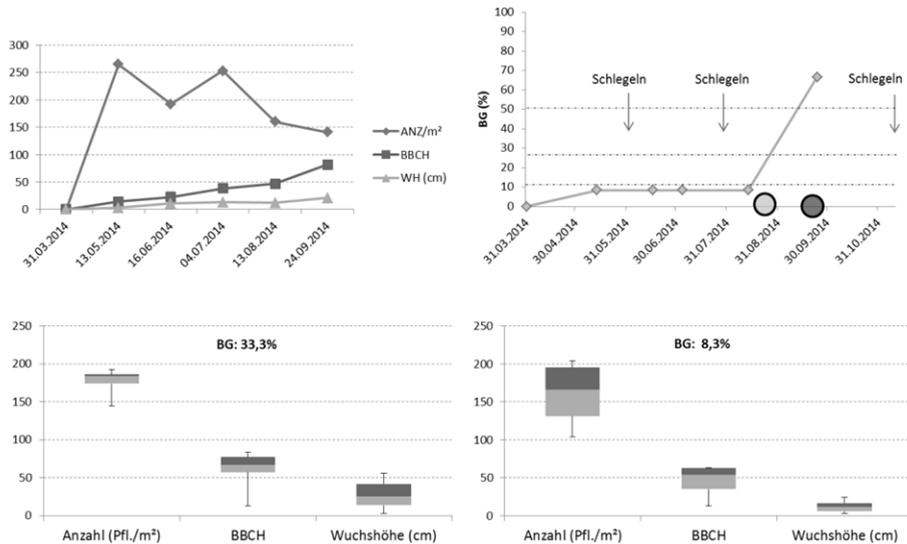
Abb. 1 Umwandlung der Produkte von Befallsfaktoren in Prozent Befallsgrad.

Fig. 1 Transformation of investment factor products into percent degree of infestation.

Ergebnisse

Ein Beispiel für die Verwendung des Befallsgrades ist in Abbildung 2 dargestellt. Luzernegras war auf diesem Schlag, nach Herbstfurche und Grubbern im Frühjahr, am 31.03.2014 eingesät worden. 2011 hatten dort Sonnenblumen gestanden, danach 2 Jahre lang Winterroggen. Auf dem z.T. sehr sandigen Boden hatte die Ambrosie anfänglich einen Wettbewerbsvorteil, der erst durch mehrmaliges Schlegeln zugunsten des Luzernegrases sukzessive aufgehoben wurde. Die letzte Maßnahme in November diente dem Kurzhalten des Bestandes, um Schimmelbildung in der häufig unter Schneelast abknickenden Pflanzendecke vorzubeugen. Obwohl die Ambrosie im Spätsommer noch Chancen hatte, sich zu vermehren, ist in 2015 fast nichts von ihr übrig geblieben. Dies lag u.a. am kühlen Frühjahr, aber vor allem an der trockenen Witterung. Nach zwischenzeitlichem Regen Ende Juni/Anfang Juli 2015 keimten bis zu 40 Individuen pro m², die aber fast alle wieder verschwanden, vermutlich, weil ihnen die bereits etablierten Wurzeln von Weidelgras und Luzerne während der Frühentwicklung zu wenig Wasser übrig ließen. Zusätzlich können Ambrosienpopulationen durch Feldmäuse, insbesondere in Trockenperioden, dezimiert werden (NAWRATH und ALBERTERNST, 2015).

Man kann den Befallsgrad hernehmen, um den Wirkungsgrad von Maßnahmen abzuschätzen. Für das 2. Schlegeln errechnete sich in dem Luzernegras-Schlag am 13.08. beispielsweise ein Wirkungsgrad von 75 % gegenüber den unbehandelten Vergleichsflächen.



Ein untersuchtes Flurstück lag in Drebkau an der B169 Richtung Senftenberg. Die Ambrosie hatte sich an diesem Standort u.a. über abgelagertes Bodenmaterial beim Straßenbau verbreitet. Dort wurden nach 2 x Winterroggen und Mais als Vorfrucht in 2014 Tribenuron Methyl-tolerante Sonnenblumen (Sorte: P63 LE 10) angebaut. Im Voraufbau wurde 4l/ha Bandur® (Wirkstoff: 400 g/l Aclonifen) gegen einjährige Gräser und Unkräuter ausgebracht. Am 22.05. und 6.06. fand je eine Behandlung mit 30 g/ha Pointer® SX® (Wirkstoff: 50 Gew.-% Tribenuron Methyl) gegen Distel, Kornblume und andere zweikeimblättrige Unkräuter statt. Die Ambrosie befand sich in diesem Zeitraum im BBCH Stadium 13 – 16. Am 23.05. und 24.05. hatte es in Drebkau insgesamt 55 mm geregnet, aber nicht unmittelbar am 22.05. Es blieb also beim 1. Anwendungstermin genug Zeit für die Blattaufnahme des Wirkstoffs. Trotzdem bestand der Erfolg der Behandlung lediglich darin, dass sich die Situation vor und nach der Behandlung nicht verschlimmert hatte. Als Sequenz zwischen den Befallsgraden der Boniturtermine vorher (14.05.) und nachher (10.06.) berechnet, war eine Wirkung zumindest nicht nachvollziehbar (Abb. 3).

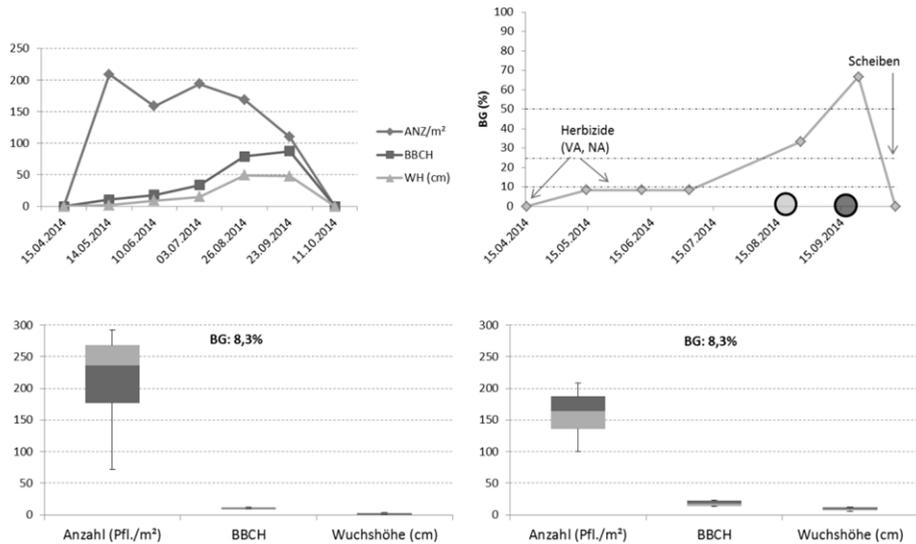


Abb. 3 Befallsentwicklung in Sonnenblumen; oben links: Untersuchte Kenngrößen, Mittelwerte von 4 Beobachtungen; oben rechts: Verlauf des Befallsgrades, heller Punkt: Hauptphase Blüte, dunkler Punkt: Hauptphase Samenreife; unten links: 14.05. vor Behandlung mit Pointer[®] SX[®]; unten rechts: 10.06. nach Behandlung mit Pointer[®] SX[®].

Fig. 3 Investation development in sun flowers; above left: observed parameters, averages of 4 observations; above right: degree of infestation, light spot: full flowering stage, dark spot: full ripening stage; below left: May 14 before treatment with Pointer[®] SX[®]; below right: June 10 after treatment with Pointer[®] SX[®].

Nach Sonnenblumen wurde auf demselben Schlag 2015 wieder Winterroggen angebaut. Die Vorbereitung zur Saatbestellung am 18.10.2014 erfolgte mit der Scheibenegge. Am 14.11. wurde im Nachauflauf mit Picona[®] (2,25 l/ha; Wirkstoffe: 16 g/l Picolinafen, 320 g/l Pendimethalin) und Lexus[®] (15 g/ha; Wirkstoff: 50 Gew.-% Flupyrsulfuron Methyl) behandelt. Der Verlauf des Befallsgrades war erwartungsgemäß flacher als im Vorjahr. Zwar war der Unkrautbesatz an den Boniturstellen von der Anzahl her ähnlich wie in 2014, aufgrund der Lichtverhältnisse im Bestand und der Trockenheit blieben die Ambrosien aber lange klein und konnten sich erst nach dem erwähnten Regen zur Jahresmitte im allmählich reifenden Roggenbestand besser entwickeln. Der Befallsgrad erreichte maximal 8,3 % vor der Ernte Mitte Juli und anschließendem Stoppelsturz mit dem Grubber.

Ende August hatte sich der Unkrautbestand von der Bearbeitung erholt. Ein Aufwuchs des Ausfallroggens, der Sonnenblumen von 2014 und Unkräutern, u.a. des Weißen Gänsefußes und der Ambrosie war zwar eingeplant, die Behandlung mit 2,5 kg/ha Roundup[®] Rekord (Wirkstoff: 720 g/kg Glyphosat) Mitte September kam möglicherweise dennoch zu spät. Zumindest die Ambrosie hatte bereits die Reifephase erreicht. Noch unreife Samen könnten in ihrer Keimfähigkeit durch die Behandlung allerdings beeinträchtigt worden sein. MONSANTO (2015) informiert auf der eigenen Webseite über diese Eigenschaft von Glyphosat in Bezug auf Getreidesamen mit mehr als 30 % Feuchte und Samen mit einer großen Variabilität im Feuchtegehalt zum Erntezeitpunkt, wie die von Hülsenfrüchten.

Jedoch zurück zur Situation im Winterroggenschlag: Der Befallsgrad zeigte die ungenügende Einarbeitung der Stoppeln und den reifenden Ambrosienbestand in der Boniturlinie am Rand nach der Ernte mit einem Wert von 22,2 % an. Das Beispiel verdeutlicht, dass Winterkulturen und deren verhältnismäßig frühe Ernte allein nicht reichen, sondern eine gründliche Bodenbearbeitung

danach für die Bekämpfung der Ambrosie ebenso wichtig ist. Dass nicht das ganze Betriebsgeschehen allein auf dieses Ziel ausgerichtet sein kann, ist selbstverständlich. Rückschläge bei der Reduzierung der Bodensamenbank verlängern das Problem jedoch erheblich und machen es umso notwendiger, es im Auge zu behalten und bei der Bekämpfung auf Dauer nicht nachzulassen.

Diskussion

Die Nutzung von Indikatoren zwecks Charakterisierung des Unkrautbefalls ist an sich nichts Neues. In SCHWÄHN et al. (1986) wird beispielsweise ein ‚Verunkrautungsindex‘ (nach Zemánek) vorgestellt, der sich aus dem Produkt von Unkrautbesatzdichte/m² und einem Schadfaktor (1 - 6) errechnet. Der im vorliegenden Beitrag beschriebene Befallsgrad ist hingegen nach oben gedeckelt. Der ‚Maximalbefall‘ wird bei mindestens 40 Pflanzen/m², BBCH 80 und 50 cm Wuchshöhe erreicht. Dieser Fall ist 2014 in einer von insgesamt 64 Boniturlinien am Rand eines Sonnenblumenschlages 1-mal eingetreten. Die Verwendung von nur 3 Klassen pro Befallsfaktor erleichtert einerseits die Einteilung, andererseits kann sich der Befallsgrad aber straff ändern, sobald eine Einteilungsgrenze überschritten wird. Dies spiegelt die tatsächliche graduelle Änderung des Befalls im Schlag nur bedingt wider. Ein Vorteil besteht darin, dass es sich um ein ‚objektives‘ System handelt, welches den Befall auf einen Wert reduziert. Das führt dazu, dass Vergleiche besser möglich sind und Zielvorgaben im Hinblick auf den Bekämpfungsfortschritt leichter definiert werden können. Allerdings muss man sich damit abfinden, dass wenige Boniturlinien den Zustand in ungleichmäßig befallenen Schlägen unzureichend repräsentieren und der Arbeitsaufwand nur im Beratungseinsatz, nicht aber im landwirtschaftlichen Betrieb gerechtfertigt erscheint. Hier sind einfachere Ansätze gefragt, die es ermöglichen, mit wenig Aufwand ‚objektiv‘ Fortschritte und Probleme bei der Bekämpfung der Ambrosie zu erkennen sowie Rückschlüsse auf deren Ursachen zu ziehen.

Danksagung

Wir möchten uns bei Frau Sylvia Knopke, LELF und Frau Dr. Cornelia Müller, MLUL für die Unterstützung dieser Arbeit recht herzlich bedanken. Beim Vorstand der AG Drebkau e.V., Frau Schenke, Frau Vogt und Frau Mischke, sowie Herrn Panzner vom Team Pflanzenbau bedanken wir uns für die stets gute Zusammenarbeit und das Interesse am Erfahrungsaustausch.

Literatur

- BARTELS, J., W. WAHMHOF und R. HEITFUß, 1983: So kann der Praktiker Schadensschwellen feststellen - Hinweise zur praktischen Anwendung von Schadensschwellen für Unkräuter im Getreide. DLG-Mitteilungen **5**, 270-274.
- BERGMANN, K.C., D. WERCHAN, M. MAURER und T. ZÜBERBIER, 2008: The threshold value for number of ambrosia pollen inducing acute nasal reactions is very low. *Allergo. J.* **17**, 375-376.
- BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.), 1999: Unkräuter in Futterleguminosen. EPPO-Richtlinie PP **1/76** (2), Braunschweig: 1-12.
- BOHREN C., N. DELABAYS und G. MERMILLOD, 2008: *Ambrosia artemisiifolia* L.: Feldversuche mit Herbiziden. *Agrarforschung*, 230 – 235.
- COWBROUGH, M.J., R.B. BROWN und F.J. TARDIF, 2003: Impact of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) aggregation on economic thresholds in soybean. *Weed Science* **51** (6), 947-954.
- EU KOMMISSION, 2011: Verordnung (EU) Nr. 574/2011 der Kommission vom 16. Juni 2011 zur Änderung des Anhangs I der Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Höchstgehalte für Nitrit, Melamin, *Ambrosia* spp. und der Verschleppung bestimmter Kokzidiostatika und Histomonostatika sowie zur Konsolidierung der Anhänge I und II derselben: 18.
- FILE, A.L., J. KLIRONOMOS, H. MAHERALI und S.A. DUDLEY, 2012: Plant Kin Recognition Enhances Abundance of Symbiotic Microbial Partner. *PLoS ONE* **7**(9), 1-10.
- HEGI, G. (Begr) und G. WAGENITZ (Hrsg), 1979: *Illustrierte Flora von Mitteleuropa, Compositae I: Allgemeiner Teil, Eupatorium-Achillea*. 2. Aufl. Parey Verlag, München.
- ISIP (INFORMATIONSSYSTEM INTEGRIERTE PFLANZENPRODUKTION e.V.(Hrsg.)), 2015: Pflanzenbauliches Online Informationssystem der Länder mit Schwerpunkt Pflanzenschutz. Bad Kreuznach. URL: <http://www.isip.de/isip/servlet/page/deutschland/regionales/brandenburg>

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- LEHOZCKY, É., Z. TÓTH, A. KISMÁNYOKY und T. KISMÁNYOKY, 2006: Nutrient Uptake by Weeds in a Long-term Maize Field Experiment. *Agrokémia és Talajtan* **55** (1), 175 – 182.
- KAZINCZI, G., I. BÉRES, P. VARGA, I. KOVÁCS und M. TORMA, 2007: Competition between crops and *Ambrosia artemisiifolia* L. in additive field experiments. *Magyar Gyomkutatás és Technológia* 2007. **VIII.** évf. 1. sz., 41-47.
- KOIDE, R.T. und M.-G. Li, 1991: Mycorrhizal fungi and the nutrient ecology of three oldfield annual plant species. *Oecologia* **85**, 403 – 412.
- MLUL (Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft, Hrsg.), 2014: Die Bekämpfung der Beifußblättrigen Ambrosie auf landwirtschaftlichen Flächen. Bearbeiter: G. SCHRÖDER. MLUL Referat Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Potsdam: 1-49.
- MOLL, U., H. SCHEMMELE und S. KUPFER, 2010: Unkrautkontrolle der Beifußblättrigen Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) in landwirtschaftlichen Kulturen, im Ökoanbau und im Kommunalbereich in einem Gebiet mit hoher Abundanz. In: 57. Deutsche Pflanzenschutztagung "Gesunde Pflanze - gesunder Mensch". Julius-Kühn-Archiv **428**, 518 – 519.
- MONSANTO, 2015: Webseite des Unternehmens zum Thema „Effekt der Vorerntebehandlung von Roundup auf Samenpflanzen.“ URL: <http://www.monsanto-ag.co.uk/roundup/roundup-agriculture/best-practice/seed-germination/>
- MUGV (Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Hrsg.), 2011: Ambrosia – Gefahr im Anflug. Faltblatt, MUGV Referat Presse/Öffentlichkeitsarbeit, Heinrich-Mann-Allee 103, Potsdam.
- NAWRATH, S. und B. ALBERTERNST, 2014: Aktivitäten der Bundesländer zur Verhinderung der Ausbreitung der Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) in Deutschland. In: STARFINGER, U., U. SÖLTER und A. VERSCHWELE (HRSG.). *Ambrosia in Deutschland - lässt sich die Invasion aufhalten?* Julius-Kühn-Archiv **445**, 47-69.
- NAWRATH, S. und B. ALBERTERNST, 2015: Natürliche Dynamik von Ambrosia-Populationen - Auswirkung von Antagonisten wie Mäuse, Schnecken, Pilze, Trockenphasen. Interdisziplinäre Arbeitsgruppe Ambrosia („IAG“). 10. Treffen 2015 im JKI Braunschweig, Vortragsfolien, 1-66.
- NEDELCU, C.-A., K.F. LAUER und R. ŞTEF, 2010: Chemical control with herbicides at species *Ambrosia artemisiifolia* in Timisoara. *Research Journal of Agricultural Science* **42** (4), 122-128.
- QIN Z., J.-F. XIE, G.-M. QUAN, J.-E. ZHANG, D.-J. MAO und A. DITOMMASO, 2014: Impacts of the invasive annual herb *Ambrosia artemisiifolia* L. on soil microbial carbon source utilization and enzymatic activities. *European Journal of Soil Biology* **60**, 58-66.
- RICHTER, R., U.E. BERGER, S. DULLINGER, F. ESSL, M. LEITNER, M. SMITH und G. VOGL, 2013: Spread of invasive ragweed: Climate change, management and how to reduce allergy costs. *Journal of Applied Ecology* **50** (6), 1422-1430.
- SCHÖNTHALER K., S. VON ANDRIAN-WERBURG, D. NICKEL, S. PIECK, J. TRÖLTZSCH, H. KÜCHENHOFF und S. RUBENBAUER, 2011: Entwicklung eines Indikatorensystems für die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). *Climate Change* 22/2011. UBA, Dessau, 81.
- SCHRÖDER G. und E. MEINLSCHMIDT, 2009: Untersuchungen zur Bekämpfung von Beifußblättriger Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia* L.) mit herbiziden Wirkstoffen. *Gesunde Pflanzen* **61**, 135-150.
- SCHRÖDER, G. und C. MÜLLER, 2011: Verbreitung und Bekämpfung auf landwirtschaftlichen Flächen. In: BAEKER R., C. MÜLLER und M. ULLRICH, 2011: *Ambrosia Erfahrungsbericht*. Arbeitskreis Ambrosia des Landes Brandenburg, Potsdam, 21 – 24.
- SCHWÄHN P., K. ARLT, B. HÜBNER und J. PÖTSCH, 1986: 5. Überwachung von Unkräutern und Ungräsern. In: RÖDER K. et al. *Methodische Anleitung zur Schaderreger- und Bestandesüberwachung auf EDV-Basis*. Agra – Empfehlungen für die Praxis. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR und Landwirtschaftsausstellung der DDR (Hrsg.), Leipzig, 197-218.
- SÖLTER U. und A. VERSCHWELE, 2014: Thermal, mechanical and chemical control of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) in different habitats. - 26th German Conference on weed Biology and Weed Control, March 11-13, 2014, Braunschweig, Germany. Julius-Kühn-Archiv 443, 507-510.
- ZWERGER P. und T. EGGERS, 2008: *Ambrosia artemisiifolia* in Mais: Entwicklung und Konkurrenz. *Braunschweiger Geobotanische Arbeiten* **9**, 531-538.

Effect of nicosulfuron on the populations of invasive weedy sunflower

Die Auswirkung von Nicosulfuron auf invasive Unkraut-Sonnenblumenbestände

Dragana Bozic^{1*}, Sava Vrbnicanin¹, Darko Stojicevic², Danijela Pavlovic³

¹University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, 11080 Zemun-Belgrade, Serbia

²School of engineering and applied science, Nemanjina 2, 12000 Pozarevac, Serbia

³Institute for Plant Protection and Environment, Teodora Drazjera 9, 11000 Belgrade, Serbia

*Corresponding author, dbozic@agrif.bg.ac.rs



DOI 10.5073/jka.2016.452.031

Abstract

Weedy sunflower *Helianthus annuus* L. (WS) can become troublesome for cultivated sunflower given their genetic similarity which allows gene flow from weed-to-crop and from crop-to-weed. Also, it causes yield losses in different spring-sown crops. Despite this, there is still no data about its response to herbicides.

Field experiments were conducted to quantify the effects of nicosulfuron on WS populations. Plants of three populations (R1-WS and R2-WS = presumably resistant and S-WS = susceptible) were treated with 40 g nicosulfuron ha⁻¹ at the 2–4 true-leaf growth stage. Vegetative parameters (plant height, fresh weight, leaf area) and relative chlorophyll content (RCC) were measured 30 days after herbicide application. Generative parameters (number of heads plant⁻¹, head diameter, number of seeds plant⁻¹) were measured at maturity. After harvesting, seed germination of collected seeds was studied in Petri dishes at 25°C.

Nicosulfuron was found to have a significant effect on vegetative and generative production of WS plants. The effect on RCC and postharvest seed germination was not so prominent. All these effects depended on the population, which is probably a result of different history of herbicide application and possible development of resistance in the populations R1-WS and R2-WS.

Key words: Generative parameter, *Helianthus annuus*, resistance, vegetative parameters, weedy sunflower

Zusammenfassung

In Anbetracht der genetischen Ähnlichkeit zwischen der Kulturpflanze und seinem zugehörigen Unkraut, die einen Genfluss in beiden Richtungen ermöglicht, ist es zu erwarten, dass auch die Unkraut-Sonnenblume, *Helianthus annuus* (WS) eine bedeutende Entwicklungsstörung bei der Ackersonnenblume hervorrufen und genauso Ertragsverluste bei anderen Sommerungen verursachen kann.

Angesichts der fehlenden Daten bezüglich der Herbizidreaktion des obengenannten Unkrauts wurden entsprechende Felduntersuchungen durchgeführt, mit dem Ziel die Auswirkungen von Nicosulfuron auf WS-Populationen quantitativ zu bestimmen. Drei unterschiedliche Pflanzenbestände (R1-WS und R2-WS = vermutlich resistent, und S-WS = anfällig) wurden mit 40 g Nicosulfuron/ha, jeweils auf das zweite Blattpaar behandelt. Vegetative Parameter (Pflanzengröße, Frischmasse, Blattfläche) und relativer Chlorophyllgehalt (RCC) wurden 30 Tage nach dem Herbizideinsatz gemessen. Generative Parameter (Anzahl der Pflanzenköpfe, Kopfdurchmesser, Anzahl der Pflanzensamen) wurden im reifen Zustand gemessen. Nach der Ernte, wurde noch die Keimung der gesammelten Samen in Petrischalen mit einer Temperatur von 25 °C genauer beobachtet.

Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass Nicosulfuron eine erhebliche Auswirkung auf vegetative so wie auch auf generative Produktion von WS-Pflanzen hat. Die Auswirkung auf RCC und Keimung durch Ernte gewonnener Samen zeigte sich jedoch nicht in dem gleichen Maße auffällig. Alle Effekte standen im Zusammenhang mit den Pflanzenpopulationen, was wahrscheinlich eine Folge vom andersartigen Verlauf der früheren Herbizidanwendungen, und vermutlicher Resistenzentwicklung in R1-WS und R2-WS Populationen ist.

Stichwörter: Generative Parameter, *Helianthus annuus*, Resistenzentwicklung, Vegetative Parameter, Unkraut-Sonnenblumenbestände

Introduction

Harvesting *Helianthus annuus* or other crops inevitably results in some unintentional loss of seeds. In subsequent years when these seeds germinate they are called „volunteer plants“. If volunteer seeds become incorporated into the soil seed bank and subsequently germinate and flower,

newly-germinated populations may continue to be exposed to gene flow even in the absence of nearby related crops (REAGON and SNOW, 2006). Hybridization between cultivated and their volunteer or wild/weedy sunflower (WS) is inevitable in regions of traditional sunflower crop production (HVARLEVA et al., 2009). Weedy forms of sunflower are morphologically clearly different from the volunteers originating (MULLER et al., 2009). The F-1 hybrids between the cultivated sunflower and WS are fertile and may hybridize more easily with wild relatives than cultivated sunflowers (SERIEYS and CHRISTOV, 2005). Weedy sunflower populations are characterized by a high morphological diversity, with plants combining, in different proportions, the traits of cultivated and wild sunflower (POVERENE et al., 2009; MULLER et al., 2009). Those plants have adapted to different environments in an undesired way, becoming harmful and invasive weeds (ARNOLD, 2004; MULLER et al., 2009). The main traits distinguishing WS are strong branching, without apical dominance, production of many seed heads, reduced size of the seed head and achene in comparison with the cultivated sunflower, seed dormancy and shattering (BURKE et al., 2002). In the past decade weedy sunflower was frequently reported as an invasive species in both arable and non-arable lands (MARSHALL et al., 2001; BENÉCSNÉ BÁRDI et al., 2005; POVERENE et al., 2009; POVERENE and CANTAMUTTO, 2010). It can become troublesome for the cultivated sunflower, due to their genetic similarity, which allows gene flow: weed-to-crop and crop-to-weed (URETA et al., 2008). In France, MULLER et al. (2009) reported that WS caused yield losses of the cultivated sunflower in more than 50% of the heavily infested patches. According to our experience in spring sown crops, yield losses can be more than 70% in the case of inadequate agricultural practices and poor weed management. Weedy sunflower is also a big problem for the entire area of the Balkan Peninsula, where sunflower is planted, e.g. in Hungary, where it is the 18th most harmful weed species (BENÉCSNÉ BÁRDI et al., 2005), Croatia, Romania, etc. In Spain, the WS were found mainly in crop fields, where the largest populations affected about 1500 m² and were composed of no more than 200 plants (POVERENE and CANTAMUTTO, 2010). In some parts of central Italy, WS is spreading from the marginal areas into cultivated fields, where sunflower has not been cultivated for more than 5 years (VISCHI et al., 2006).

In Serbian maize fields, *Sorghum halepense* L. (Pers.) and several broad-leaved species including WS are common dominant weeds. Although there are several ALS inhibiting herbicides which effectively control weeds in corn, farmers often choose nicosulfuron due to its high efficacy for *S. halepense* (BAGHESTANI et al., 2007; NOSRATTI et al., 2007), even at low rates of application (ROSALES-ROBLES et al., 2001). Nicosulfuron is a POST-applied sulfonylurea herbicide, whose mode of action is inhibition the ALS (acetolactate synthase) enzyme, which is essential for the production of amino acids leucine, isoleucine and valine. Intensive application of nicosulfuron has caused a development of resistant populations in several grass and broad-leaved weed species (*Setaria viridis* (L.) Beauv., *Setaria faberi* Herrm., *Conyza albida* Willd., *Amaranthus retroflexus* L.) (VOLENBERG et al., 2001; OSUNA and DE PRADO, 2003; SCARABEL et al., 2007; LAPLANTE et al., 2009). As nicosulfuron is a widely used herbicide for weed control in maize and WS is one of the most widespread weeds in this crop in some parts of Serbia, the aim of this study was to check effects of nicosulfuron on WS and conclude if this herbicide is an adequate for WS population control in maize fields.

Materials and Methods

Seeds of three weedy sunflower populations with different herbicide application history were collected: R1-WS and R2-WS, from the fields where ALS inhibitor herbicides were applied successively for six and three years, respectively, and S-WS seeds, which were collected from the field where any herbicides had never been applied. Field experiments were conducted in two consecutive years. The experimental area was managed according to the conventional agronomic practices, including deep autumn plowing and seedbed preparation before setting up an experiment. The soil was alluvial black marsh with 2.6% of organic matter and pH 7.8. Precipitation and growing degree days (GDD, $d \text{ } ^\circ\text{C} = \sum [(T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 2 - T_{\text{base}}]$; $T_{\text{base}} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$) are summarized in Table 1.

Tab. 1 Rainfall and GDD in 1st and 2nd year.**Tab. 1** Niederschlagsmenge und Wachstumsgradtage im 1. und 2. Jahr.

| Month | Rainfall (mm) | | GDD (°C) | |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 1 st | 2 nd | 1 st | 2 nd |
| April | 1.2 | 9.4 | 129.8 | 139.1 |
| May | 49.0 | 39.2 | 218.6 | 229.8 |
| June | 39.6 | 98.2 | 320.1 | 273.1 |
| July | 82.0 | 35.8 | 333.7 | 366.3 |
| August | 75.0 | 54.8 | 386.4 | 388.4 |
| Total | 246.8 | 237.4 | 1388.6 | 1396.7 |

The experimental model was a fully randomized block design with four replicates and size of each plot was 5 × 4.2m. Plants were treated with the recommended rate of nicosulfuron (40 g a.i.ha⁻¹, BASF) at the 2–4 true-leaf growth stage, using a knapsack sprayer Neptune 15, Kwazar®, equipped with a TeeJet 1004 nozzles. The sprayer was calibrated to deliver 300 L ha⁻¹ at 200 kPa pressure. Control plots (without herbicide treatment) and plots in which weeds survived the herbicide treatment were maintained weed-free from other weeds by hoeing.

The measurements of plant height, fresh weight, leaf area and relative chlorophyll content (RCC) were made 30 days after herbicide application (DAHA). Leaf area was measured using a Delta-T leaf area meter. RCC was calculated based on SPAD-readings measured using a Minolta SPAD 502 chlorophyll meter. A standard curve for RCC calculation was constructed based on SPAD readings and total chlorophyll content was determined in laboratory after the extraction with acetone. The measurements of the number of heads plant⁻¹, head diameter and number of seeds plant⁻¹ were done at maturity of plants. After harvesting, seed germination of collected seeds (10 seeds × 3 replications per treatment) was studied in Petri dishes. Distilled water (5 ml) was added and Petri dishes were placed in growth chamber at 25 °C. The percentage of germination, length and weight of seedlings were recorded after 7 days. Each experiment was conducted twice.

All data was processed by one-way ANOVA (F-values) using software STATISICA 5.0. Data for both years were analyzed as one set because effect of nicosulfuron on WS did not differ significantly between years.

Results

Despite the differences in the distribution of rainfall during the vegetation season (Tab. 1), the experimental year as a factor had no significant influence on the differences between most of the parameters examined. Therefore, all the results reported represent average values of the two year testing (not shown).

Generally, the three WS populations, with different herbicide application history (S-WS, R1-WS, R2-WS), differed in their vegetative parameters (plant height, fresh weight, leaf area) in response to the recommended rate of nicosulfuron applied (40 g a.i.ha⁻¹). The recommended rate of this herbicide was not enough to cause mortality of WS populations, but results presented in Table 2 indicate that nicosulfuron significantly ($P < 0.01$) reduced the plant height, fresh weight and leaf area in all three populations. Namely, 30 days after the application of nicosulfuron the lowest inhibition of plant height had been registered for R1-WS (31.48%), followed by R2-WS (35.76%) and the highest reduction in growth was registered for S-WS plants (49.97%). With regard to fresh weight, nicosulfuron caused the lowest inhibition in R1-WS plants (64.83%), followed by R2-WS (73.30%), while the strongest effects were found in S-WS plants (83.50%). The response of leaf area to nicosulfuron showed the same trend like plant height and fresh weight. Furthermore, the lowest inhibition was detected for R1-WS plants (67.06%), followed by R2-WS (75.02%) and S-WS (83.68%).

Tab. 2 Plant height, fresh weight and leaf area (mean \pm SD) of WS populations 30 DAHA.**Tab. 2** Pflanzenhöhe, Frischmasse und Blattfläche der WS-Pflanzenbeständen 30 Tage nach Applikation.

| Population | Rate of nicosulfuron (g a.i. ha ⁻¹) | Plant height (cm) | Fresh weight (g) | Leaf area (cm ²) |
|------------|---|-------------------|--------------------|------------------------------|
| S-WS | 0 | 79.71 \pm 3.97 | 679.21 \pm 37.12 | 6505.74 \pm 178.20 |
| | 40 | 39.88 \pm 2.63 | 112.04 \pm 15.63 | 1061.51 \pm 97.97 |
| R1-WS | 0 | 92.92 \pm 8.76 | 830.79 \pm 80.89 | 7195.21 \pm 108.29 |
| | 40 | 63.67 \pm 2.63 | 92.21 \pm 101.86 | 2369.51 \pm 201.83 |
| R2-WS | 0 | 78.88 \pm 9.28 | 719.83 \pm 56.58 | 6528.47 \pm 208.82 |
| | 40 | 50.67 \pm 7.11 | 192.17 \pm 38.14 | 1631.21 \pm 92.37 |

In general, the RCC (Tab. 3) did not change significantly ($P > 0.05$) in plants treated with nicosulfuron, in comparison with the untreated plants, but in all populations these values were slightly higher, when compared to the RCC values of the untreated plants.

Tab. 3 Relative chlorophyll content (RCC) of weedy sunflower populations.**Tab. 3** Relativer Chlorophyllgehalt (RCC) von Ausfallsonnenblumen.

| Population | Rate of nicosulfuron (g a.i. ha ⁻¹) | RCC (mg g ⁻¹) |
|------------|---|---------------------------|
| S-WS | 0 | 1.20 \pm 0.22 |
| | 40 | 1.29 \pm 0.18 |
| R1-WS | 0 | 1.29 \pm 0.22 |
| | 40 | 1.47 \pm 0.17 |
| R2-WS | 0 | 1.31 \pm 0.20 |
| | 40 | 1.40 \pm 0.24 |

Generative production of WS populations (Tab. 4) was different in treated and untreated plants. Actually, values of generative parameters in untreated plants were higher than the same parameters in treated plants. Untreated plants of R1-WS, R2-WS and S-WS population produced significantly ($P < 0.01$) more seeds (2865 seeds plant⁻¹, 2499 seeds plant⁻¹ and 2510 seeds plant⁻¹) when compared with the treated plants (1182 seeds plant⁻¹, 1473 seeds plant⁻¹ and 718), respectively. With regard to the number of heads plant⁻¹, the production of untreated plants (R1-WS: 53, R2-WS: 55 and S-WS: 53) was significantly ($P < 0.01$) higher than the production of treated plants (R1-WS: 24, R2-WS: 30 and S-WS: 14). Populations with the lower number of heads plant⁻¹ contained heads with a larger diameter (R1-WS = 5.6 cm, WSR2 = 4.8 cm, S-WS = 5.5 cm), in plants without herbicide application, while with plants with herbicide application that relationship was not observed (R1-WS = 5.5cm, R2-WS = 5.3 cm, S-WS = 5.2cm).

Tab. 4 The number of heads plant⁻¹, head diameter and number of seeds plant⁻¹ (mean \pm SD) at maturity.**Tab. 4** Anzahl der Pflanzenköpfe, Kopfdurchmesser, Anzahl der Pflanzensamen im reifen Zustand.

| Population | Rate of nicosulfuron (g a.i. ha ⁻¹) | Number of heads plant ⁻¹ | Head diameter (cm) | Number of seeds plant ⁻¹ |
|------------|---|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| S-WS | 0 | 53 \pm 2.12 | 5.5 \pm 0.12 | 2510 \pm 24.71 |
| | 40 | 14 \pm 0.58 | 5.2 \pm 0.23 | 718 \pm 52.19 |
| R1-WS | 0 | 53 \pm 4.11 | 5.6 \pm 0.31 | 2865 \pm 34.18 |
| | 40 | 24 \pm 2.22 | 5.5 \pm 0.24 | 1182 \pm 9.26 |
| R2-WS | 0 | 55 \pm 3.12 | 4.8 \pm 0.18 | 2499 \pm 99.28 |
| | 40 | 30 \pm 1.56 | 5.3 \pm 0.25 | 1473 \pm 11.42 |

Generally, WS seeds germinate very poorly (4 to 9%). The germination of the seeds (% germination) which originated from the plants that developed without the application of

nicosulfuron, or from the plants which survived the herbicide application in the previous year, were the best for WSR2 plants (Tab. 5). Differences in seed germination were insignificant ($P > 0.05$), and therefore the application of nicosulfuron during the previous year had no influence on seed germination of WS populations. Seedling length differed between treated and untreated plants in all three populations, but in populations S-WS and R1-WS it was longer in that case when herbicide was applied in the previous year, while in the population R2-WS, it was shorter. Contrary to that, nicosulfuron did not affect the seedling weight.

Tab. 5 Seed germination (%), seedling length (cm) and seedling weight (g) (mean \pm SD) of WS populations.

Tab. 5 Samenkeimung (%), Sprosslänge (cm) und Sämlingsgewicht der WS-Pflanzenbestände.

| Population | Rate of nicosulfuron (g a.i. ha ⁻¹) | Seed germination (%) | Seedling length (cm) | Seedling weight (g) |
|------------|---|----------------------|----------------------|---------------------|
| S-WS | 0 | 5.75 \pm 0.85 | 1.42 \pm 0.52 | 0.22 \pm 0.03 |
| | 40 | 5.65 \pm 1.46 | 3.13 \pm 0.70 | 0.23 \pm 0.06 |
| R1-WS | 0 | 6.50 \pm 1.75 | 2.50 \pm 1.73 | 0.23 \pm 0.02 |
| | 40 | 3.75 \pm 1.94 | 3.12 \pm 2.48 | 0.21 \pm 0.02 |
| R2-WS | 0 | 8.75 \pm 2.30 | 7.45 \pm 1.66 | 0.27 \pm 0.11 |
| | 40 | 8.75 \pm 1.88 | 6.81 \pm 1.20 | 0.29 \pm 0.06 |

Discussion

Weedy sunflower populations are present in many European countries including France, Spain, Hungary, Croatia, Romania, Serbia, etc. (MULLER et al., 2009; POVERENE and CANTAMUTTO, 2010; BENÉCSNÉ BÁRDI et al. 2005; SAULIC et al., 2013), where they cause yield losses in cultivated plants. Despite this, there is no data about the response of weedy sunflower to herbicides. Although nicosulfuron is a herbicide commonly used for weed control in corn, where weedy sunflower is one of the dominant weeds, according to our knowledge, the response of this species to nicosulfuron has not been previously studied. BRIGHENTI et al. (2011) found that nicosulfuron did not have a phytotoxic effect on the sunflower crop plants, while STREIT (2012) found that nicosulfuron applied at rate 30 g a.i. ha⁻¹ has a low phytotoxicity to sunflower crop varieties/hybrids. But, it may not be possible to extrapolate the results of these studies to weedy sunflower populations due to high morphological and genetically variability of different sunflower forms.

Herbicidal effects of nicosulfuron on WS populations were examined using the manufacturer's recommended rate (40 g a.i. ha⁻¹). The used rate was not enough to cause mortality of WS population. But, populations with history of herbicide application (R1-WS, R2-WS) were less susceptible to nicosulfuron than population S-WS which have never been treated by any herbicide, based on all of their vegetative parameters. Reductions due to the application of nicosulfuron in the plant height, fresh weight and leaf area were 31-50%, 65-84% and 68-84%, respectively, depending on the population. Plant height was the parameter least sensitive to nicosulfuron, while the sensitivity of fresh weight and leaf area was similar. These results are in accordance with the previous findings of BOZIC et al. (2013), who studied the effects of nicosulfuron on *Xanthium strumarium*, and discovered that the plant height is the least sensitive to nicosulfuron, in comparison with the fresh weight and leaf area index (LAI).

Although most post-emergence herbicides (including nicosulfuron) are applied at the seedling stage and, thus, do not directly affect the plant's reproduction, some of them also affect the seed production. In our study, nicosulfuron reduced the number of heads (45-74%) and seeds (41-71%) plant⁻¹, while there was no effect on the head diameter. Similarly to our findings, ZHANG et al. (1994) showed that bentazone significantly reduced the weight of burs of *X. strumarium*. Also, BOZIC et al. (2013) confirmed the reduction of burs production (weight plant⁻¹ or number plant⁻¹) in *X. strumarium* treated with nicosulfuron, but its reduction was not as strong as the reduction of vegetative parameters.

Contrary to other parameters (vegetative and generative), the RCC values in treated plants were higher, when compared to the untreated, for all of the three weedy sunflower populations studied. On the one hand, this shows that weedy sunflower populations battled herbicide stress by increasing chlorophyll production (RIETHMULLER-HAAGE et al., 2006), and on the other to be the result of the fact that the synthesis of plant pigments is not the primary target of nicosulfuron, (MEKKI and LEROUX, 1994).

It is well known that the conditions in which plants are grown affect the germination of produced seeds. In our study, the application of nicosulfuron on WS populations had no significant effect on the germination of seeds produced by the survived plants and the seedlings' weight, while the seedling length differed between treated and untreated plants. But, it cannot be attributed to the nicosulfuron, due to the fact that the seeds from treated plants of S-WS and R1-WS germinate better than the seeds from untreated plants, while in the R2-WS population that was contrary.

In conclusion, nicosulfuron was found to have a significant impact on vegetative and generative production of WS plants, while its effect on RCC and postharvest seed germination was not so prominent. Due to that, nicosulfuron application leads to a lowered competitive ability of WS plants in the field and therefore to a lower seed bank accumulation in the soil. Also, we conclude that the effect of nicosulfuron on populations with different history of herbicide (acetolactate synthase (ALS)-inhibitors) application were different. Additional future studies should be done to check does the history of herbicide application have an impact on WS response to nicosulfuron.

Acknowledgments

This research was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of Republic of Serbia (Project III 46008) and EU FP7 REGPOT-AREA Project No 3160.

References

- ARNOLD, M.L., 2004: Transfer and Origin of Adaptations through Natural Hybridization: Were Anderson and Stebbins Right? The Plant Cell **16**, 562-570.
- BAGHESTANI M.A., E. ZAND, S. SOUFIZADEH, A. ESKANDARI, R. POURAZAR, M. VEYSI and N. NASSIRZADEH, 2007: Efficacy evaluation of some dual purpose herbicides to control weeds in maize (*Zea mays* L.). Crop Protection **26**, 936-942.
- BENÉCSNÉ BÁRDI, G., F. HARTMANN, B. RADVÁNY and L. SZENTÉY, (eds.) 2005: Veszélyes 48. Veszélyes és nehezen irtható gyomnövények és az ellenük való védekezés [Serious 48, serious and controlled with difficulty weeds and their control]. Mezőföldi Agrofórum Kft. **293**, 8. [in Hungarian]
- BOZIC, D., M. SARIC-KRSMANOVIC, D. PAVLOVIC and S. VRBNICANIN, 2013: Effect of nicosulfuron on plant traits of *Xanthium strumarium*. Journal of Plant Diseases and Protection **120**, 233-237.
- BRIGHTENTI, A.M., F. SOUZA SOBRINHO, W.S.D. ROCHA, C. CASTRO, C.E. MARTINS and M.D. MULLER, 2011: Reduced rates of herbicides applied to imidazolinone-resistant sunflower crossbred with *Brachiaria ruziziensis*. Helia **34**, 49-58.
- BURKE, J.M., K.A. GARDNER and L.H. RIESEBERG, 2002: The potential for gene flow between cultivated and wild sunflower (*Helianthus annuus*) in the United States. Am. J. Bot. **89**, 1550-1552.
- HVARLEVA, T., M. HRISTOVA, A. BAKALOVA, M. HRISTOV, I. ATANASSOV and A. ATANASSOV, 2009: CMS lines for evaluation of pollen flow in sunflower relevance for transgene flow mitigation. Biotechnol. Biotechnol. Equip. **23**, 1309-1315.
- LAPLANTE J., I. RAJCAN and F.J. Tardif, 2009: Multiple allelic forms of acetohydroxyacid synthase are responsible for herbicide resistance in *Setaria viridis*. Theor. Appl. Genet. **119**, 577-585.
- MARSHALL, M.W., K. AL-KHATIB and T. LOUGHIN, 2001: Gene flow, growth, and competitiveness of imazethapyr-resistant common sunflower. Weed Science **49**, 14-21.
- MEKKI, M. and G.D. LEROUX, 1994: Inhibition of Plant Acetolactate Synthase by Nicosulfuron, Rimsulfuron, and their Mixture DPX-79406. Weed Science **42**, 327-332.
- MULLER, M.H., F. DELIEUX, J.M. FERNANDEZ MARTINEZ, B. GARRIC, V. LECOMTE, G. ANGLADE, M. LEFLON, C. MOTARD and R. SEGURA, 2009: Occurrence, distribution and distinctive morphological traits of weedy *Helianthus annuus* L. populations in Spain and France. Genet. Resour. Crop Ev. **56**, 869-877.
- NOSRATTI I, A. HASSAN MUHAMMAD and R. SAEED, 2007: Control of johnsongrass (*Sorghum halepense*) with nicosulfuron in maize at different planting patterns. J. Agron. **6**, 444-448.
- OSUNA M. D. and R. DE PRADO, 2003: *Conyza albid*a: a new biotype with ALS inhibitor resistance. Weed Res. **43**, 221-226.
- POVERENE, M., M. Cantamutto and G.J. Seiler, 2009: Ecological characterization of wild *Helianthus annuus* and *Helianthus petiolaris* germplasm in Argentina. Plant Genet. Resour. – C. **7**, 42-49.
- POVERENE, M. and M. CANTAMUTTO, 2010: A comparative study of invasive *Helianthus annuus* populations in their natural habitats of Argentina and Spain. Helia **33**, 63-74.

- REAGON, M. and A.A. SNOW, 2006: Cultivated *Helianthus annuus* (Asteraceae) volunteers as a genetic "Bridge" to weedy sunflower populations in North America. *Am. J. Bot.* **93**, 127-133.
- RIETHMULLER-HAAGE, I., L. BASTIAANS, J. HARBINSON, C. KEMPENAAR and M.J. KROPPF, 2006: Influence of the acetolactate synthase inhibitor metsulfuron-methyl on the operation, regulation and organization of photosynthesis in *Solanum nigrum*. *Photosynth. Res.* **88**, 331-341.
- ROSALES-ROBLES E., J.M. CHANDLER and S.A. Senseman, 2001: Growth stage affects johnsongrass response to nicosulfuron and clethodim. *Agrociencia* **35**, 525-533.
- SAULIC, M., D. STOJICEVIC, A. MATKOVIC, D. BOZIC, and S. VRBNICANIN, 2013: Population variability of weedy sunflower as invasive species. Proceedings of the 4th ESENIAS Workshop: International Workshop on IAS in Agricultural and Non-Agricultural Areas in ESENIAS Region, Çanakkale, Turkey, 16-17 December, 79-85.
- SCARABEL L., S. VAROTTO and M. SATTIN, 2007: European biotype of *Amaranthus retroflexus* cross-resistant to ALS inhibitors and response to alternative herbicides. *Weed Research* **47**, 527-533.
- SERIEYS, H. and M. CHRISTOV, 2005: European Cooperative Research Network on Sunflower, FAO Working Group: "Identification, Study and Utilization in Breeding Programs of New CMS Sources", Progress Report 1999-2004., X Consultation Meeting, Novi Sad, Serbia and Montenegro, July 17-20, 80.
- STREIT, L.G., 2012: DuPont™ ExpressSun™ Herbicide Technology in Sunflower. Proceedings of the 18th international sunflower conference, Mardel plata and Balcarce, Argentina, Feb 27- Mar 1, 143-149.
- URETA, S., M. CANTAMUTTO, A. CARRERA, C. DELUCCHI and M. POVERENE, 2008: Natural hybrids between cultivated and wild sunflowers in Argentina. *Genet. Resour. Crop Ev.* **55**, 1267-1277.
- VISCHI, M., M.E., CAGIOTTI, C.A., CENCI, G.J. Seiler and A.M. Olivieri, 2006: Dispersal of wild sunflower by seed and persistent basal stalks in some areas of central Italy. *Helia* **45**, 89- 94.
- VOLENBERG D.S., D.E. STOLTENBERG and Ch. M. BOERBOOM, 2001: Biochemical mechanism and inheritance of cross- resistance to acetolactate synthase inhibitors in giant foxtail. *Weed Science* **49**, 635- 641.
- ZHANG J., P.B. CAVERS and M. JASINIUK, 1994: Response of *Xanthium strumarium* populations to sublethal applications of bentazone. *Weed Research* **34**, 55-61.

Situationsgerechte Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln

Weed control by direct injection of plant protection products according to specific situations

Mathias Krebs¹, Dirk Rautmann¹, Henning Nordmeyer^{2*}

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messweg 11/12, 38104 Braunschweig,

²Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messweg 11/12, 38104 Braunschweig

*Korrespondierender Autor, henning.nordmeyer@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.032

Zusammenfassung

Precision Farming ermöglicht im Ackerbau eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung des Pflanzenbestandes. Ziel des Pflanzenschutzes ist es, dabei Pflanzenschutzmittel situationsgerecht zu applizieren. Im Rahmen eines Projektes der Innovationsförderung wurde ein Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung ohne Verzögerungszeiten entwickelt und unter Labor- und Praxisbedingungen getestet. Das Feldspritzgerät verfügt über drei separate Düsenleitungen mit je einem Direkteinspeisungssystem. Um Verzögerungszeiten zu vermeiden werden die Düsenleitungen vorgeladen. Erste Ergebnisse aus Prüfstandsmessungen und Feldversuchen zur Unkrautbekämpfung zeigen eine hohe Genauigkeit im Arbeitsbereich der ausgewählten Dosierpumpen. Die Feldversuche zeigten, dass mit dem neu entwickelten Feldspritzgerät zur Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln verzögerungsfrei mit bis zu drei verschiedenen Herbiziden jeweils teilflächenspezifisch gearbeitet werden kann. Feldversuche zur teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung im Winterweizen belegen die Anwendbarkeit des Systems unter Praxisbedingungen und ermöglichen eine zielgenaue Applikation verschiedener Herbizide. Durch die Teilflächenbehandlung konnten Herbizide und damit auch Kosten eingespart werden. Eine Ertragsminderung gegenüber den konventionell ganzflächig behandelten Versuchsflächen konnte nicht festgestellt werden. Eine Wirkungsminderung durch Wirkstoffabwaschung von Zielflächen, wenn gleichzeitig alle drei Düsenleitungen mit insgesamt bis zu 1050 l/ha Wasseraufwandmenge genutzt werden, konnte nicht nachgewiesen werden. Bei hohen Wasseraufwandmengen trat die Wirkung lediglich verzögert ein. Insgesamt hat sich in ersten Versuchen das neu entwickelte Direkteinspeisungssystem als felddauglich erwiesen. Damit kann die Unkrautbekämpfung situationsgerechter erfolgen, wodurch Herbizide eingespart und Umweltbelastungen reduziert werden können.

Stichwörter: Direkteinspeisung, Herbizideinsparung, Precision Farming, situationsgerechte Unkrautbekämpfung, teilflächenspezifische Anwendung

Abstract

Precision Farming in agriculture allows a site-specific management of the crop. The aim of plant protection is to apply plant protection products (PPP) according to the site specific requirements on the field. Within the context of a research program to promote innovation, a sprayer with direct injection of plant protection products was developed. The direct injection offers site specific spraying of different individual PPP in a single pass. The sprayer prototype is equipped with a special spray boom combining three nozzle lines. In order to prevent delay times, the nozzle lines are preloaded before spraying. First results for weed control from test stand measurements and field trials showed that the injection pumps work with high accuracy. The prototype can be used without delay times site specific with up to three different herbicides. Field trials for site-specific weed control in winter wheat demonstrate the applicability of the system under practical conditions. By treatment of subareas herbicides and therefore costs could be saved. A reduction in yield compared with the conventionally treated field areas could not be ascertained. Also an efficacy reduction through washout of active ingredient from target surfaces due to simultaneous use of all three nozzle lines with up to 1050 l/ha application rate could not be detected. At high water spray rates, the efficacy effect occurs delayed. Overall, the newly developed direct injection system proved fieldability during the first tests. So weed control can be carried out situation-responsive, which can save herbicides and environmental impacts are reduced.

Keywords: Direct injection, herbicide saving, Precision Farming, site-specific application, situation-based weed control

Einleitung

Durch die Methoden des Precision Farming im Ackerbau wird eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung des Pflanzenbestandes möglich. Im Bereich des Pflanzenschutzes sind z.B. die GPS-basierte automatische Teilbreitenschaltung für eine Reduzierung von Doppelbehandlungen sowie die computergesteuerte Anpassung der Aufwandmengen als praxisreife Technologien zu nennen. Durch Teilflächenapplikation von Pflanzenschutzmitteln (PSM) kann bei heterogenen Schaderregervorkommen, wenn in der Teilfläche die Schadensschwelle unterschritten wird und damit keine Applikation indiziert ist, der Verbrauch an PSM reduziert werden, ohne dass Ertragsdepressionen zu erwarten sind. Die Wirtschaftlichkeit des Pflanzenbaus wird durch die Einsparung von PSM gesteigert und die Belastung der Umwelt reduziert (WARTENBERG, 2000). Um Feldüberfahrten einzusparen werden bisher üblicherweise Tankmischungen mit mehreren PSM eingesetzt, was eine teilflächenspezifische Anwendung einzelner Pflanzenschutzmittel unmöglich macht. Eine Lösung dieses Problems bieten Feldspritzgeräte mit Direkteinspeisung der PSM. Die Idee der Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln anstelle der Verwendung praxisüblicher Tankmischungen ist schon über 30 Jahre alt. Ein erstes Gerät wurde bereits 1989 von der Firma Ciba-Geigy in Zusammenarbeit mit dem Dosierpumpenhersteller MSR vorgestellt (ANONYMUS, 1989). Die Vorteile der Direkteinspeisung sind zum einen, dass keine Restmengen an Spritzflüssigkeit entstehen, da sich nur klares Wasser im Tank befindet und ein Mischen von PSM und Wasser erst zur Applikation kurz vor der Düse stattfindet. Ein weiterer entscheidender Vorteil ist, dass durch die Direkteinspeisung eine teilflächenspezifische Anwendung einzelner Pflanzenschutzmittel mit nur einer Überfahrt möglich wird. Dies kann zwar auch mit Mehrkammerspritzgeräten (jedes Mittel wird in einer eigenen Kammer angemischt) erreicht werden (GERHARDS und OEBEL, 2006), allerdings bleibt hier das Restmengenproblem ungelöst und die erzielbare Flächenleistung verringert sich. Bisher entwickelte Direkteinspeisesysteme konnten sich in der Praxis nicht durchsetzen, weil lange Verzögerungszeiten bei der Dosierung auftraten. Wurde ein Pflanzenschutzmittel per Direkteinspeisung zentral in den Wasserstrom hinzu dosiert, dauerte es zu lange, bis sich am Düsenausgang die gewünschte Sollkonzentration einstellte. VONDRICKA und SCHULZE-LAMMERS (2009) sprechen bei der zentralen Einspeisung in die Düsenleitung von einer Verzögerung von mehr als 20 Sekunden, was bei einer Fahrgeschwindigkeit von 8 km/h einer Wegstrecke von 44 m entspricht. Weitere Probleme betrafen die Dosiergenauigkeit in Abhängigkeit von den rheologischen Eigenschaften (Elastizität, Viskosität, Plastizität) des Pflanzenschutzmittels und der Umgebungstemperatur, sowie die Reinigung des Systems und den Umgang mit dem dabei anfallenden Spülwasser. Um der Lösung dieser Probleme näher zukommen wurde ein Verbundprojekt zwischen der Firma Herbert Dammann GmbH, dem Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz und dem Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland des Julius Kühn-Instituts in Braunschweig initiiert. Im Rahmen des Projektes wurde ein Prototyp mit drei eigenständigen Spritzsystemen entwickelt und gebaut. Es wurden Prüfstandsmessungen zur Dosiergenauigkeit und Feldversuche zur Prüfung der Funktionalität des Prototyps durchgeführt.

Material und Methoden

Es wurde ein Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung entwickelt und gebaut. Mit diesem Prototyp wurden zunächst Prüfstandsmessungen zur Dosiergenauigkeit unter Verwendung eines fluoreszierenden Farbstoffes durchgeführt. In einem Feldversuch auf einer Selbstbegrünung wurde im Herbst 2014 die Funktionalität des Prototyps unter Feldbedingungen getestet. Im Frühjahr 2015 erfolgte ein Feldversuch zur teilflächenspezifischen Herbizidapplikation in Winterweizen (*Triticum aestivum* L.). In einem weiteren Versuch wurde untersucht, ob es zu Wirkungsminderungen kommt wenn alle drei Düsenleitungen gleichzeitig applizieren.

Beschreibung des entwickelten Feldspritzgerätes mit Direkteinspeisung

Das im Rahmen der Innovationsförderung entwickelte Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung, besteht aus drei separaten Düsenleitungen mit jeweils zugeordneter Wasserpumpe, Armatur und elektrisch angetriebener Direkteinspeiseeinheit. Im Nachfolgenden wird von System I, System II und System III gesprochen. Damit können bis zu drei verschiedene Pflanzenschutzmittel unabhängig voneinander appliziert werden. Da die Direkteinspeisepumpen, welche von der Firma Raven bezogen wurden, mit ihrem Arbeitsbereich nicht alle PSM-Aufwandmengen bei verschiedenen Arbeitsgeschwindigkeiten auch in Teilbreiten abdecken wurden zwei verschiedene Pumpengrößen im Feldspritzgerät eingebaut. System I und System II verfügen jeweils über eine große Direkteinspeisepumpe mit einem Arbeitsbereich von 0,15 – 5,9 l/min und System III verfügt über eine kleine Direkteinspeisepumpe mit einem Arbeitsbereich 0,03 – 1,18 l/min. Des Weiteren ist der Tank des Prototyps in fünf Kammern unterteilt. Je eine Kammer für die Trägerflüssigkeit, für System I mit 4500 l, für System II mit 1500 l und für System III mit 500 l Volumen. Eine weitere Kammer fungiert mit 500 l als Spülwassertank (Frischwasser) sowie die Fünfte mit einem Volumen von 200 l als Spülwasserauffangtank. Der Prototyp ist somit vergleichbar mit drei Pflanzenschutzgeräten auf einem Fahrgestell. Der Grund für die Unterteilung des Tanks in eigene Kammern für jedes System liegt darin das optional auch die Möglichkeit besteht in der Kammer von System I Tankmischungen zu nutzen wenn Wirkstoffe nicht in flüssiger Formulierung zur Verfügung stehen. Die Minimierung der Verzögerungszeiten der Direkteinspeisung wurde durch eine Vorladung der Düsenleitungen erreicht. Dazu sind die Düsenleitungen konstruktiv als Ringspülleitungen ausgelegt welche außer zum Vorladen immer geschlossen sind. Die Wasserpumpe fördert permanent Wasser, welches über die Gleichdruckarmatur zurück in den Tank fließt. Der Durchflussmesser ist erst dahinter verbaut, so dass dabei kein Durchfluss gemessen wird. Vor Beginn der Applikation wird die Ringspülleitung für eine definierte Zeit geöffnet, bis die gewünschte Sollkonzentration erreicht wird und das System somit vorgeladen ist. Durch das Öffnen der Ringspülleitung fließt am Durchflussmesser Wasser und ein Signal geht an das Direkteinspeisesystem welches das Pflanzenschutzmittel in Abhängigkeit von der Durchflussmenge des Wassers und dem eingestellten Dosierwert zu dosiert. Vor Beginn der Applikation werden die Ringspülleitungen zunächst für eine definierte Zeit geöffnet, um diese mit den jeweils eingesetzten Pflanzenschutzmitteln und dem Frischwasser bis zur letzten Düse mit der gewünschten Sollkonzentration vorzuladen. Werden die Düsen bei der Applikation eingeschaltet, steht die Sollkonzentration verzögerungsfrei zur Verfügung. Die bei der Vorladung bis zur Sollkonzentration entstehende Spülflüssigkeit wird in den Spülwasserauffangtank geleitet und am Ende der Applikation im Rahmen der Reinigung auf der Fläche ausgebracht.

Prüfstandsmessungen

Die Versuchsfrage lautete:

Dosieren sowohl die große, als auch die kleine Direkteinspeisepumpe bei unterschiedlichen Dosiermengen innerhalb des vom Hersteller angegebenen Arbeitsbereichs mit einer Genauigkeit von mindestens +/- 7 % um den Sollwert?

Zur Überprüfung der Dosiergenauigkeit erfolgten die Prüfstandsmessungen mit einer Lösung mit dem fluoreszierenden Farbstoff Brillant Sulfo Flavin (BSF), welche durch die Direkteinspeisepumpe in den Wasserstrom vor der Mischkammer dosiert wurde. Mit einem Fluorometer wurde die Konzentration des Gemischs aus Wasser und BSF-Lösung am Düsenausgang gemessen. An das Fluorometer war ein Datenlogger angeschlossen, der die Messwerte aufgezeichnet hat. Vor jeder Änderung der Dosierstufe wurde das Messgerät mit einer Kalibrierlösung, die der eingestellten Sollkonzentration entsprach, kalibriert. Dadurch entsprach ein Anzeigewert von „100 %“ der jeweils gewollten Sollkonzentration.

Feldversuch Applikationsgenauigkeit

Im Herbst 2014 wurde ein erster Freilandversuch zur Applikationsgenauigkeit auf der Stoppel einer Ackerfläche nach Winterweizen mit Ausfallgetreide bzw. Selbstbegrünung durchgeführt. Die Versuchsfrage lautete:

Funktioniert das Vorladen der Düsenleitungen und arbeitet der Prototyp ohne Verzögerung über die gesamte Arbeitsbreite und bei Teilbreiten?

Auf dem Schlag mit einer Größe von ca. 6,2 ha wurden Parzellen ausgemessen und abgesteckt. In Fahrtrichtung waren die Parzellen 10 m, 20 m und 30 m lang, weiterhin wurde die Parzellenbreite zwischen 27 m (volle Arbeitsbreite) und 11 m (Teilbreite) variiert. Die Parzellen wurden mit GPS-Technik vermessen und daraus Applikationskarten erstellt. Um eine parzellenscharfe Applikation durchzuführen, wurden für den Test zwei nicht-selektive Herbizide ausgewählt. Die Behandlung der Parzellen erfolgte in einer Überfahrt mit zwei Direkteinspeisungssystemen entsprechend der erstellten Applikationskarten nach einem GPS-Signal ohne RTK-Genauigkeit. Über System I wurde das Herbizid Taifun forte (Wirkstoff Glyphosat) mit 5 l/ha und über System II das Herbizid Basta (Wirkstoff Glufosinat) mit 3,75 l/ha entsprechend der Applikationskarten appliziert.

Feldversuch teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung im Winterweizen

Im Frühjahr 2015 wurden auf zwei Praxisflächen mit Winterweizen teilflächenspezifische Herbizidapplikationen durchgeführt. Auf Schlag I wurde auf einer Fläche von ca. 2,2 ha und auf Schlag II einer Fläche von ca. 4,4 ha das Unkrautvorkommen erfasst. Die Unkrautbonitur erfolgte an Punkten von 1 m x 1 m in einem Raster von 13,5 m x 13,5 m auf der gesamten Versuchsfläche. Auf der Grundlage der Boniturergebnisse wurden Unkrautverteilungs- und Herbizidapplikationskarten erstellt. Zwischen den Bonitурpunkten wurde interpoliert. Um Vergleiche zwischen betriebsüblicher Behandlung und teilflächenspezifischer Behandlung ziehen zu können, wurde immer nach einer Arbeitsbreite (27 m), zwischen betriebsüblich ganzflächiger Anwendung und der unter Berücksichtigung von Schadensschwellen teilflächenspezifischen Anwendung gewechselt. Die Versuchsfragen lauteten:

Kommt es zu Ertragsunterschieden zwischen teilflächenspezifischer Unkrautbekämpfung gegenüber der konventionellen ganzflächigen Unkrautbekämpfung?

Kommt es zu Einsparungen durch die teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung gegenüber der konventionellen Behandlung der gesamten Fläche?

Auf den Versuchsflächen wurden die Leitunkräuter bonitiert. Dies waren bei den monokotylen Unkrautarten vor allem Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) und Gemeiner Windhalm (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.), die teilflächenspezifisch mit 1,2 l/ha Traxos (Wirkstoffe: Clodinafop und Pinoxaden) behandelt wurden. Bei den dikotylen Unkräutern wurden nach der Bonitur zwei Behandlungsgruppen gebildet. Mit 1,5 l/ha Tristar (Wirkstoffe: Bromoxynil, Fluroxypyr und Ioxynil) wurden Kletten-Labkraut (*Galium aparine* L.), Klatsch-Mohn (*Papaver rhoeas* L.) sowie vereinzelt die Echte Kamille (*Matricaria recutita* L.) teilflächenspezifisch behandelt. In der zweiten Behandlungsgruppe wurden Efeublättriger Ehrenpreis (*Veronica hederifolia* L.), Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis* Murray) und vereinzelt Ausfallraps (*Brassica napus* L.) mit 2 l/ha Pixie (Wirkstoffe: Diflufenkan und Mecoprop-P) behandelt. In der betriebsüblichen Variante wurde eine Tankmischung aus 300 g/ha Atlantis WG (Wirkstoffe: Iodosulfuron und Mesosulfuron) + 600 ml/ha Formulierungshilfsstoff und 70 g/ha Biathlon (Wirkstoffe: Tritosulfuron und Florasulam) ganzflächig appliziert. Nach der Abreife des Winterweizens wurden die Versuchsflächen mit einem Mähdrescher mit Ertragskartierung beerntet.

Feldversuch zur Wirkungsminderung durch Wirkstoffabwaschung von Zielflächen

Die Versuchsfrage lautete:

Beeinflusst die gleichzeitige Applikation aus zwei oder drei parallelen Düsenleitungen mit der damit verbundenen höheren Wasseraufwandmenge die Wirksamkeit der Behandlung?

Im Spätsommer 2015 wurde nach der Ernte der Vorfrucht auf einer Fläche von ca. 2 ha Gelbsef (*Sinapis alba* L.) eingesät. Mit georeferenzierten Applikationskarten wurde zum BBCH-Stadium 16 des Gelbsefs, in Parzellen von 27 m (volle Arbeitsbreite) x 10 m, die Behandlung mit Taifun Forte (Wirkstoff: Glyphosat) durchgeführt. Es wurde auf drei Spritzbahnen je neun Parzellen mit einer Pflanzenschutzmittelaufwandmenge von 5 l/ha Taifun Forte und verschiedenen Wasseraufwandmengen (200 l/ha; 300 l/ha; 350 l/ha) appliziert (Tab. 1). Auf einem Drittel der Parzellen wurde lediglich über die Düsenleitung von System I Taifun Forte per Direkteinspeisung appliziert. Beim zweiten Drittel der Parzellen wurde zusätzlich zu System I mit System II und auf den übrigen Parzellen zusätzlich mit System III die gleiche Wasseraufwandmenge appliziert. Je Wasseraufwandmenge und Applikationsvariante (System I allein; System I + System II; alle drei Systeme gleichzeitig) wurden drei Wiederholungen durchgeführt. Die Anordnung der Parzellen innerhalb der Spritzbahnen erfolgte zufällig.

Tab. 1 Beschreibung der Herbizid-Applikationen.

Tab. 1 Description of herbicide treatments.

| | System I (alle Parzellen) | + System II | + System III |
|-----------------|---|-----------------------|-----------------------|
| Bahn I | 9 x 200 l/ha Wasser + 5 l/ha Taifun forte | + 6 x 200 l/ha Wasser | + 3 x 200 l/ha Wasser |
| Bahn II | 9 x 300 l/ha Wasser + 5 l/ha Taifun forte | + 6 x 300 l/ha Wasser | + 3 x 300 l/ha Wasser |
| Bahn III | 9 x 350 l/ha Wasser + 5 l/ha Taifun forte | + 6 x 350 l/ha Wasser | + 3 x 350 l/ha Wasser |

Ergebnisse

Prüfstandsmessungen

In Abbildung 1 und 2 sind die Ergebnisse der Prüfstandsmessung mit der kleinen Direkteinspeisepumpe (Arbeitsbereich 0,03 – 1,18 l/min) und der großen Direkteinspeisepumpe (Arbeitsbereich 0,15 – 5,9 l/min) abgebildet.

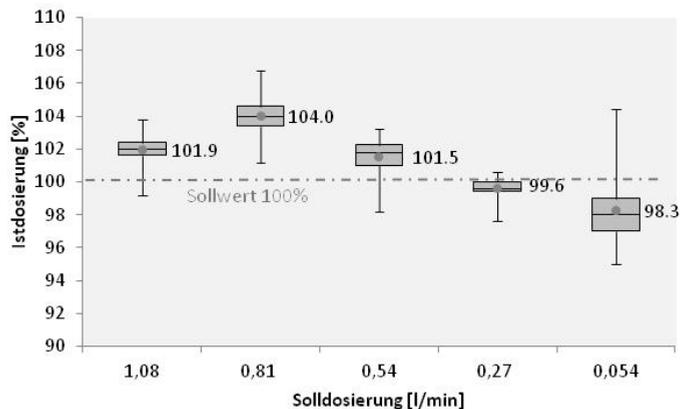


Abb. 1 Dosiergenauigkeit der kleinen Dosierpumpe [Arbeitsbereich von 0,03 – 1,18 l/min] bei verschiedenen Dosierleistungen (n = 180).

Fig. 1 Dosage accuracy of the small dosing pump [working range 0.03 – 1.18 l/min] at different work areas (n = 180).

Dargestellt sind jeweils Messungen in fünf verschiedenen Dosierstufen innerhalb des Arbeitsbereiches der Pumpe. Die Zahlen neben den Punkten zeigen für jede Dosierstufe das arithmetische Mittel aus jeweils 180 Messungen. Die Box verdeutlicht den Interquartilsabstand innerhalb dem 50 % aller Messungen liegen.

Wie die Ergebnisse für die kleine Dosierpumpe in Abbildung 1 zeigen, liegt die Abweichung der Dosiergenauigkeit vom Sollwert im Mittel bei nicht mehr als +/- 4 %. Der höchste Wert der

Istdosierung wurde für die Pumpe mit dem kleinen Fördervolumen, mit 106,8 % bei einer Dosiermenge von 0,81 l/min gemessen und liegt immer noch innerhalb des vorher festgelegten Toleranzbereichs von +/- 7 % gegenüber dem Sollwert. Der geringste Wert wurde mit 95 % bei der Dosiermenge 0,054 l/min gemessen und liegt ebenfalls innerhalb des festgelegten Toleranzbereiches. Die größte Streuung wurde bei der geringsten Dosiermenge (0,054 l/min) gemessen. Die Ergebnisse der großen Pumpe in Abbildung 2 zeigen, dass auch hier die größte Streuung der Werte im unteren Dosierbereich vorliegt. Die Extremwerte bei der Pumpe mit dem großen Fördervolumen liegen über alle fünf Dosierbereiche betrachtet zwischen 97,8 % im unteren Bereich und 106 % im oberen Bereich und damit innerhalb der Toleranz von +/- 7 % um den Sollwert.

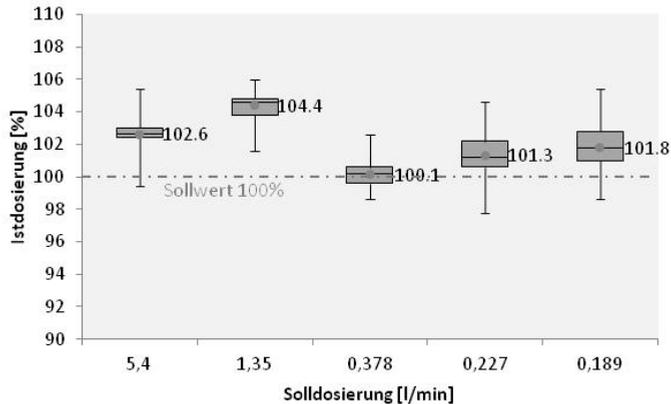


Abb. 2 Dosiergenauigkeit der großen Dosierpumpe [Arbeitsbereich von 0,15 – 5,9 l/min] bei verschiedenen Dosierleistungen (n = 180).

Fig. 2 Dosage accuracy of the large dosing pump [working range 0.15 – 5.9 l/min] at different work areas (n = 180).

Feldversuch Applikationsgenauigkeit

Die Wirksamkeit der Behandlung hat die Dosiergenauigkeit der Direkteinspeisungssysteme bestätigt. Beim Ein- und Ausschalten am Anfang bzw. Ende der Parzellen zeigte sich, dass das entwickelte Feldspritzgerät verzögerungsfrei arbeitet. Die Parzellen waren in Fahrtrichtung entsprechend der vorgegebenen Behandlungsbreite immer gleichmäßig breit, was zeigt, dass das Vorladen funktioniert und es keinen verzögerten Konzentrationsaufbau von der Gestängemitte nach außen gibt. Abbildung 3 zeigt die behandelten Parzellen. Die teilweise aufgetretenen Überlappungen über die Parzellengrenze hinaus waren sehr gering. Die entstandenen Überschreitungen der Sollgrenzen sind im tolerierbaren Bereich, wenn man berücksichtigt, dass ein GPS-Signal ohne RTK Genauigkeit verwendet wurde.



Abb. 3 Luftbild der behandelten Parzellen.

Fig. 3 Aerial image of treated plots.

Feldversuch zur teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung im Winterweizen

In Tabelle 2 ist dargestellt welche Fläche mit den einzelnen Pflanzenschutzmitteln gegenüber der betriebsüblichen Applikation behandelt wurde. Auf Schlag I betrug die bei der teilflächenspezifischen Behandlung überfahrene Fläche 1,091 ha. Das Herbizid Tristar wurde auf 0,04 ha oder etwa 3,7 %, das Herbizid Traxos auf 0,46 ha oder etwa 42 % und das Herbizid Pixie auf 0,6 ha oder etwa 55 % der Fläche angewendet. Tabelle 2 vergleicht desweiteren die Kosten der Herbizide bei der realen Teilflächenbehandlung mit den Kosten der theoretischen, ohne Direkteinspeisung, üblichen Ganzflächenapplikation. Auf Schlag I wären bei betriebsüblicher Behandlung der teilflächenspezifisch behandelten Fläche von 1,09 ha 77,03 € für Herbizide angefallen. Durch die Teilflächenbehandlung nach Schadensschwellen konnten die Kosten für diese Fläche auf 42,96 € reduziert werden. Bei Schlag II ergab sich eine Reduktion der Herbizidkosten von 154,42 € für 2,187 ha auf 66,76 €. Umgerechnet auf einen Hektar konnten bei Schlag I 31,22 €/ha oder etwa 44 % und bei Schlag II 40,07 €/ha oder etwa 57 % der Kosten für Herbizide eingespart werden.

Tab. 2 Kosten der Unkrautbekämpfung: Vergleich der betriebsüblichen zur teilflächenspezifischen Herbizidapplikation.

Tab. 2 Costs of weed control: Comparison of standard to site-specific herbicide application.

| | Betriebsüblich | | Teilflächenspezifisch | |
|--|--|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Herbizide | 300 g Atlantis WG (143,70 €/kg) + 70 g Biathlon (392,85 €/kg) | 1,5 l/ha Tristar (36 €/l) | 1,2 l/ha Traxos (37,60 €/l) | 2 l/ha Pixie (16,70 €/l) |
| Behandelte Fläche in ha Schlag I | 1,091 | 0,04 | 0,46 | 0,6 |
| Entstandene Kosten € Schlag I | 77,03 | 2,16 | 20,76 | 20,04 |
| Summe Kosten Teilfläche in € | | | 42,96 | |
| Behandelte Fläche in ha Schlag II | 2,187 | 0,34 | 0,51 | 0,76 |
| Entstandene Kosten € Schlag II | 154,42 | 18,36 | 23,01 | 25,38 |
| Summe Kosten Teilfläche in € | | | 66,76 | |

Bei der Beerntung mit einem Mähdrescher mit Ertragskartierung konnten keine Ertragsunterschiede zwischen den betriebsüblichen und teilflächenspezifisch behandelten Versuchsfeldern festgestellt werden.

Feldversuch zur Wirkungsminderung durch Wirkstoffabwaschung von Zielflächen

Der Gelbsenf war bei der Bonitur 14 Tage nach Applikation auf allen behandelten Parzellen, unabhängig von der Wasseraufwandmenge abgestorben. Dennoch zeigte sich bei Beobachtungen zwischen Applikation und Bonitur, dass auf den Parzellen mit sehr hoher Wasseraufwandmenge die herbizide Wirkung verzögert auftrat. So war auf den Parzellen mit Wasseraufwandmengen von bis zu 600 l/ha, gegenüber den Parzellen mit höherer Wasseraufwandmenge, die herbizide Wirkung schon eine Woche nach der Applikation sicher feststellbar.

Diskussion

Die Ergebnisse der Prüfstandsmessungen zeigen, dass die verwendete BSF-Lösung mit der geforderten Genauigkeit in den Wasserstrom dosiert wird. Vergleicht man die Streuung innerhalb der jeweiligen Dosierstufe miteinander, dann zeigt sich, dass die Streuung bei beiden Pumpengrößen in der Dosierstufe an der unteren Grenze des Arbeitsbereiches am größten ist. Somit sind Dosiergenauigkeiten eher am unteren Ende des jeweiligen Dosierbereiches zu erwarten. Erst nach umfangreichen Praxiseinsätzen kann festgestellt werden ob alle Pflanzenschutzmittelformulierungen unter verschiedenen Umweltbedingungen unproblematisch dosierbar sind und die mit der BSF-Lösung gemessenen Dosiergenauigkeiten erreichen. Wenn der Anwender die leicht durchzuführende Kalibrierung der Direkteinspeisepumpen für jedes Pflanzenschutzmittel ausführt, dann ist zu erwarten, dass keine größeren Probleme mit der Dosiergenauigkeit auftreten sollten.

Die Feldversuche zur Applikationsgenauigkeit zeigen, dass mit Applikationsbeginn am Anfang einer Parzelle sofort über die volle Arbeitsbreite eine herbizide Wirkung eingetreten ist (Abb. 3). Das zeigt, dass das System des Vorladens funktioniert. Der von SÖKEFELD et al. (2005) diskutierte Nachteil von langen Verzögerungszeiten bei einer zentralen Einspeisung der PSM in die Düsenleitung ist mit dem Verfahren der Vorladung beim entwickelten Prototyp gelöst worden. So kann durch die Verwendung von drei Düsenleitungen mit je einem eigenen Direkteinspeisesystem ohne Verzögerungszeiten zwischen verschiedenen PSM gewechselt werden oder bei Bedarf auch drei verschiedene PSM gleichzeitig appliziert werden.

Die Ergebnisse zur teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung im Winterweizen haben gezeigt, dass durch die teilflächenspezifische Herbizidapplikation der Verbrauch, sowie die Kosten für Pflanzenschutzmittel reduziert werden können. In welchem Umfang Einsparungen möglich sind hängt von der jeweiligen Unkrautsituation auf dem Schlag ab. Kritisch ist das weite Raster zu sehen, welches für die manuelle Unkrauterfassung aus Gründen des Arbeitsaufwandes gewählt werden musste. Eine höhere Auflösung könnte mit Unkrautsensoren oder mittels kameragestützter Bonitur per Drohne erreicht werden. Die Praxisreife dieser Systeme wird für die Zukunft erwartet. GERHARDS (2004) berichtet ebenfalls über das Einsparpotenzial bei der teilflächenspezifischen Behandlung mit selektiven Herbiziden. Er beziffert das Einsparpotenzial bei von ihm durchgeführten Versuchen auf bis zu 96 % im Getreide, bis zu 61 % in Mais und bis zu 64 % in Zuckerrüben. NORDMEYER (2006) berichtet von Untersuchungen aus einem Versuchszeitraum von sieben Jahren (1999 bis 2005) wo in einzelnen Versuchsjahren bis zu 85 % der Ackerfläche mit Herbiziden unbehandelt bleiben konnte. Im Durchschnitt konnte NORDMEYER (2006) durch die Teilflächenbehandlung noch eine Reduzierung des Herbizideinsatzes von 50 % erreichen. Ertragsunterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Teilflächen konnte er nicht feststellen.

Der Versuch zur Wirkungsminderung durch mögliche Wirkstoffabwaschung von Zielflächen hat gezeigt, dass die herbizide Wirkung auch bei gleichzeitiger Nutzung aller drei Düsenleitungen

parallel mit bis zu 1050 l/ha Wasseraufwandmenge gegeben war. TOEWS et al. (2012) berichten von tendenziell geringeren Wirkungsgraden bei Versuchen mit Acker-Fuchsschwanz und Wasseraufwandmengen von 250 l/ha gegenüber 100 l/ha. Begründet wird dies mit der Gefahr des zusammenfließens von kleinen Tropfen zu großen Tropfen und dem dann möglichen Abrollen vom Blatt. Die Morphologie der Unkräuter kann ein Abrollen eventuell begünstigen. Allerdings zeigte ein unveröffentlichter Vorversuch mit in Töpfen angezogenem Acker-Fuchsschwanz und Efeublättrigen Ehrenpreis auf einer stationären Spritzanlage bei Aufwandmengen von bis zu 1200 l/ha keine Wirkungsminderung. Grundsätzlich wird in der landwirtschaftlichen Praxis mit geringen Wasseraufwandmengen (oft im Bereich 150 bis 200 Liter Wasser/ha) gearbeitet, so dass die Gefahr der Wirkstoffabwaschung von Zielflächen auch bei drei gleichzeitig arbeitenden Düsenleitungen als gering einzustufen ist.

Danksagung

Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung. Unser Dank gilt den Kolleginnen und Kollegen der Institute für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz und für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland des Julius Kühn-Instituts in Braunschweig für die Unterstützung bei der Versuchsdurchführung. Bedanken möchten wir uns ebenfalls bei unserem Projektpartner der Herbert Dammann GmbH für die produktive Zusammenarbeit.

Literatur

- ANONYMUS., 1989: Pflanzenschutz: Wasser und Mittel endlich getrennt. Profi Magazin für professionelle Agrartechnik **1** (12), 9.
- GERHARDS, R., 2004: Precision Farming im Pflanzenschutz. In: Landinfo 3: Informationen für die Landwirtschaftsverwaltung / Baden-Württemberg, Hg. Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der Ländlichen Räume (LEL), 10-15.
- GERHARDS, R. und 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.
- NORDMEYER, H., 2006: Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz – Beitrag der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung. Nachrichtenblatt des deutschen Pflanzenschutzdienstes **58**, 317-322.
- SÖKEFELD, M.; P. HLOBEŇ und P. SCHULZE-LAMMERS, 2005: Entwicklung einer Versuchseinrichtung zur Untersuchung der Verzögerungszeiten von Direkteinspeisungssystemen für die teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden. Agrartechnische Forschung **11**, 145-154.
- TOEWS, R.-B.; R. FRIESSLEBEN und P. NAUNHEIM, 2012: Mehrjährige Versuchsergebnisse zum Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf die selektive Gräserkontrolle im Getreide. In: Nordmeyer, H.; Ulber, L. (Hrsg.): Tagungsband / 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung: 13.-15. März 2012, Braunschweig Julius-Kühn-Archiv **434**, 223-227.
- VONDRICKA, J. und P. SCHULZE LAMMERS, 2009: Real-time controlled direct injection system for precision farming. Precision Agric. **10**, 421–430.
- WARTENBERG, G., 2000: Teilflächenspezifisches Spritzen von Pflanzenschutzmitteln. Landtechnik **55**, 438–439.

Automatisierte Unkrauterkenkung auf dem Acker – Möglichkeiten und Grenzen

Automated weed detection in the field - possibilities and limits

Michael Pflanz^{*}, Henning Nordmeyer

Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland,
Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig

^{*}Korrespondierender Autor, michael.pflanz@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.033

Zusammenfassung

Unbemannte Fluggeräte, unmanned aerial vehicles (UAV), sind inzwischen allgegenwärtig genutzte Werkzeuge, um hochauflösende räumliche Informationen landwirtschaftlicher Kulturflächen zu generieren. Ihr Einsatz zur Vegetations-Naherkundung eröffnet dabei eine Reihe an Möglichkeiten, die im Bereich des teilflächenspezifischen Pflanzenschutzes künftig eine wesentliche Rolle spielen werden. In einer zunehmend präzisierten Landwirtschaft steigt zudem das Interesse an innovativen Technologien und es ist erkennbar, dass sich der Fokus von der landwirtschaftlichen Forschung allmählich in die praktische Anwendung verschiebt. Dies erfordert eine rasche und intensive Beurteilung von Möglichkeiten und Grenzen von UAV-gestützten Verfahren.

Während spektral auflösende Sensoren an UAV zur Kartierung des Nährstoff- oder Wasserbedarfs einer Kultur pro Flächeneinheit bereits eingesetzt werden, ist die bildgebende Erkennung von Unkräutern aus der Luft ungleich komplexer und daher bisher nicht praxisrelevant. Zum einen sind die spektralen Unterschiede zwischen Unkräutern und Kulturpflanzen zu gering für eine sichere Unterscheidung und objektbasierte Ansätze separieren Pflanzen bisher weder artspezifisch noch sind sie ausreichend an morphologische Veränderungen innerhalb der Entwicklungsstadien angepasst. Zum anderen fehlen verlässliche Lösungen für eine stabile Kleinraumnavigation, wie sie für eine optisch hinreichende Abbildungsleistung in konstanter niedriger Flughöhe bei unterschiedlichen Geländeprofilen erforderlich ist.

Zur Abschätzung der Möglichkeiten und Grenzen einer automatisierten Unkrauterkenkung, hinsichtlich der notwendigen Abbildungsleistung als Voraussetzung für eine automatisierte Unkrauterkenkung, erfolgten Messflüge mit einem Hexakopter in 5 m Flughöhe über unterschiedlich verunkrauteten Ackerflächen. Die Flughöhe wurde mittels GPS-gesteuerten Autopiloten gehalten. Luftbildaufnahmen erfolgten über georeferenzierten Punkten an denen zeitgleich manuell bonitiert wurde. Die erforderliche optische Auflösung am Boden (mm/Pixel) wurde durch manuelle Auszählung der Unkräuter am PC und Vergleich mit den Boniturdaten abgeschätzt.

Stichwörter: Hexakopter, Präzisionslandwirtschaft, teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung, UAV, Unkräuter, Unkrautverteilung

Abstract

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) have become omnipresent and adequate tools to generate high-resolution spatial data of agricultural cropland. Their implementation into remote sensing approaches of weeds provides suitable applications for a site-specific herbicide management. In general, an increasingly use of innovative technologies gradually leads from agricultural research into the practical application. This requires an evaluation of possibilities and limits of UAV-based remote sensing procedures.

While spectrals from UAVs are being used already for mapping needs of nutrient or water, the image supported weed detection is much more complex and at the moment not relevant in practice.

In this regard, there is a lack of weed and crop differentiation through spectral analyses and object-based approaches separate different plants not species-specific or are not adapted to morphologic changes of the growth. Moreover, there is a need for alternative positioning techniques without GPS, as it is required for a precise optical imaging analysis at low altitudes.

To evaluate the possibilities and limitations of automated weed identification regarding the optical and sampling requirements, flights were carried out with a hexacopter at an altitude of 5 m over agricultural crop land with variable weed patches. The altitude was controlled by the GPS-autopilot. Images were captured at geo-referenced points and the number of different weed species was simultaneously determined by manually counting. The required optical resolution on the ground was estimated by comparing the number of weeds between image analysis on the PC and with the field rating data.

Keywords: Herbicide application, hexacopter, precision farming, UAV, site-specific weed management, weed distribution, weeds

Einleitung

Für eine teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung ist die Erfassung und Analyse raumbezogener Unkrautinformationen erforderlich. Dazu gehören die Erkennung spezifischer Unkrautarten sowie die Erfassung ihrer Dichte und der räumlichen Verteilung auf einer Fläche (HÄUSLER et al., 1999; NORDMEYER, 2006; LOPEZ-GRANADOS, 2011). Während manuelle und zufällige Stichproben oder Rasterbonituren sehr aufwendig und teuer sind (WILES und SCHWEIZER, 1999), kann der Einsatz von UAVs dazu beitragen, Einzelpflanzen mit Hilfe bildgebender Sensorik und photogrammetrischer Analyse zu erfassen. Ziel ist es, verschiedene Unkrautarten auf einer Kulturfläche hochauflösend zu kartographieren und Applikationskarten für eine präzise Herbizidanwendung bereitzustellen. Auf diese Weise können Pflanzenschutzmaßnahmen auf das notwendige Maß reduziert werden.

Aufgrund der geringen Anschaffungskosten sind inzwischen zahlreiche Sensorplattformen auf UAV-Basis verfügbar, die auch in der landwirtschaftlichen Praxis Anwendung finden (LELONG et al., 2008; SCHMALE et al., 2008; XIANG und TIAN, 2011; LEBOURGEOIS et al., 2012; RASMUSSEN et al., 2013). Solche Plattformen können auch auf sehr kleinen Flächen ökonomisch sinnvoll eingesetzt werden. Die photogrammetrische Flächenleistung ist zunächst abhängig von der Konstruktion (Multirotorsystem bzw. Starrflügler) sowie von der operativen Flughöhe, und gegenüber einer satellitengestützten Fernerkundung vergleichsweise gering (PFLANZ et al., 2014).

Die Navigation von Multirotorsystemen in geringen Flughöhen ermöglicht eine Erfassung hochauflösender räumlicher Daten (DUNFORD et al., 2009). Die geringe Tragkraft der Fluggeräte erfordert jedoch einen Kompromiss zwischen Sensorqualität (handelsübliche Kameras mit kleinen Chips oder Objektiven von geringer optischer Güte – Tabelle 1), Kosten und Gewicht. Da die räumliche Auflösung (*Ground sample distance* – GSD) die projizierte Größe eines einzelnen Pixels auf ein Objekt am Boden ist (Abb. 1), ist sie abhängig von der Flughöhe, der Sensorgröße/-auflösung und der Brennweite (KECLEY, 2014). Die operative Flughöhe der Fernerkundungsplattform hat hierbei den größten Einfluss auf Bildstruktur und -größe, wobei mit größeren Flughöhen der Bildausschnitt zunimmt, damit die Flächenleistung steigt, die GSD und damit der Detailgrad in der Abbildung sinkt (MARCEAU und HAY, 1999).

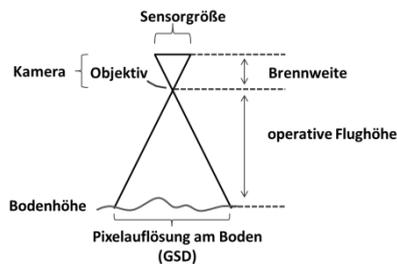


Abb. 1 Einfluss von Kamerasensor, Brennweite und Flughöhe auf die Pixelauflösung am Boden.

Fig. 1 Effect of camera sensor, focal length and operative altitude on the ground sample distance.

Je nach Anwendung wird der Pflanzendeckungsgrad, die Biomasse sowie der Wasser- und Nährstoffbedarf zwischen den Flächengrenzen mit Hilfe der spektralen Signatur des Pflanzenbestandes aus großen Flughöhen (>50 m) bestimmt (ZHANG et al., 2006; LELONG et al., 2008; RAMA RAO et al., 2008).

Die Vegetationsnaherkundung in geringer Aufnahmehöhe führt dagegen zu einer geringeren GSD und damit zu einem erhöhten Detailgrad in den Luftbildern, was eine Klassifizierung von Pflanzenarten als Basis für den teilflächenspezifischen Herbizideinsatz ermöglicht (LAMB und

BROWN, 2001; SOGAARD, 2005; RAO et al., 2007; RASMUSSEN et al., 2007; GUTIÉRREZ et al., 2008; LAN et al., 2009; GÓMEZ-CASERO et al., 2010; GOMEZ-CANDON et al., 2011). Davon ausgehend wurden für eine automatisierte Identifikation und Kartierung von Unkrautarten verschiedene Methoden und Systeme der Bildverarbeitung erprobt. Mit Hilfe von Texturmodellen (linear-mixture models) wurde die Artzusammensetzung am Boden bestimmt (SILVESTRI et al., 2003; SOGAARD, 2005). MANH et al. (2001) separierte individuelle Unkräuter auf der Basis von parametrisierbarer Formvektoren einzelner Laubblätter.

Allerdings stützen sich diese Studien auf eine geringe Anzahl Spezies zur Unterscheidung. Mit Hilfe blattkonturbezogener Fourierdeskriptoren wurden dagegen mehr als 20 Unkrautarten bei einer Erkennungsrate von etwa 70 % (für Einzelpflanzen) identifiziert (SÖKEFELD und GERHARDS, 2004). Die Aufnahmehöhe betrug hier 1,5 m und die Bodenauflösung in etwa 1,4 Pixel/mm. Mit Hilfe von aktiven Konturmodellen wurden nicht nur einzelne Pflanzenteile identifiziert, sondern die gesamte Pflanzengeometrie in die Modellierung einbezogen. Hier erfolgten Messungen aus 10 m Höhe bei einer Bodenauflösung von 100 Pixel/mm (SOGAARD, 2005). Validiert wurden die Modelle auf drei Unkrautarten mit Erkennungsraten zwischen 65 und 93 %.

Die inzwischen verfügbaren, hoch auflösenden Daten aus Befliegungen mittels UAV ermöglichen räumliche Analysen von Merkmalen und Eigenschaften, für die der Detailgrad in bisherigen Aufnahmen zu gering war. Dies führt zu einer erhöhten räumlichen Komplexität, die durch Texturmodelle und räumlich-objektbasierte Bildanalyse verallgemeinert werden kann (HAY und CASTILLA, 2008; KIM et al., 2009).

Material und Methoden

UAV

Die Befliegung der Versuchsfläche des Julius Kühn-Instituts (Standort Sickte, N 52.217281, O 10.627062 UTM) erfolgte mit einem Multirotorsystem (Hexakopter, Hexa XL, HiSystems GmbH Moormerland, Deutschland) und modifizierter Flugsteuerung (CIS GmbH, Rostock-Bentwisch, Deutschland). Die maximale Nutzlast beträgt etwa 1,5 kg. In Abhängigkeit zur Nutzlast kann eine Flugzeit von 10-15 Minuten erreicht werden (3,2 kg Gesamtgewicht, 6600 mAh elektrische Kapazität). Weitere Details sind bei PFLANZ et al. (2014) beschrieben.

Kamera

Die Aufnahme von Einzelbildern erfolgte an georeferenzierten Punkten (n=108) in einer Flughöhe von 5 m mit einer modifizierten RGB Kompaktkamera (NEX 5N, Sony, Japan). Die maximale Kameraauflösung beträgt 4912 x 3264 Bildpunkte (23,7 x 15,8 mm APS-C Sensor). Verwendet wurde ein Objektiv mit einer Brennweite von 60 mm (Sigma 2.8 DN, Sigma Corp., Japan), wodurch eine Bodenauflösung von 2,5 Pixel/mm erreicht wurde ().

Bildanalyse und manuelle Feldbonitur

Zur Bestimmung verschiedener Unkrautarten wurde eine Bonitur am PC (Abb. 2) in n=52 Luftbildaufnahmen durchgeführt. Das entwickelte Skript (HerbCountGUI, Ver. 0.1, Matlab 8.1, The Mathworks, USA) ermöglicht eine manuelle Identifizierung und automatische Zählung von Unkräutern der Arten *Matricaria recutita* (MATCH), *Veronica hederifolia* (VERHE), *Papaver rhoeas* (PAPRH) und *Viola arvensis* (VIOAR). Trifft keine der verfügbaren Optionen zu, kann zwischen *Monokotyle* und *Dikotyle* unterschieden werden. Zur Errechnung der GSD und der Flughöhe können in HerbCountGUI bei Fehlen einer Kalibriertafel Marker für definierte Abstände im Luftbild (z.B. Pflanz- oder Reihenabstände) gesetzt werden. Zeitgleich erfolgte die Feldbonitur der Unkräuter in Winterweizen (ab BBCH 13) auf Teilflächen von 0,1 m² (Göttinger Zählrahmen). Gedrillt wurde in einem Reihenabstand von 12,5 cm. Die Ergebnisse der Zählungen wurden schließlich in eine georeferenzierte Unkrautkarte des Versuchsfeldes überführt (QGIS 2.6, QGIS Development Team, 2014).

Tab. 1 Zusammenhang zwischen Sensorgröße, Brennweite und Öffnungswinkel bei handelsüblichen Kameras im Vergleich zum Kleinbildformat (KB) von 24 x 36 mm.

Tab. 1 Relation between sensor size, focal length and angular aperture in contrast to analog film size shown for standard consumer cameras.

| Sensortyp | Sensorgröße in mm | Brennweite in mm | Öffnungswinkel (x) | Öffnungswinkel (y) |
|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1,4" | 3,20 x 2,13 | 10 | 18,2 | 12,2 |
| | | 16 | 11,4 | 7,6 |
| | | 35 | 5,2 | 3,5 |
| | | 50 | 3,7 | 2,4 |
| | | 60 | 3,1 | 2,0 |
| | | 100 | 1,8 | 1,2 |
| 2/3" | 8,80 x 5,87 | 10 | 47,5 | 32,7 |
| | | 16 | 30,8 | 20,8 |
| | | 35 | 14,3 | 9,6 |
| | | 50 | 10,1 | 6,7 |
| | | 60 | 8,4 | 5,6 |
| | | 100 | 5,0 | 3,4 |
| APS-C ¹ | 23,70 x 15,80 | 10 | 99,7 | 76,1 |
| | | 16 | 73,0 | 52,2 |
| | | 35 | 37,4 | 25,2 |
| | | 50 | 26,7 | 17,8 |
| | | 60 | 22,3 | 14,9 |
| | | 100 | 13,5 | 9,0 |
| KB | 36,00 x 24,00 | 10 | 121,9 | 100,4 |
| | | 16 | 96,7 | 73,7 |
| | | 35 | 54,4 | 37,8 |
| | | 50 | 39,6 | 27,0 |
| | | 60 | 33,4 | 22,6 |
| | | 100 | 20,4 | 13,7 |

¹ Advanced Photo System (Canon, Sony)

Ergebnisse

GPS-Navigation

Um die Möglichkeiten und Grenzen einer automatisierten Unkrauterkenennung hinsichtlich der notwendigen Abbildungsleistung abschätzen zu können, wurde der Zusammenhang zwischen der Sensorgröße der Kamera, der Brennweite und der Bodenauflösung theoretisch erarbeitet und durch Daten einer Feldbefliegung mit anschließender Freiland- und PC-Bonitur evaluiert.

Zunächst zeigte sich, dass die mittels GPS-Autopiloten angestrebte Flughöhe des Hexakopters von 5 m nicht exakt gehalten wurde. Die aus den Luftbildaufnahmen errechnete Bodenauflösung variierte zwischen 2,8 und 5,2 Pixel/mm (3,54 Pixel/mm für die Aufnahme in Abb. 2). Mit Hilfe der erarbeiteten Zusammenhänge zwischen Sensorgröße, Brennweite und Bodenauflösung (Tab. 2) kann aus dem Reihenabstand von 12,5 cm die Flughöhe annähernd genau bestimmt werden. Bei den untersuchten Luftbildaufnahmen variierte die Flughöhe folglich zwischen 2,4 und 4,5 m, was einer Abweichung zur operativen Flughöhe von bis zu 52 % entspricht. Die dabei entstehenden Skalierungsunterschiede in den Bilddaten sind bei einer automatischen Unkrauterkenennung durch objektbasierte Ansätze zu berücksichtigen.

Tab. 2 Flächenleistung bzw. Bodenauflösung in Abhängigkeit zur Brennweite, Sensorgröße (APS-C) und Flughöhe. Die Kameraauflösung beträgt 4912 x 3264 Pixel.

Tab. 2 *Ground sample distance and resolution related to focal length, sensor size (APS-C) and altitude. The chip resolution was 4912 x 3264 pixel.*

| Brennweite | Flughöhe in m | Bildaus- schnitt (x) | Bildaus- schnitt (y) | Grund- fläche in m ² | Pixel/mm | Pixel / m ² | mm ² / Pixel |
|------------|------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------|------------------------|-------------------------|
| 16 | 1 | 1,5 | 1,0 | 1,4 | 3,3 | 11148180,9 | 0,1 |
| | 3,5 | 5,1 | 3,4 | 17,6 | 1,0 | 910055,6 | 19,4 |
| | 5 | 7,3 | 4,9 | 36,0 | 0,7 | 445927,2 | 80,6 |
| | 10 | 14,7 | 9,8 | 143,8 | 0,3 | 111481,8 | 1290,0 |
| | 20 | 29,4 | 19,6 | 575,3 | 0,2 | 27870,5 | 20640,5 |
| | 50 | 73,4 | 49,0 | 3595,4 | 0,1 | 4459,3 | 806270,0 |
| | 100 | 146,9 | 97,9 | 14381,5 | < 0,1 | 1114,8 | 12900320,3 |
| 35 | 1 | 0,7 | 0,4 | 0,3 | 7,3 | 53345787,6 | < 0,1 |
| | 3,5 | 2,4 | 1,6 | 3,7 | 2,1 | 4354758,2 | 0,9 |
| | 5 | 3,4 | 2,2 | 7,5 | 1,5 | 2133831,5 | 3,5 |
| | 10 | 6,7 | 4,5 | 30,1 | 0,7 | 533457,9 | 56,3 |
| | 20 | 13,4 | 9,0 | 120,2 | 0,4 | 133364,5 | 901,4 |
| | 50 | 33,6 | 22,4 | 751,4 | 0,1 | 21338,3 | 35211,8 |
| | 100 | 67,1 | 44,8 | 3005,4 | 0,1 | 5334,6 | 563388,8 |
| 60 | 1 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 12,5 | 156771294,2 | < 0,1 |
| | 3,5 | 1,4 | 0,9 | 1,3 | 3,6 | 12797656,7 | 0,1 |
| | 5 | 2,0 | 1,3 | 2,6 | 2,5 | 6270851,8 | 0,4 |
| | 10 | 3,9 | 2,6 | 10,2 | 1,3 | 1567712,9 | 6,5 |
| | 20 | 7,8 | 5,2 | 40,9 | 0,6 | 391928,2 | 104,4 |
| | 50 | 19,6 | 13,1 | 255,7 | 0,3 | 62708,5 | 4077,1 |
| | 100 | 39,2 | 26,1 | 1022,7 | 0,1 | 15677,1 | 65234,2 |
| 100 | 1 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 20,9 | 435475817,1 | < 0,1 |
| | 3,5 | 0,8 | 0,5 | 0,5 | 6,0 | 35549046,3 | < 0,1 |
| | 5 | 1,2 | 0,8 | 0,9 | 4,2 | 17419032,7 | 0,1 |
| | 10 | 2,4 | 1,6 | 3,7 | 2,1 | 4354758,2 | 0,8 |
| | 20 | 4,7 | 3,1 | 14,7 | 1,0 | 1088689,5 | 13,5 |
| | 50 | 11,8 | 7,8 | 92,0 | 0,4 | 174190,3 | 528,4 |
| | 100 | 23,5 | 15,7 | 368,2 | 0,2 | 43547,6 | 8454,4 |

Unkrautererkennung

Abbildung 2 zeigt die für die manuelle Unkrautbonitur am PC entwickelte grafische Benutzeroberfläche HerbCountGUI. Dargestellt ist ein mit dem UAV aufgenommenes Bild aus 3,55 m Flughöhe (vgl. Tab. 2) sowie der Ausschnittsrahmen, der für die PC-Bonitur verwendet wurde. Die Erfassung der Verunkrautung erfolgte artspezifisch. Die Fläche des grünen Auswertungsrahmens beträgt in allen Aufnahmen 1958 x 1958 Pixel. Die reelle Fläche am Boden variiert in Abhängigkeit zur Flughöhe. Die im Bild vorkommenden Unkrautarten sind farblich markiert. In anderen Bildausschnitten wurden weitere Unkrautarten bonitiert.

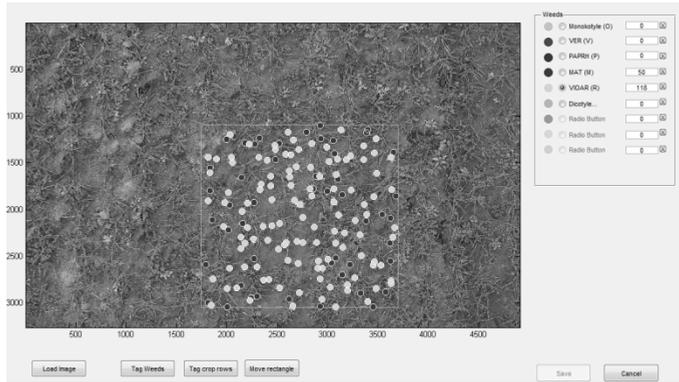


Abb. 2 Grafische Benutzeroberfläche für die manuelle Unkrautbonitur (HerbCountGUI Ver. 0.1). Die reelle Fläche des grünen Ausschnitts beträgt 0,32 m².

Fig. 2 Graphical user interface for manual weed counting (HerbCountGUI Ver. 0.1). The green coloured sample area is about 0.32 m².

Zwischen der durch Feldbonitur bestimmten Anzahl artspezifischer Unkräuter und der Bonitur am PC konnte eine zunächst gute Übereinstimmung für eine Unkrautart erzielt werden (Abb. 3). Der erklärte Zusammenhang für MATCH korreliert mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,70$. Für VIOAR lag die Korrelation dagegen unter $R^2 = 0,1$. Insgesamt waren die Pflanzendichten bei MATCH höher (bis 500 Pflanzen/m²) als bei VIOAR. Bei VIOAR lagen die erfassten Dichten überwiegend im Bereich < 100 Pflanzen/m².

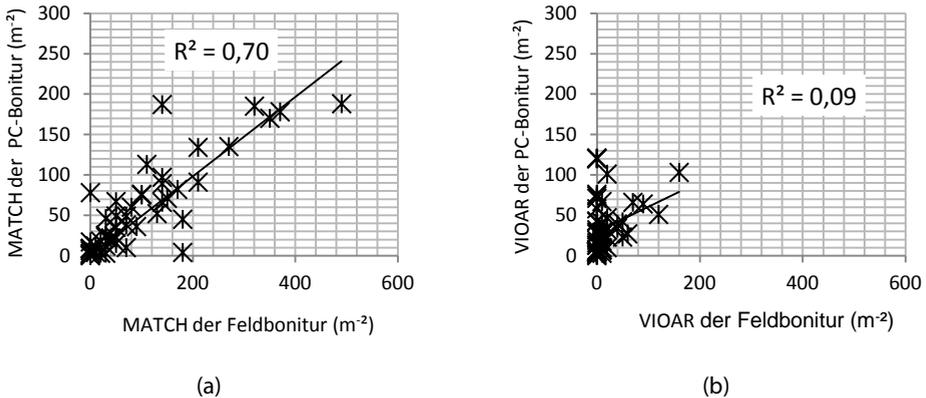


Abb. 3 Zusammenhang zwischen Felddaten und manueller Unkrautbonitur mittels HerbCountGUI.

Fig. 3 Relation between field data and manual counting by using the HerbCountGUI-Tool.

Aus den Ergebnissen der Feld- und PC-Bonitur wurden georeferenzierte Unkrautverteilungskarten erstellt. Dazu wurden die Rasterpunktdaten (64 bis 105) in Verteilungskarten überführt. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse für MATCH. Die Bonitur mit Hilfe von HerbCountGUI liefert lokal zum Teil höhere Unkrautdichten (Abb. 4b).

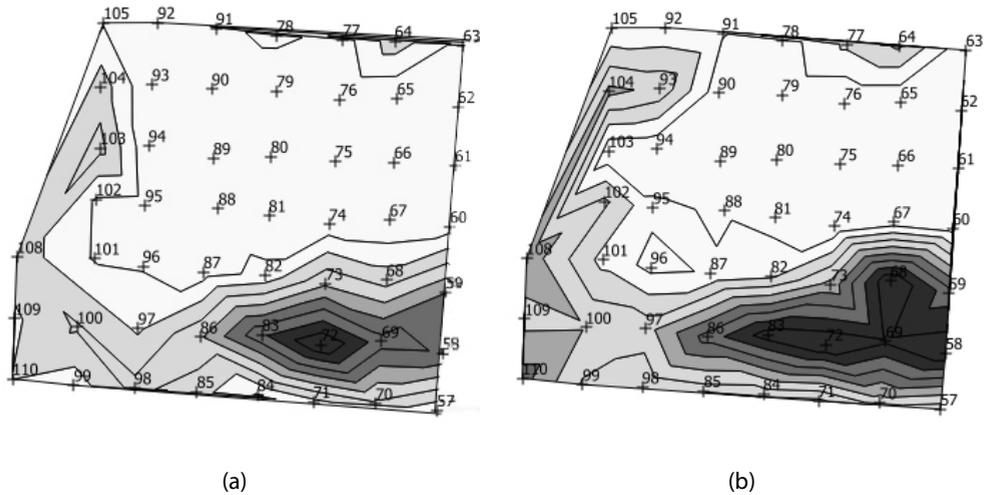


Abb. 4 Georeferenzierte Unkrautkarten des Versuchsfeldes (Sicke, Schlag 9) mit Verteilung von MATCH. (a) Ergebnis der manuelle Feldbonitur, (b) Ergebnis der Bonitur mit Hilfe von HerbCountGUI.

Fig. 4 Georeferenced weed map (Sicke, field 9) and the spatial distribution of MATCH. (a) Result of the manual field sampling, (b) result of sampling by HerbCountGUI.

Fazit

Neben neuen Herausforderungen bezüglich rechtlicher Rahmenbedingungen für den Flugbetrieb, sind künftig erhöhte Anforderungen für eine präzise Kleinraumnavigation von UAV-Plattformen in geringen Flughöhen zu bewältigen. Neue Ansätze für eine Vegetationsnaherkundung als Voraussetzung für eine bildgebende Unkrauterkenntung werden darüber hinaus autonome Sensorplattformen erfordern, die hochauflösende georeferenzierte Luftbildaufnahmen einer fein skalierten Verteilung von Pflanzenarten erstellen können. Hierzu sind aus gegenwärtiger Sicht eine möglichst geringe Flughöhe oder hochwertige Kameraoptiken maßgeblich. Die gestiegene räumliche Komplexität extrem fein aufgelöster Bilddaten, und deren Analyse wird damit zu einem Kernproblem von UAV-gewonnenen Daten. Hierfür sind neue Analysemethoden erforderlich (z.B. räumliche Generalisierung). Die Verwendung von Bildtexturmodellen und eine objekt-basierte Bildanalyse werden dazu in der Literatur bereits diskutiert.

Für die hier beschriebenen Anforderungen einer präzisen Kleinraumnavigation sollten künftig RTK-basierte Lösungen eingesetzt werden. Langfristiges Ziel ist es, die manuelle PC-Bonitur zu automatisieren.

Literatur

- DUNFORD, R., K. MICHEL, M. GAGNAGE, H. PIÉGAY und M.-L. TRÉMELO, 2009: Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest. *Int. J. Remote Sens.* **30** (19), 4915-4935.
- GOMEZ-CANDON, D., F. LOPEZ-GRANADOS, J.J. CABALLERO-NOVELLA, M. GOMEZ-CASERO, M. JURADO-EXPOSITO und L. GARCIA-TORRES, 2011: Geo-referencing remote images for precision agriculture using artificial terrestrial targets. *Precis. Agric.* **12** (6), 876-891.
- GÓMEZ-CASERO, M.T., I. CASTILLEJO-GONZÁLEZ, A. GARCÍA-FERRER, J.M. PEÑA-BARRAGÁN, M. JURADO-EXPOSITO, L. GARCÍA-TORRES und F. LÓPEZ-GRANADOS, 2010: Spectral discrimination of wild oat and canary grass in wheat fields for less herbicide application. *Agronomy for Sustainable Development* **30** (3), 689-699.
- GUTIÉRREZ, P., F. LÓPEZ-GRANADOS, J. PEÑA-BARRAGÁN, M. JURADO-EXPOSITO und C. HERVÁS-MARTÍNEZ, 2008: Logistic regression product-unit neural networks for mapping *Ridolfia segetum* infestations in sunflower crop using multitemporal remote sensed data. *Comput. Electron. Agr.* **64** (2), 293-306.
- HÄUSLER, A., H. NORDMEYER und J.STAFFORD, 1999: Characterizing spatial and temporal dynamics of weed seedling populations. Precision agriculture'99, Part 1. Papers presented at the 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, Denmark, 11-15 July 1999., Sheffield Academic Press.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- HAY, G.J. und G. CASTILLA, 2008: Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline. In: *Object-based image analysis*. Springer, S. 75-89 %@ 3540770577.
- KECKLEY, J., 2014: Object-based image analysis of ultra-fine spatial resolution imagery acquired over a saltmarsh environment by an Unmanned Aircraft System (UAS). University of Tasmania.
- KIM, M., M. MADDEN und T.A. WARNER, 2009: Forest Type Mapping using Object-specific Texture Measures from Multispectral Ikonos Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **75** (7), 819-829.
- LAMB, D. und R.B. BROWN, 2001: Pa—precision agriculture: Remote-sensing and mapping of weeds in crops. *J. Agr. Eng. Res.* **78** (2), 117-125.
- LAN, Y., Y. HUANG, D. MARTIN und W. HOFFMANN, 2009: Development of an airborne remote sensing system for crop pest management: system integration and verification. *Trans ASABE* **25** (4), 607-615.
- LEBOURGEOIS, V., A. BEGUE, S. LABBE, M. HOULES und J.F. MARTINE, 2012: A light-weight multi-spectral aerial imaging system for nitrogen crop monitoring. *Precis. Agric.* **13** (5), 525-541.
- LELONG, C.C.D., P. BURGER, G. JUBELIN, B. ROUX, S. LABBE und F. BARET, 2008: Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots. *Sensors-Basel* **8** (5), 3557-3585.
- LOPEZ-GRANADOS, F., 2011: Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches. *Weed Research* **51** (1), 1-11.
- MANH, A.G., G. RABATEL, L. ASSEMAT und M.J. ALDON, 2001: Weed leaf image segmentation by deformable templates. *J. Agr. Eng. Res.* **80** (2), 139-146.
- MARCEAU, D.J. und G.J. HAY, 1999: Remote sensing contributions to the scale issue. *Canadian journal of remote sensing* **25** (4), 357-366.
- NORDMEYER, H., 2006: Patchy weed distribution and site-specific weed control in winter cereals. *Precis. Agric.* **7** (3), 219-231.
- PFLANZ, M., D. FEISTKORN und H. NORDMEYER, 2014: Unkrautererkennung mit Hilfe unbemannter Luftfahrzeuge. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 396.
- RAMA RAO, N., P. GARG, S. GHOSH und V. DADHWAL, 2008: Estimation of leaf total chlorophyll and nitrogen concentrations using hyperspectral satellite imagery. *The Journal of Agricultural Science* **146** (01), 65-75.
- RAO, N.R., P. GARG und S. GHOSH, 2007: Development of an agricultural crops spectral library and classification of crops at cultivar level using hyperspectral data. *Precis. Agric.* **8** (4-5), 173-185.
- RASMUSSEN, J., J. NIELSEN, F. GARCIA-RUIZ, S. CHRISTENSEN und J.C. STREIBIG, 2013: Potential uses of small unmanned aircraft systems (UAS) in weed research. *Weed Research* **53** (4), 242-248.
- RASMUSSEN, J., M. NØRREMARK und B.M. BIBBY, 2007: Assessment of leaf cover and crop soil cover in weed harrowing research using digital images. *Weed Research* **47** (4), 299-310.
- SCHMALE, D.G., B.R. DINGUS und C. REINHOLTZ, 2008: Development and application of an autonomous unmanned aerial vehicle for precise aerobiological sampling above agricultural fields. *J. Field Robot* **25** (3), 133-147.
- SILVESTRI, S., M. MARANI und A. MARANI, 2003: Hyperspectral remote sensing of salt marsh vegetation, morphology and soil topography. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* **28** (1), 15-25.
- SOGGAARD, H.T., 2005: Weed classification by active shape models. *Biosyst Eng* **91** (3), 271-281.
- SÖKEFELD, M. und R. GERHARDS, 2004: Automatische Unkrautkartierung mit digitaler Bildverarbeitung. *Landtechnik* **59** (3), 154-155.
- WILES, L.J. und E.E. SCHWEIZER, 1999: The cost of counting and identifying weed seeds and seedlings. *Weed Science* **47**, 667-673.
- XIANG, H.T. und L. TIAN, 2011: Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosyst. Eng.* **108** (2), 174-190.
- ZHANG, J.-H., W. KE, J. BAILEY und W. REN-CHAO, 2006: Predicting nitrogen status of rice using multispectral data at canopy scale. *Pedosphere* **16** (1), 108-117.

Sektion 4: Nichtselektive Herbizide

Section 4: Non-selective herbicides

Anwendungen von Glyphosat im deutschen Ackerbau – Herbologische und ackerbauliche Aspekte

Uses of glyphosate in German arable farming – aspects of weed management and arable practice

Armin Wiese^{1*}, Michael Schulte², Ludwig Theuvsen², Horst-Henning Steinmann¹

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

²Georg-August-Universität Göttingen, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness, Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen

*Korrespondierender Autor, armin.wiese@zentr.uni-goettingen.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.034

Zusammenfassung

In einer deutschlandweiten Befragung wurden Daten von 2026 Betrieben zu Glyphosatanwendungen, persönlichen Einschätzungen und betrieblichen Rahmenbedingungen erhoben. Nach einer Prüfung auf Vollständigkeit und Plausibilität wurden ca. 1700 Betriebe im Detail ausgewertet. Es wurden Nichtanwender, Weniganwender und Vielanwender von Glyphosat unterschieden. Letztere wenden Glyphosat auf $\geq 20\%$ der Ackerfläche an. Charakteristisch für diese letztgenannten Betriebe sind ein großer Anteil pflugloser Bewirtschaftung, ein niedriger Arbeitskräftebesatz sowie eine überdurchschnittliche Betriebsgröße. Wurzelunkräuter sind weniger als Grund für Glyphosatanwendungen anzusehen als vielmehr Unkrautpopulationen, die mit den übrigen Herbiziden als schwer bekämpfbar angesehen werden. Nichtanwender und Anwender unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer Einschätzung des Nutzens von Glyphosat sowie der Einstellung zum Glyphosat-Anwendungsumfang in der Landwirtschaft.

Stichwörter: Bodenbearbeitung, Herbizidanwendung, perennierende Unkräuter, Resistenzmanagement

Abstract

Data on glyphosate use, personal attitudes and farm characteristics were collected in a Germany-wide inventory from 2026 farms. About 1700 farms could be analyzed in detail. Categories of glyphosate users were split into: non-users, low proportion users and high proportion users. The latter apply glyphosate on $\geq 20\%$ of their arable land are characterized by a high amount of non-inversion tillage, low labor effort and above-average farm size. Perennial weeds play a less important role for glyphosate use than managing weed populations that are regarded as less susceptible to regular herbicides. Non-users and users of glyphosate differ in their attitude towards the benefits of glyphosate and the amount of glyphosate use in agriculture.

Keywords: Herbicide application, perennial weeds, resistance management, soil cultivation

Einleitung

Nach einem deutlichen Anstieg in den 2000er Jahren hat sich der jährliche Glyphosatabsatz in Deutschland auf dem Niveau von 5000 bis 6000 Tonnen eingependelt (BVL, versch. Jahrgänge). Man kann folglich davon ausgehen, dass sich die typischen Anwendungsmuster ausdifferenziert haben, wobei der größte Absatz in den Ackerbaukulturen stattfindet (STEINMANN et al., 2012). Auf der Basis einer Befragung waren 2012 erste Muster und Anwendungsschwerpunkte sowie ökonomische Implikationen des Glyphosateinsatzes identifiziert worden (DICKEDUISBERG et al., 2012). Es blieb jedoch weitestgehend unklar, welche betrieblichen Probleme und persönliche Motivationen hinter dem Glyphosateinsatz stecken. Weiterhin stellte sich die Frage, ob Glyphosat zusätzlich zur Bekämpfung unkrautbedingter Probleme auch als ein Instrument des Ackerbaus zur Einsparung von Bodenbearbeitungsgängen dient, wie es auf der Basis der bisherigen Erkenntnisse zu vermuten war.

In einer deutschlandweit angelegten Befragung wurden daher >2000 Landwirte nach ihren Anwendungsmustern von Glyphosat sowie nach betrieblichen und ackerbaulichen Rahmenbedingungen gefragt. In ersten Auswertungsschritten wurden regionalisierte Strukturmodelle für die Glyphosatanwendung (SCHULTE et al., in prep.) sowie deskriptive Daten und betriebliche Cluster identifiziert (WIESE et al., 2016). Dabei zeigte sich, dass die Intensität der Glyphosatanwendungen in den Betrieben ungleich verteilt ist und von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst wird. Weiterführende Untersuchungen sollten daher herausfinden, was diese Anwendergruppen im Hinblick auf ackerbauliche und herbologische Kriterien unterscheidet. Die Ergebnisse sollen helfen, Beratungsbedarf aufzuzeigen sowie Strategien für eine gezielte und sparsame Anwendung von Glyphosat zu entwickeln.

Material und Methoden

Grundlage für die Auswertungen war die bereits von WIESE et al. (2016) im Detail vorgestellte Befragung. Im Winter 2014/2015 wurden deutschlandweit mit Hilfe internetbasierter wie auch per Post versandter Fragebögen Angaben von 2026 Landwirten erhoben. Aufgrund der Besonderheiten der Datengewinnung handelt es sich zwar nicht um eine repräsentative Erhebung, wohl aber als sogenanntes Convenience Sample um eine für sozioökonomische Studien geeignete Datenquelle. Im Anschreiben der Befragung waren gezielt konventionell wirtschaftende Betriebe angesprochen worden.

Der Fragebogen umfasste 38 Konstrukte bestehend aus betrieblichen Daten, Details zur Glyphosatanwendung sowie persönlichen und fachlichen Einschätzungen. Die Antwortmöglichkeiten waren dem Charakter der Fragen gemäß als Freitext, Dateneingabe oder skalengestützter Einschätzung möglich. Angaben zu Betriebsgröße, Arbeitskräftebesatz und Anteil gepflügter Fläche wurden als metrische Zahlenwerte verarbeitet. Das Fruchtartenverhältnis wurde mittels des Shannon-Index ausgedrückt; für die als Freitext angegebenen Fruchtfolgen der Betriebe wurde ein Fruchtwechselindex entwickelt und angewandt (WIESE et al., 2016). Aus Platzgründen konnten einige Themen nur als Ja/Nein Angabe, bzw. spontane Nennung abgefragt werden (Teilnahme an Agrarumweltprogrammen, Vorkommen von Leitunkräutern), die demzufolge binär codiert wurden. Für die Quantifizierung persönlicher Einschätzungen und Einstellungen wurden fünfstufige Likertskalen verwendet, und mit Zahlenwerten quantifiziert (WEUTERS et al., 2010). Die Quantifizierung der Likertwerte erfolgte von -2 (trifft überhaupt nicht zu / ist überhaupt kein Problem), -1 (trifft nicht zu, kein Problem), 0 (indifferent / teils-teils), +1 (trifft zu / ist ein Problem), +2 (trifft vollständig zu / ist ein deutliches Problem). Anhand der Angaben wurden Kennziffern zur Ackernutzung, Fruchtfolge und der Glyphosatanwendungsintensität errechnet. Einige Items wurden nicht vollständig ausgefüllt oder waren nicht auswertbar, woraufhin sich die verfügbaren Datensätze auf 1657 bis 1726 reduzierten.

Für die Darstellung und Diskussion der Ergebnisse wurden Betrieb und Betriebsleiter zu einer personalisierten Einheit „Betrieb“ zusammengefasst, wobei dieser „Betrieb“ sowohl den naturalen Rahmen (z. B. Fläche) als auch den Manager mit seinen Einschätzungen und Entscheidungen repräsentiert. Die Betriebe wurden in drei Gruppen eingeordnet: „Nicht“-Anwender (Betriebe, die angaben, im zurückliegenden Jahr kein Glyphosat eingesetzt zu haben), „Wenig“-Anwender (Betriebe mit einer Anwendungsfläche unterhalb des Medians aller Anwendungen; das entspricht einer Anwendungsfläche von < 20 % der AF im Betrieb) und „Viel“-Anwender (Betriebe mit einer Anwendungsfläche oberhalb des Medians aller Anwendungen; ≥ 20 % der AF im Betrieb).

Die Tabellenwerte zeigen die gemittelten Werte aller Antwortmöglichkeiten. Binäre Fragen wurden in die Ziffern 0 (nein, nicht zutreffend) und 1 (ja, zutreffend) übersetzt und gemittelt. Likertwerte wurden als äquidistant angesehen und ebenfalls gemittelt. Zur besseren Lesbarkeit der Tabellen wurden für einige Likert-Konstrukte im Nachgang die Zahlenwerte in ihren Vorzeichen umskaliert. Mittelwertvergleiche zwischen den Gruppen erfolgten mittels t-Test (Indexwerte), Mann-Whitney-U-Test (Likertwerte) und dem Chi-Quadrat Test (binäre Werte). Die Ziffern in den unteren Tabellenbereichen zeigen die Irrtumswahrscheinlichkeiten (p).

Ergebnisse

Betriebe, die Glyphosat gar nicht (a), in geringem Umfang (b) oder auf $\geq 20\%$ der Ackerfläche anwenden (c), unterscheiden sich hinsichtlich wesentlicher Kriterien. Die Nichtanwender sind durch kleinere, relativ arbeitsintensive Betriebe mit hohem Pfluganteil gekennzeichnet (Tab. 1). Die Fruchtarten- und Fruchtfolgediversität ist in diesen Betrieben jedoch niedriger als in den Betrieben mit höherem Glyphosateinsatz.

Tab. 1 Betriebliche Rahmenbedingungen der Anwendergruppen: Betriebsstrukturen. *: t-Test.

Tab. 1 Farm frameworks of user groups regarding operational structures. *: t-test.

| Kategorie | Betriebsgröße [ha AF] n=1726 | Pfluganteil [%] n=1724 | Ak-Besatz [/100 ha] n=1718 | Fruchtwechsel (0 ... 1,91) n=1657 | Shannon-Index (0 ... 2,26) n=1726 |
|--|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---|---|
| Nichtanwender (a) | 78,56 | 68,93 | 2,09 | 0,74 | 1,14 |
| Anwender < Median (b) | 214,46 | 60,00 | 1,50 | 0,84 | 1,32 |
| Anwender \geq Median (c) | 354,50 | 37,21 | 1,15 | 0,87 | 1,28 |
| Test auf Unterschiede | * | * | * | * | * |
| ab | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| ac | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| bc | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,141 | 0,024 |

Tab. 2 Betriebliche Rahmenbedingungen der Anwendergruppen: Kennziffern zu Agrarumweltpolitik und Boden. *: Chi-Quadrat-Test; **: Mann-Whitney-U-Test.

Tab. 2 Farm frameworks regarding agri-environment schemes and soil issues. *: Chi-squared test; **: Mann-Whitney-U test.

| Kategorie | Teilnahme Agrarumwelt- programme (0 ... 1) n=1726 | Boden- zustand ist besser geworden (-2 ... +2) n=1725 | Vorkommen bodenbürtiger Krankheiten (-2 ... +2) n=1724 |
|--|---|--|--|
| Nichtanwender (a) | 0,37 | 0,72 | -1,35 |
| Anwender < Median (b) | 0,47 | 0,78 | -1,22 |
| Anwender \geq Median (c) | 0,49 | 0,88 | -1,05 |
| Test auf Unterschiede | * | ** | ** |
| ab | 0,004 | 0,227 | 0,030 |
| ac | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| bc | 0,561 | 0,015 | 0,000 |

Die Anwender von Glyphosat nehmen in größerer Anzahl an Agrarumweltprogrammen teil als die Nichtanwender (Tab. 2). Betriebe mit überproportionalem Glyphosateinsatz schätzen ihren Bodenzustand als verbessert gegenüber früheren Jahren ein, beobachten aber in höherem Maße bodenbürtige Krankheiten.

Weniganwender sehen bei Vorhandensein einer besseren Technik zur Wurzelunkrautbekämpfung eher Einsparpotenzial von Glyphosat als Vielanwender (Tab. 3). Weiterhin werden perennierende Unkräuter von einem größeren Anteil der Nichtanwender als „Leitunkraut“ genannt als von den Anwendern. Das Vorkommen von Acker-Fuchsschwanz als Leitunkraut differiert nicht zwischen

den Anwendergruppen. Nichtanwender und Vielanwender unterscheiden sich aber hinsichtlich der eingeschätzten Bedeutung des Gemeinen Windhalms. Das Vorkommen von Spätverunkrautung und die Vermutung einer nachlassenden Wirkung bei den in den Betrieben eingesetzten Herbiziden trifft bei den Nichtanwendern deutlich weniger zu als bei den Anwendern.

Tab. 3 Herbologische Einschätzungen: Nachlassende Wirkung bei Herbiziden (generell), Vorkommen von Spätverunkrautung und Leitunkräutern sowie Einsparpotenzial von Glyphosat zur Wurzelunkrautbekämpfung. *: Chi-Quadrat-Test; **: Mann-Whitney-U-Test.

Tab. 3 Evaluations regarding herbological topics: Herbicide efficacy loss (general), occurrence of late weed infestation and dominant weeds as well as potential savings on glyphosate for root spreading weeds.

*: Chi-squared test; **: Mann-Whitney U test.

| Kategorie | Nachlassende Wirkung | Spätverunkrautung | Leitunkraut Windhalm | Leitunkraut Ackerfuchschwanz | Leitunkraut Perennierend | Glyphosat und Wurzelunkrautbekämpfung ¹ |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------|--|
| | (-2 ... +2) n=1716 | (-2 ... +2) n=1725 | (0 ... 1) n=1711 | (0 ... 1) n=1711 | (0 ... 1) n=1711 | (-2 ... +2) n=1716 |
| Nichtanwender (a) | -0,87 | -0,68 | 0,12 | 0,27 | 0,15 | -0,14 |
| Anwender < Median (b) | -0,64 | -0,46 | 0,14 | 0,31 | 0,09 | 0,2 |
| Anwender ≥ Median (c) | -0,36 | -0,27 | 0,18 | 0,33 | 0,1 | -0,09 |
| Test auf Unterschiede | ** | ** | * | * | * | ** |
| ab | 0,000 | 0,000 | 0,539 | 0,223 | 0,010 | 0,000 |
| ac | 0,000 | 0,000 | 0,013 | 0,051 | 0,005 | 0,447 |
| bc | 0,000 | 0,000 | 0,053 | 0,516 | 0,829 | 0,000 |

¹„Wenn es eine bessere Technik zur Wurzelunkrautbekämpfung gäbe, könnte ich weniger Glyphosat einsetzen“

Tabelle 4 fasst Einstellungen der Betriebe zu vorformulierten Statements zusammen. Zustimmung ist durch positive, Ablehnung durch negative Zahlenwerte erkennbar. Die Anwendergruppen unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer Einstellungen. Die Nichtanwender befürworten tendenziell glyphosatkritische Positionen, während die Anwender diese eher ablehnen. Auch sehen Nichtanwender eher Einsparpotenzial als die Anwender. Die deutlichsten Unterschiede zwischen den Anwendergruppen zeigen sich bei der Frage nach der Wirtschaftlichkeit. Nichtanwender sehen die Wirtschaftlichkeit ihres Betriebs weniger in Gefahr, wenn ohne Glyphosat gewirtschaftet werden müsste. Vielanwender sind hier deutlich gegenteiliger Meinung.

Diskussion

Glyphosat wird von Landwirtschaftsbetrieben sehr unterschiedlich wahrgenommen und eingesetzt. Die hier gewählte Unterteilung der Anwendergruppen gibt notgedrungen nur ein grobes Raster wieder. Die Auswertungen von SCHULTE et al. (in prep.) sowie WIESE et al. (2016) zeigen, dass Rahmenbedingungen und Motivation des Einsatzes von Glyphosat durchaus vielschichtig sein, bzw. motiviert sein können. Somit ist der Glyphosateinsatz im Normalfall ein Resultat verschiedener einflussnehmender Faktoren; in manchen Fällen aber vermutlich auch eine feste Rahmengröße im Betrieb. In diesem Zusammenhang ist der Hinweis wichtig, dass die Einordnung der Betriebe in die Kategorien „Viel“- oder „Wenig“-Anwender generell keine Einteilung in „gute“ und „schlechte“ Betriebe bedeutet und schon gar nicht eine Präjudizierung von Regelverstößen beinhaltet. Eine solche Wertung kann diesem Beitrag daher nicht entnommen werden.

Tab. 4 Persönliche Einstellungen zu Glyphosat, zum Einsatz von Glyphosat und zur betrieblichen Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Glyphosat; Antworten zu vorformulierten Statements (in „...“). **: Mann-Whitney-U-Test.

Tab. 4 *Personal attitudes towards glyphosate, glyphosate use and reliance of farm operations on glyphosate as expressed in pre-formulated statements (in “...”). **: Mann-Whitney U test.*

| Statement | „Medienkritik am Glyphosateinsatz ist gerechtfertigt“ (-2 ... +2) n=1720 | „Viele Anwendungen können ersetzt werden“ (-2 ... +2) n=1719 | „Glyphosat wird zu intensiv eingesetzt“ (-2 ... +2) n=1717 | „Glyphosateinsparungen werden durch mehr Bodenbearbeitung erreicht“ (-2 ... +2) n=1717 | „Betrieb ist auch ohne Glyphosat wirtschaftlich“ (-2 ... +2) n=1725 |
|---------------------------------|--|--|--|--|---|
| Nichtanwender (a) | 0,19 | 0,81 | 0,48 | 0,81 | 0,88 |
| Anwender < Median (b) | -0,47 | 0,13 | -0,05 | 0,38 | 0,12 |
| Anwender ≥ Median (c) | -0,65 | -0,27 | -0,22 | 0,03 | -0,44 |
| Test auf Unterschiede | ** | ** | ** | ** | ** |
| ab | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| ac | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| bc | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Dennoch ergeben sich Hinweise darauf, dass Glyphosat in den Betrieben einen unterschiedlichen Stellenwert besitzt. Insgesamt geben 23 % aller Betriebe der Stichprobe an, im Jahr 2014 ohne Glyphosat in den Anwendungen Stoppelanwendung, Vorsaatanwendung und Vorernteanwendung ausgekommen zu sein. Die Art der Fragestellung erlaubt lediglich, die „Nichtanwendung“ in diesem Sinne zu verstehen. Es ist also durchaus möglich, dass diese Betriebe in anderen Jahren bzw. unter anderen hier nicht abgefragten Bedingungen Glyphosat einsetzen. Auf der Basis einer Filterfrage unter allen 2026 Studienteilnehmern hatten lediglich 15 % der Landwirte den Glyphosateinsatz komplett verneint (SCHULTE et al., in prep.). In jedem Fall ist davon auszugehen, dass die Wirtschaftsweise der Nichtanwender ein Verzicht auf Glyphosat ermöglicht. Diese Betriebsgruppe ist gekennzeichnet durch eine unterdurchschnittliche Betriebsgröße bei überproportionalem Arbeitskräftebesatz und Einsatz des Pfluges. Offenbar investieren die Nichtanwender Arbeitszeit bevorzugt in Bodenbearbeitung. Andere ebenfalls arbeitsintensive Kenngrößen wie die Fruchtfolgediversität oder die Teilnahme an Agrarumweltprogrammen zeigen bei den Nichtanwendern eher unterdurchschnittliche Werte. Bei der Auswertung von Strukturmodellen zum Glyphosateinsatz auf regionaler Ebene (SCHULTE et al., in prep.) ist vor allem die Arbeitsrationalisierung als signifikante Einflussgröße bei der Glyphosatanwendung identifiziert worden, während die Betriebsgröße nicht so deutlich hervortrat.

Der überwiegende Teil der ausgewerteten Fragen bzw. Statements zielte auf persönliche Einschätzungen. Dies gilt in jedem Fall für die persönlichen Einstellungen, aber auch für Größen, die zwar im Prinzip messbar sind, aber vermutlich nicht jedem Betrieb vorliegen dürften. Hierunter fällt die Bodenqualität. Die Glyphosat-Vielanwender behaupten deutlicher als die anderen Gruppen, dass sich in den vergangenen Jahren eine Verbesserung der Bodenqualität eingestellt habe. Dies ist möglicherweise auf deren hohe Quote bei der nicht-wendenden Bodenbearbeitung zurückzuführen. Aus anderen Befragungen ist allerdings bekannt, dass Landwirte generell zu einer positiven Einschätzung ihrer Böden neigen (BIJTTEBIER et al., 2014).

Auch die Bemerkungen zu den Unkrautthemen sind lediglich als Einschätzungen und nicht zahlenbasiert abgefragt worden. Die Befunde sind vergleichsweise vage und lassen nur wenig Differenzierung zwischen den Anwendermustern zu, was allerdings auch ein aufschlussreiches Ergebnis ist. Das Vorkommen perennierender Unkrautarten – der klassischen Indikationen für den Einsatz nicht-selektiver Herbizide – spielt bei den Nichtanwendern eine größere Rolle als bei den Vielanwendern. Auffällig ist, dass aus den Reihen der Vielanwender die überproportional deutliche

Vermutung einer nachlassenden Wirkung bei Herbiziden geäußert wurde. Zahlreiche Betriebe, die Glyphosat zum Resistenzmanagement einsetzen (WIESE et al., 2016), fallen in diese Anwendergruppe. Hier muss Glyphosat dabei helfen, andere Defizite im Unkrautmanagement auszugleichen.

Die deutlichsten Unterschiede zwischen den Anwendergruppen finden sich bei den Ansichten zur Debatte über Glyphosat und zur Rolle von Glyphosat im Ackerbau. Landwirte sind offenbar sehr unterschiedlicher Meinung hinsichtlich der Kritik an Glyphosat sowie der Frage, ob der Glyphosateinsatz in der aktuellen Menge gerechtfertigt ist. Die Unverzichtbarkeit von Glyphosat zur Sicherung der Wirtschaftlichkeit der Betriebe wird geradezu diametral unterschiedlich gesehen, zumal die Nichtanwender leichten Herzens auf etwas verzichten können, das sie kaum anwenden. Die Ansicht der Vielanwender, die Glyphosat als wirtschaftlich sehr bedeutsam einschätzen, lässt sich weiterhin mit den Rationalisierungsbestrebungen in Einklang bringen, da sie offenbar befürchten im Falle eines Verbotes von Glyphosat wieder mehr Kapital und Arbeitszeit in Feldarbeiten investieren zu müssen.

Der Glyphosatabsatz in Deutschland wird von den Vielanwendern dominiert, da sie die größeren Behandlungsflächenanteile auf größeren Betrieben realisieren. Beratungs- und Managementkonzepte müssen somit vor allem auf diese Nutzer abgestimmt werden.

Danksagung

Das Vorhaben wurde gefördert vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft im Rahmen der Innovationsförderung (Projektträger BLE). Für die Unterstützung der Umfrage danken wir den beteiligten Fachzeitschriften, den Pflanzenschutzdiensten der Länder, den Betriebsberatungen sowie dem Bauernverband.

Literatur

- BUTTEBIER, J., G. RUYSCHAERT, R. HJBBEEK, B., RUK, M. WERNER, I.RASCHKE, H.H. STEINMANN, K. ZYLOWSKA, A. PRONK, N. SCHLATTER, G. GUZMAN, A. SYP, L. BECHINI, N. TURPIN, N. GUIFFANT, E. PERRET, N. MAUHE, C. TOQUE, L. ZAVATTARO, C. COSTMAGNA, C. GRIGNANI, T. LEHNINEN, A. BAUMGARTEN, H. SPIEGEL, A. PORTERO, T. VAN WALLEGHEM, A. PEDRERA, A. LAGUNA, K. VANDERLINDEN und V. GIRALDEZ, 2014: Farmers review of Best Management Practices: drivers and barriers as seen by adopters and non-adopters. EU Project Catch-C, Deliverable D4.422, <http://www.catch-c.eu/index.php/downloads>. Abgerufen: 6.10.2015.
- BVL – BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, VERSCH. JAHRGÄNGE: Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland.
- DICKEDUISBERG, M., H.H. STEINMANN und L. THEUVSEN, 2012: Erhebungen zum Einsatz von Glyphosat im deutschen Ackerbau. Julius-Kühn-Archiv **434**, 459-462.
- SCHULTE, M., A. WIESE, H.H. STEINMANN und L. THEUVSEN, 2016: Determinants of use of the herbicide glyphosate: Evidence from German farmers. In prep.
- STEINMANN, H.H., M. DICKEDUISBERG und L. THEUVSEN, 2012: Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. Crop Protection **42**, 162-169.
- WEUTERS, B., E. CABOOTER und N. SCHILLEWAERT, 2010: The effect of rating scale format on response styles: The number of response categories and response category labels. International Journal of Research in Marketing **27**, 236-247.
- WIESE, A., M. SCHULTE, L. THEUVSEN und H.H. STEINMANN, 2016: Anwendungen von Glyphosat im deutschen Ackerbau – Betriebliche Aspekte. Julius-Kühn-Archiv **452**, 255-262.

Anwendungen von Glyphosat im deutschen Ackerbau – Betriebliche Aspekte

Uses of glyphosate in German arable farming – operational aspects

Armin Wiese^{1*}, Michael Schulte², Ludwig Theuvsen², Horst-Henning Steinmann¹

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

²Georg-August-Universität Göttingen, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness, Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen

*Korrespondierender Autor, armin.wiese@zentr.uni-goettingen.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.035

Zusammenfassung

Glyphosat ist der in Deutschland am häufigsten eingesetzte herbizide Wirkstoff. Trotz eines hohen Stellenwertes in verschiedenen ackerbaulichen Situationen ist die agronomische Bedeutung des Wirkstoffes im Nicht-GVO-Ackerbau nach wie vor wenig erforscht. Aufgrund dessen ist im Winter 2014/2015 eine umfangreiche Erhebung unter konventionell wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt worden. Auf Basis der Umfrageergebnisse konnte mithilfe einer Cluster-Analyse ermittelt werden, wie sich Betriebstypen hinsichtlich der Glyphosatanwendungen unterscheiden. Eine Veranschaulichung von sieben verschiedenen Clustern erlaubt einen differenzierten Einblick in ackerbauliche Betriebsstrukturen. Die Betriebstypen unterscheiden sich vor allem bezüglich der Wahl zwischen konservierender und wendender Bodenbearbeitung. Analog zu dieser Differenzierung gestaltet sich auch die Intensität der Glyphosatanwendungen. Zusätzlich wird sichtbar, dass sich Cluster mit einem höheren Glyphosat-Anwendungsumfang durch einen geringeren Arbeitskräftebesatz, mehr Ackerfläche und/oder einem verstärkten Zwischenfruchtanbau charakterisieren lassen. Des Weiteren geben Betriebsgruppen mit einem intensiveren Glyphosateinsatz eher an, diesen Wirkstoff zum Resistenzmanagement zu benötigen. Die Einschätzungen der befragten Landwirte bezüglich der betriebswirtschaftlichen Bedeutung von Glyphosat variieren je nach Betriebstyp. Mithilfe der Betriebscluster können die wichtigsten Anwendungssituationen von Glyphosatherbiziden im Ackerbau weiter betriebswirtschaftlich analysiert und Szenarien für Folgenabschätzungen gebildet werden.

Stichwörter: Betriebsstrukturen, Herbizide, Stoppelanwendung, Vorsaatanwendung

Abstract

Glyphosate is the most frequently used herbicide active ingredient in Germany. Studies regarding its usage in non-GMO arable farming are still rare even though it plays an important role in several agronomic situations. Therefore, we conducted a comprehensive survey, which was carried out among conventional German farms in Winter 2014/2015. Based on the results of this survey we analyzed via cluster analysis how types of farms differ in terms of glyphosate usage. An illustration of seven clusters allows deep insights into arable farm structures. The farm types can be distinguished regarding their tillage system and similar to this differentiation also concerning their intensity of glyphosate application. Furthermore, it becomes obvious that farm clusters with a higher level of glyphosate usage are characterized by a lower number of labourers per hectare, more arable land and/or enhanced cover cropping. Moreover, groups of farmers who rely more on glyphosate are more likely to state that they need glyphosate for herbicide resistance management. Farmers' assessments of the economic importance of glyphosate usage vary depending on the type of farm. By means of the farm clusters, the most important situations of glyphosate usage can be further analyzed economically and scenarios for impact assessments can be made.

Keywords: Farm structures, herbicides, pre-sowing application, stubble application

Einleitung

Als nicht-selektives Blattherbizid ist der Wirkstoff Glyphosat 1974 erstmals zugelassen worden. Glyphosathaltige Herbizide haben sich seitdem weltweit zu den meistverkauften Pflanzenschutzmitteln entwickelt (DUKE und POWLES, 2008). In Deutschland hat Glyphosat ebenfalls einen hohen Stellenwert. Ein Anwendungsumfang von 30-40 % auf der gesamten ackerbaulich genutzten Fläche lässt darauf schließen, dass Glyphosat – insbesondere bei der konservierenden

Bodenbearbeitung – ein wichtiger Bestandteil im Ackerbaumanagement vieler Betriebe darstellt (SCHMITZ und GARVERT, 2012; STEINMANN et al., 2012).

Entgegen der intensiven, wenn auch kontrovers diskutierten Forschung zu toxikologischen Fragestellungen, ist die agronomische Bedeutung des Wirkstoffes im europäischen Ackerbau nach wie vor wenig erforscht. Für eine genauere Bewertung des Glyphosateinsatzes im deutschen Ackerbau gibt es keine ausreichenden wissenschaftlichen Grundlagen (SCHULTE und THEUVSEN, 2015; STEINMANN, 2013).

Um diese Wissenslücke zu füllen und weitere Erkenntnisse zum Glyphosateinsatz zu gewinnen, ist im Winter 2014/2015 eine umfangreiche Erhebung unter konventionell wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt worden. In diesem Beitrag werden erste deskriptive Ergebnisse zum Anwendungsumfang dargestellt. Auf Basis der abgefragten Items wurde darüber hinaus untersucht, inwiefern sich Glyphosatanwendungen in das sonstige Ackerbaumanagement einbetten. Mithilfe einer Cluster-Analyse ist darum der Frage nachgegangen worden, inwiefern sich Betriebstypen hinsichtlich der Anwendung von Glyphosat unterscheiden.

Material und Methoden

Die Daten aus der vorliegenden Studie stammen aus einer im Winter 2014/2015 durchgeführten und auf Fragebögen basierenden Erhebung zum Glyphosateinsatz im deutschen Ackerbau. Im Anschreiben der Befragung waren gezielt konventionell wirtschaftende Betriebe angesprochen worden. Die Umfrage konnte sowohl online als auch per Brief beantwortet werden. Für eine breite Streuung des Fragebogens wurden verschiedene Wege genutzt. Dazu zählen mehrere regionale und überregionale landwirtschaftliche Fachzeitschriften und Email-Verteiler von Pflanzenschutzdiensten, Betriebsberatungen und Bauernverbänden. Zudem wurden 1000 Landwirte aus den Ausbildungsregistern der Länder per Post angeschrieben. Insgesamt haben 8023 Landwirte den Online-Fragebogen angeklickt oder per Brief einen Fragebogen erhalten. Nach einer Datenbereinigung standen 2026 ausgefüllte Fragebögen für weitere Auswertungen zur Verfügung. Der Fragebogen beinhaltete 38 Fragekonstrukte zu verschiedenen betriebsstrukturellen Aspekten, die auf den Glyphosateinsatz einwirken können. Neben offenen und metrischen Frageformen, wurden fachliche Einschätzungen der Befragten zu wichtigen ackerbaulichen Aspekten anhand einer fünfstufigen Likertskalierung (-2 = trifft ganz und gar nicht zu, -1 = trifft nicht zu, 0 = teils/teils, 1 = trifft zu, +2 = trifft voll und ganz zu) abgefragt.

Die Teilnehmer der Befragung bewirtschaften größtenteils Ackerbaubetriebe (49 %), während sich 21,5 % als Gemischtbetriebe, 17 % als Veredlungsbetriebe, 9,8 % als Milchviehbetriebe, 0,9 % als Dauerkulturbetriebe und 1,8 % als Sonstige bezeichnen. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer beträgt 47 Jahre und 79,1 % der befragten Betriebe werden im Haupterwerb bewirtschaftet. Die durchschnittliche landwirtschaftliche Nutzfläche (LNF) aller teilnehmenden Betriebe beträgt 279,4 Hektar (ha) (Median: 95 ha), der Anteil der gepflügten Ackerfläche 31,8 %. Somit ist die durchschnittliche Betriebsgröße in dieser Umfrage höher und der „Pfluganteil“ niedriger als im Bundesdurchschnitt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011; STATISTISCHES BUNDESAMT, 2014). Aufgrund der Besonderheiten der Datengewinnung handelt es sich zwar nicht um eine repräsentative Erhebung, wohl aber um ein sogenanntes Convenience Sample (FOWLER, 2002) und damit um eine für sozioökonomische Studien geeignete Datenquelle. Ein Bestandteil des analytischen Teils dieser Auswertung sind acht elementare Betriebsstrukturmerkmale. Tabelle 1 listet diese Variablen mit den entsprechenden Mittelwerten auf.

Tab. 1 Variablen der analytischen Auswertung mit Mittelwerten (n = 2026).**Tab. 1** Variables of the analytical analysis with means (n=2026).

| Merkmal | Mittelwert | Merkmal | Mittelwert |
|-----------------------------------|------------|---|------------|
| Anteil gepflügter Fläche (%) | 31,8 | Anteil Zwischenfruchtanbau auf AF (%) | 10,7 |
| Ak (Arbeitskraft) je 100 ha (LNF) | 0,9* | Anteil Sommerfruchtaktivierung auf AF (%) | 25,6 |
| Ackerfläche (AF) in ha | 258,1 | Shannon-Index | 1,46 |
| Ackerzahl | 47,5 | Complexity-Index | 0,92 |

*umgerechnet von 110,8 ha (LNF) / Ak

Innerhalb des Variablen-Spektrums befinden sich zwei Index-Werte zur Darstellung der Anbauvielfältigkeit: der Shannon-Index und der Complexity-Index. Der Shannon-Index ist ein Diversitäts-Index und misst die Fruchtartenvielfältigkeit eines Betriebes in einem Jahr. Die Berechnung erfolgte anhand der in der Anbausaison 2013/2014 angebauten Früchte und deren Anbauumfang (SPELLERBERG und FEDOR, 2003). Betriebe mit einem diversen Anbauspektrum haben einen höheren Indexwert. Aus diesem Wert geht jedoch nicht der Wechsel zwischen verschiedenen Fruchtarten hervor. Daher ist basierend auf den drei wichtigsten Fruchtfolgen der befragten Betriebe ein „Fruchtwechsel“-Index berechnet worden. Die einzelnen Fruchtfolgefelder wurden in vier Kategorien umcodiert. Es erfolgte zunächst eine Differenzierung zwischen Halm- und Blattfrüchten. Auf Basis dieser Fruchtartengruppen wurde weiterhin zwischen Sommerungen und Winterungen unterschieden. Unter Zuhilfenahme der Statistiksoftware R und der Erweiterung TraMinEr konnte schließlich der Complexity-Index nach GABADINHO et al. (2011) angewandt werden. Dieser Index berücksichtigt sowohl die Länge der Fruchtfolge als auch die Anzahl der Wechsel zwischen den genannten Kategorien. Die Index-Werte hinsichtlich der Fruchtfolgen dieses Datensatzes liegen zwischen 0 (z. B. Maisdaueranbau) und 1,91.

Einige Fragen – insbesondere zu den Fruchtfolgen – wurden nicht vollständig ausgefüllt oder waren nicht auswertbar, woraufhin sich der Datensatz für den analytischen Teil der Auswertung auf 1628 Betriebe reduziert. Die Variablen im Datensatz wurden zunächst einer Faktorenanalyse unterzogen und dienten der Cluster-Analyse dann als Input-Variablen. Da im vorliegenden Datensatz miteinander korrelierende Variablen vorlagen, konnte mit der Faktorenanalyse eine Gleichgewichtung erreicht werden. Im selben Zuge fand eine Reduzierung auf eine geringe Anzahl aussagekräftiger Variablen statt. Als Resultat wurden zusammenhängende Variablen in Faktoren gebündelt. Die Umsetzung erfolgte unter Anwendung der Hauptkomponentenmethode mit anschließender Varimax-Rotation (BACKHAUS et al., 2000). Die daraus resultierenden Faktorwerte wurden als Grundlage für die Cluster-Analyse genutzt, wobei hierarchische und partitionierende Verfahren miteinander kombiniert wurden (KETCHEN und SHOOK, 1996). Zunächst wurden mit Hilfe einer explorativen Single-Linkage Cluster-Analyse 13 Ausreißer entfernt (PUNJ und STEWART, 1983), woraufhin auf Basis des Ward-Algorithmus und unter Zuhilfenahme des Elbow-Kriteriums sowie zusätzlicher Plausibilitätsüberlegungen die optimale Cluster-Anzahl bestimmt werden konnte. Mit den gewonnenen Informationen erfolgte die Umsetzung der Clusterung mithilfe des k-Means-Algorithmus (HAIR et al., 2006; BACKHAUS et al., 2000).

Ergebnisse

Die Anwendungsmengen der jeweiligen Glyphosat-Anwendungsbereiche werden in der Tabelle 2 dargestellt. Die Stoppelbehandlung ist die bedeutendste Anwendung und wurde im Anbaujahr 2013/2014 auf 22,2 % der gesamten ackerbaulich genutzten Fläche appliziert, gefolgt von der Vorsaatanwendung (12,7 %). Die Vorerntebehandlung hat die geringste Bedeutung und wird nur auf 2,2 % der Ackerfläche angewendet. Hochrechnungen auf Kulturflächen ergeben ebenfalls deutliche Unterschiede (Tab. 3). Während Winterweizen, Mais, Leguminosen und Wintergerste auf ca. einem Drittel der Fläche mit Glyphosat behandelt werden, liegt der Anteil behandelter Fläche bei Winterraps (71,5 %) und Zuckerrüben (48,4 %) wesentlich höher.

Tab. 2 Durchschnittliche behandelte Ackerfläche der drei verschiedenen Glyphosatanwendungen (% der Ackerfläche im Mittel der Betriebe, n = 2026, 2013/2014).

Tab. 2 *Average arable land treated with three different kinds of glyphosate usages (% of arable land, n=2026, 2013/2014).*

| Anwendung | beh. AF (%) |
|------------------------------|-------------|
| Stoppel | 22,2 |
| Vorsaat | 12,7 |
| Vorernte | 2,2 |
| ges. beh. Ackerfläche | 37,1 |

Tab. 3 Durchschnittliche behandelte Fläche wichtiger Ackerbaukulturen (% der Kulturfäche im Mittel der Betriebe, n = 2026, 2013/2014).

Tab. 3 *Average treated area of major field crops (% of crop area, n=2026, 2013/2014).*

| Feldfrucht | beh. Fläche (%) | Feldfrucht | beh. Fläche (%) |
|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| Winterraps | 71,5 | Winterweizen | 30,9 |
| Zuckerrübe | 48,4 | Mais | 27,0 |
| Wintergerste | 32,9 | Leguminosen | 26,4 |

Tabelle 4 fasst die Ergebnisse der Faktoren- und der Clusteranalyse zusammen. Im Rahmen der Faktorenanalyse sind vier Faktoren mit Eigenwerten >1 extrahiert worden, wobei nur Variablen mit Faktorladungen von mindestens 0,4 berücksichtigt wurden. Der erste Faktor beschreibt den Anbau von Zwischenfrüchten und Frühjahrskulturen. Der zweite Faktor setzt sich aus den miteinander korrelierenden Variablen Arbeitskräftebesatz, Pfluganteil und dem Anteil der Stoppel- und Vorsaat-anwendung von Glyphosat auf der betrieblichen Ackerfläche zusammen. Faktor 3 beinhaltet die Variablen der Fruchtarten- und Fruchtfolgevielfältigkeit, während der vierte Faktor die Rahmenbedingungen unter denen der Betrieb wirtschaftet beschreibt (Ackerfläche und Bodengüte). Der Anteil der mit Glyphosat als Vorernteanwendung behandelten Ackerfläche konnte im Rahmen der Faktorenanalyse keine ausreichend hohe Faktorladung erreichen und ist deswegen aus der Analyse ausgeschlossen worden. Im Nachgang der Analyse werden die Cluster-Mittelwerte dieser Variable aufgeführt. Die Faktoren erklären insgesamt 62,59 % der Varianz aller berücksichtigten Variablen und eine Diskriminanzanalyse bestätigte eine Klassifizierungsgenauigkeit der im Folgenden beschriebenen Cluster-Analyse von 90,5 %.

Für eine aufschlussreiche Ausdifferenzierung der vorhandenen Betriebsstrukturen erscheint eine 7-Clusterlösung als bestmöglich geeignet. Zum besseren Verständnis wurden alle Cluster jeweils mit einer Charakterisierung versehen. Die Aufeinanderfolge der Cluster erfolgt nach dem Anteil der gepflügten Ackerfläche, welche von A bis G abnimmt. Für die Betriebe in den Clustern A, B und C spielt der Pflug noch eine wichtige Rolle, während in den Clustern D, E, F und G die konservierende Bodenbearbeitung überwiegt. Einfachheitshalber werden die Cluster A, B und C in den weiteren Ausführungen als „Pflüger“ und die übrigen Cluster als „Konservierer“ bezeichnet.

Tab. 4 Ergebnisse der Faktorenanalyse und Charakterisierung der Betriebscluster (n = 1615).

Tab. 4 Results of factor analysis and characterization of farm clusters (n=1615).

| | Cluster A | Cluster B | Cluster C | Cluster D | Cluster E | Cluster F | Cluster G |
|--|-------------------|--|---|--|-----------------|---|----------------------------|
| Charakterisierung der Betriebe | "Kleine Betriebe" | "Pfluglastige Betriebe mit einseitigen Fruchtfolgen" | "Pfluglastige Betriebe mit diversen Fruchtfolgen" | "Betriebe mit sommerungslastigen Fruchtfolgen" | "Groß-Betriebe" | "Mulchsaatbetriebe auf Gunststandorten" | "Rationalisierte Betriebe" |
| N = Anzahl der Betriebe | 300 | 393 | 251 | 160 | 116 | 230 | 165 |
| Faktor 1 | | | | | | | |
| ZW*** (FL=0,853) | 28,9 | 5,7 | 20,9 | 42,6 | 7,9 | 21,7 | 5,4 |
| SO*** (FL=0,809) | 48,7 | 14,7 | 37,1 | 52,8 | 24,1 | 32,1 | 12,9 |
| Faktor 2 | | | | | | | |
| PF*** (FL=-0,724) | 79,7 | 62,8 | 58,4 | 30,6 | 30,1 | 27,3 | 14,6 |
| VS*** (FL=0,711) | 3,4 | 4,7 | 4,9 | 34,3 | 6,8 | 20,5 | 29,8 |
| AK*** (FL=0,524) | 2,5 | 1,5 | 1,7 | 1,6 | 0,9 | 1,3 | 0,7 |
| ST*** (FL=0,522) | 6,7 | 9,6 | 6,5 | 13,3 | 30,6 | 8,1 | 34,8 |
| Faktor 3 | | | | | | | |
| CI*** (FL=0,824) | 0,59 | 0,62 | 1,2 | 0,83 | 1,05 | 1,08 | 0,77 |
| SI*** (FL=0,793) | 1,1 | 1,19 | 1,56 | 1,15 | 1,66 | 1,27 | 1,18 |
| Faktor 4 | | | | | | | |
| AZ*** (FL=-0,827) | 37,8 | 55,4 | 46,2 | 44,3 | 40,4 | 67,8 | 52,1 |
| HA*** (FL=0,478) | 67,7 | 113,7 | 156,1 | 121 | 1600,7 | 161,3 | 405,4 |
| Cluster beschreibende Variablen | | | | | | | |
| VE | 1 | 1,4 | 1 | 1,7 | 2,5 | 1,3 | 2 |
| Erosion ^{1***} | -0,25 | -0,46 | -0,12 | 0,27 | 0,28 | 0,19 | 0,02 |
| Resistenz ^{1***} | -0,5 | -0,1 | -0,31 | 0,19 | 0,46 | 0,1 | 0,89 |
| Erfolg ^{1***} | 0,37 | 0,22 | 0,25 | -0,36 | -0,64 | -0,06 | -0,72 |

Faktor 1 = (ZW/SO) Anteil mit Zwischenfrüchten bzw. Sommerfrüchten kultivierte Ackerfläche (%)

Faktor 2 = (VS) Vorsaatsbehandlung (%), (PF) Pfluganteil (%), (AK) Ak je 100 ha - umgerechnet von ha/Ak -, (ST) Stoppelbehandlung (%)

Faktor 3 = (CI) Complexity-Index, (SI) Shannon-Index

Faktor 4 = (AZ) Ackerzahl, (HA) Ackerfläche in Hektar

VE = Vorernteanwendung

Erosion = "Die Erosionsanfälligkeit des Bodens beeinflusst die Form der Bewirtschaftung"

Resistenz = "Ich wende Glyphosat gezielt an, um Resistenzen im Ackerbau zu vermeiden"

Erfolg = "Auch ohne Glyphosat werde ich die bisherigen betriebswirtschaftlichen Ergebnisse erzielen"

¹Skala von +2 Trifft voll und ganz zu bis -2= Trifft ganz und gar nicht zu

Erklärte Gesamtvarianz = 62,59%; Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium = 0,628; FL=Faktorladung

Signifikanzniveaus der Mittelwertvergleiche (ANOVA):

* = p≤0,05, ** = p≤0,01, *** = p≤0,001;

(Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung)

Analog zu dieser Differenzierung gestaltet sich auch die Intensität der Glyphosatanwendungen: Die „Konservierer“ wenden in der Summe aus Stoppel-, Vorsaats- und Vorernteanwendung mehr Glyphosat an. Darüber hinaus bewirtschaften Betriebe in den Mulchsaat-Clustern E, F und G tendenziell mehr Ackerfläche und haben einen geringeren Arbeitskräftebesatz. Die Cluster „Kleine Betriebe“ und „Betriebe mit sommerungslastigen Fruchtfolgen“ weisen hohe Sommerungsanteile auf und die Cluster C, E und F verfügen über eine höhere Anbauvielfältigkeit.

Clusterbeschreibende Variablen sind unter anderem Erosionsschutz, Herbizidresistenzen und Betriebserfolg. Der genaue Wortlaut dieser Statementvariablen wird ebenfalls in der Tabelle 4

aufgeführt. Auch bezüglich dieser Items können die „Pflüger“ und „Konservierer“ – in unterschiedlichem Ausmaß – voneinander abgegrenzt werden. Insbesondere „Rationalisierte Betriebe“ und „Großbetriebe“ sind eher auf Glyphosat zur Aufrechterhaltung der bisherigen betriebswirtschaftlichen Ergebnisse angewiesen. Des Weiteren sehen vor allem die „Rationalisierten Betriebe“ eine Notwendigkeit darin, Glyphosat einzusetzen, um Herbizidresistenzen entgegen zu wirken.

Diskussion

Mit der vorliegenden Studie ist es erstmals möglich, Glyphosatanwendungsmuster im betrieblichen Kontext zu analysieren. Die verwendete Analyseverfahren hatte das Ziel, verschiedene Betriebstypen hinsichtlich des Glyphosateinsatzes zu ermitteln. Die hohe Anzahl von Clustern ist ein Hinweis auf diverse und zusätzlich heterogene Betriebsstrukturen in der deutschen Landwirtschaft. Es werden Wechselwirkungen zwischen Glyphosatanwendungen und betrieblichen Eigenschaften sichtbar. Vor allem der Trend zur Minimalbodenbearbeitung steigert den Aufwand glyphosathaltiger Herbizide. Damit bestätigt und ergänzt diese Studie frühere Untersuchungen. Nach STEINMANN et al. (2012) würden bei einem Verzicht auf Glyphosat die Anzahl der Bodenbearbeitungsgänge und der Pfluganteil ansteigen. Auch in der vorliegenden Studie wird klar, dass der Glyphosateinsatz mit der Art und Anzahl der Bodenbearbeitung interagiert. So setzen die beschriebenen „Pflug“-Cluster deutlich weniger Glyphosat ein als die „Konservierer“. Des Weiteren unterstreicht diese Studie, dass die reduzierte Bodenbearbeitung auch eine Frage des Standortes ist, denn es setzen schwerpunktmäßig Betriebe mit mehr Ackerfläche auf diese Wirtschaftsweise. Es wäre aber zu kurz gegriffen, den Glyphosateinsatz allein von diesen Faktoren abzuleiten. Betriebe mit einer höheren Glyphosat-Anwendungsintensität lassen sich zusätzlich durch einen niedrigeren Ak-Besatz oder einem verstärkten Zwischenfruchtanbau charakterisieren (vgl. SCHULTE et al., in prep.).

Auch die Rahmenbedingungen, innerhalb der die verschiedenen Arten der Glyphosatbehandlungen angewendet werden, unterscheiden sich erheblich. Die Vorsaatanwendung wird häufig flankierend zur Kultivierung von Sommerungen durchgeführt, welche eher auf den mittelgroßen Mulchsaatbetrieben (Cluster D und F) in dieser Studie relevant sind. Demgegenüber haben auch die „Rationalisierten Betriebe“ mit einem sehr geringen Sommerfruchtanteil einen erhöhten Bedarf nach dieser Anwendung – vermutlich zur Unterstützung von Herbiziden, die vermeintlich bereits an Wirkung verloren haben. Die Stoppelanwendung hingegen scheint grundsätzlich stärker mit der Betriebsgröße und dem Winterfruchtanteil zu interagieren. Eine genauere Analyse dieser Anwendung ist anhand der Ergebnisse nicht möglich, zumal auch starke Wechselwirkungen mit anderen Faktoren wie der Art der angebauten Winterkulturen naheliegend sind.

Eine Auswirkung der Anbauvielfältigkeit auf die Intensität der Glyphosat-Anwendungen ist nicht abzuleiten. So weisen auf der einen Seite die Cluster mit einem geringeren Glyphosateinsatz (Cluster A und B) und auf der anderen Seite Cluster mit dem intensivsten Glyphosateinsatz (Cluster D und G) geringere Anbauvielfältigkeitsindizes auf. Gleichwohl fällt auf, dass der Cluster „Großbetriebe“ eine höhere Anbaudiversität aufweist, was aus pflanzenbaulicher Sicht positiv zu bewerten ist. Kleine Betriebe verfügen, entgegen dem Klischee, nicht per se über diversere Fruchtfolgen. Möglicherweise ist in diesen Gruppen die Nebenerwerbsquote hoch, was zu vereinfachter Betriebsstruktur führen kann.

Der intensivste Glyphosateinsatz ist auf den „Rationalisierten Betrieben“ (auf ca. 67 % der AF) zu verzeichnen. Ein Mittelwert von ca. 15 % gepflügter Fläche weist darauf hin, dass der Pflug auf diesen Betrieben kaum noch angewendet wird oder schon komplett durch Mulchsaattechnik ersetzt worden ist. Gleichzeitig besteht auf diesen Betrieben ein Bedarf danach, Glyphosat einzusetzen um Resistenzen vorzubeugen. Dies weist auf bereits vermutete Herbizid-Minderwirkungen hin (WIESE et al., 2016). Diese Betriebe erwarten bei einem Glyphosatverzicht ernste wirtschaftliche Konsequenzen. Es steht die Frage zur Diskussion, ob vor allem die

Einstellung des Betriebsleiters, die Betriebsgröße oder ein Fachkräftemangel in der deutschen Landwirtschaft für das Management auf diesem Betriebstyp bestimmend sind (vgl. SCHULTE et al., in prep.).

Im Vergleich mit einer ersten Erhebung zum Glyphosateinsatz im Winter 2010/2011 (STEINMANN et al., 2012) ist der Gesamtanwendungsumfang nahezu unverändert geblieben. Die Vorernteanwendung ist nach wie vor eine Spezialmaßnahme. Durch Anwendungseinschränkungen sowie Beratungsempfehlungen konnte die Einsatzmenge auf einem niedrigen Niveau gehalten werden. Die vorliegende Studie zeigt einerseits die Bedeutung von Glyphosat für Betriebe mit einem Fokus auf Minimalbodenbearbeitung, andererseits wird auch die große Diversität der Betriebssituationen sichtbar, in denen Glyphosat angewendet wird. Auch innerhalb der Cluster verhalten sich nicht alle Betriebe in der gleichen Weise. So sind die Glyphosatanwendungsmuster nach wie vor sehr individuell. Wie in einem weiteren Beitrag in diesem Band gezeigt wird, wendet ein Teil der Betriebe gar kein Glyphosat an (WIESE et al., 2016). Einige Items aus dieser Studie beruhen auf persönlichen Einschätzungen der Landwirte. Daher kann nicht ausgeschlossen werden, dass Landwirte die Bedeutung von Glyphosat auch überschätzen und mehr als notwendig einsetzen. Aber auch Experten fehlen belastbare Daten. Das Fehlen aussagekräftiger pflanzenbaulicher Studien zu Anwendungen von Glyphosat über längere Zeiträume und auch hinsichtlich seiner Ertragswirkungen erschwert betriebswirtschaftliche Kalkulationen und Folgenabschätzungen. Mithilfe der Betriebscluster können die wichtigsten Anwendungssituationen von Glyphosatherbiziden im Ackerbau weiter betriebswirtschaftlich analysiert und auch Szenarien für Folgenabschätzungen gebildet werden. Für einen herbiziden Wirkstoff mit einer 40 Jahre langen Anwendungsgeschichte und einer derart großen Bedeutung gibt es noch erstaunlich viele Unklarheiten.

Danksagung

Das Vorhaben wurde gefördert vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft im Rahmen der Innovationsförderung (Projekträger BLE). Für die Unterstützung der Umfrage danken wir den beteiligten Fachzeitschriften, den Pflanzenschutzdiensten der Länder, den Betriebsberatungen sowie dem Bauernverband.

Literatur

- BACKHAUS, K., B. ERICHSON, W. PLINKE und R. WEIBER, 2000: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 9. Auflage, Springer.
- DUKE, S.O. und S.B. POWLES, 2008: Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science* **64** (4), 319-325.
- FOWLER, F.J., 2002: *Survey Research Methods*. Sage, Thousand Oaks, CA.
- GABADINHO, A., G. RITSCHARD, N.S. MÜLLER und M. STUDER, 2011: Analyzing and Visualizing State Sequences in R with TraMineR. *Journal of Statistical Software* **40** (4), 1-37.
- HAIR, J.F., B. BLACK und B. BABIN, 2006: *Multivariate Data Analysis*. 6. Edition, New York, Pearson/Prentice Hall.
- KETCHEN, D.J. und C.L. SHOOK, 1996: The application of cluster analysis in strategic management research: an analysis and critique. *Strategic Management* **17**, 441-458.
- PUNJ, S. und D.W. STEWART, 1983: Cluster Analysis in Marketing Research: Review and Suggestions for Application. *Journal of Marketing Research* **20** (2), 134-148.
- SPELLERBERG, I.F. und P.J. FEDOR, 2003: A tribute to Claude Shannon (1916-2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the "Shannon-Wiener" Index. *Global Ecology and Biogeography* **12**, 177-179.
- SCHMITZ, P.M. und H. GARVERT, 2012: Die ökonomische Bedeutung des Wirkstoffs Glyphosat für den Ackerbau in Deutschland. *Journal für Kulturpflanzen* **64**, 150-162.
- SCHULTE, M., A. WIESE, H.H. STEINMANN und L.THEUVSEN, 2016, in prep.: Determinants of use of the herbicide glyphosate: Evidence from German farmers.
- SCHULTE, M. und L. THEUVSEN, 2015: Der ökonomische Nutzen von Herbiziden im Ackerbau unter besonderer Berücksichtigung von Glyphosat. *Journal für Kulturpflanzen* **67**, 269-279.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011: *Landwirtschaft auf einen Blick*, Wiesbaden.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2014: *Statistisches Jahrbuch 2014*, Kapitel 19: Land- und Forstwirtschaft. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/LandForstwirtschaft.pdf;jsessionid=676EE521FA0EBAABF323A24A930442F5.cae1?__blob=publicationFile. Abgerufen: 1.10.2015.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

STEINMANN, H.-H., 2013: Glyphosat – ein Herbizid in der Diskussion und die Suche nach dem „Notwendigen Maß“. *Gesunde Pflanzen* **65** (2), 47-56.

STEINMANN, H.-H., DICKEDUISBERG, M. und L. THEUVSEN, 2012: Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. *Crop Protection* **42**, 164-169.

WIESE, A., SCHULTE, M., THEUVSEN, L. und H.-H. STEINMANN, 2016: Anwendungen von Glyphosat im Ackerbau – Herbolgische und ackerbauliche Aspekte. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 249-254.

Bestimmungsfaktoren für regionale Unterschiede in der Glyphosat-Intensität im Ackerbau Norddeutschlands

Influencing factors on regional differences in glyphosate use in North German arable farming

Sabine Andert*, Jana Bürger, Bärbel Gerowitt

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Phytomedizin, Universität Rostock,
Satower Straße 48, 18051 Rostock

*Korrespondierende Autorin, sabine.andert@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.036

Zusammenfassung

Glyphosat ist der weltweit meist verwendete Herbizidwirkstoff. Die hohen Anwendungsmengen von Glyphosat führen jedoch zur kritischen Betrachtung des Wirkstoffes in Gesellschaft, Politik und Wissenschaft.

In der vorliegenden Studie wurde der Glyphosat-Einsatz im Ackerbau von jeweils 15 Betrieben in vier Regionen in Norddeutschland über einen Zeitraum von zehn Jahren (2005 bis 2014) ermittelt und es wurden Bestimmungsfaktoren für den Einsatz analysiert. Die Betriebsstrukturen und natürlichen Produktionsbedingungen (Boden, Klima) unterscheiden sich zwischen den Regionen (Diepholz, Uelzen, Fläming, Oder-Spree).

Zur Auswertung der Glyphosat-Maßnahmen wurde der Indikator Behandlungsindex (BI) verwendet. Der Zusammenhang zwischen den betrieblichen Managementfaktoren und der Glyphosat-Intensität wurde mittels multipler Regressionen analysiert.

Die Glyphosat-Intensität unterscheidet sich zwischen den betrachteten Regionen und den untersuchten Fruchtarten deutlich. Die Betriebe in den östlichen Regionen (Fläming und Oder-Spree) wendeten signifikant höhere Mengen an Glyphosat auf. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass die Variabilität der Glyphosat-Intensität hauptsächlich durch den Faktor „Betrieb“ beeinflusst wird. Es konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von Glyphosat stark von Bodenbearbeitung, Betriebsart, Betriebsgröße und Arbeitskräftebesatz abhängig ist.

Häufiger Glyphosat Einsatz und nicht wendende Bodenbearbeitung traten besonders häufig auf groß strukturierten Betrieben in den östlichen Regionen auf. Daraus wird geschlussfolgert, dass diese Betriebe entweder aufgrund klimatischer Gegebenheiten oder wirtschaftlicher Zwänge ihre Anbausysteme anpassen.

Stichwörter: Ackerbau, Behandlungsindex, Glyphosat-Intensität, Statistische Erhebungen

Abstract

Glyphosate is the worldwide mostly used herbicide substance. Glyphosate use in arable cropping is under strong discussion in scientific and public communities.

In the present study, we investigated the use of glyphosate from 15 farms in four districts in North German arable farming from 2005 until 2014. Objective of our research is to reveal influencing factors on glyphosate use intensity. The farm structures differ between two West districts (Diepholz, Uelzen) and two East districts (Fläming, Oder-Spree).

We used the Standardised Treatment Index (STI) to quantify pesticide use intensity. We used multiple regressions to estimate the relationship between farm characteristics and glyphosate use.

Glyphosate use intensity differs substantially between the study districts and crops. Farmers in the Eastern districts (Fläming and Oder-Spree) used significantly larger amounts of glyphosate. We further proved that the variability of glyphosate use was mainly influenced by the factor "Farm". Moreover, we could show that glyphosate use is significantly influenced by the factors tillage, farm type, farm size and on-farm labour.

Non-inversion tillage and glyphosate use co-occurrences mainly on large farms in the East German districts. Hence, we conclude that these farms either regionally adapt their cropping systems due to climatic reasons or for economic profit.

Keywords: Arable farming, glyphosate use intensity, standardised treatment index (STI), statistical surveys

Einleitung

Glyphosat (N-(phosphonomethyl)glycin) ist der weltweit meist verwendete Herbizidwirkstoff (European Commission, 2007; DUKE und POWLES, 2008; EPA, 2012). In Deutschland hat sich der Einsatz von Glyphosat zwischen 1999-2010 um 100 % erhöht (STEINMANN et al., 2013). Der gesamtwirtschaftliche Nutzen durch den Glyphosat-Einsatz in Deutschland, durch Einsparungen anderer landwirtschaftlicher Maßnahmen, wie Bodenbearbeitung und den Einsatz von Nachauflauf-Herbiziden, wird auf 79-202 Millionen Euro pro Jahr geschätzt, abhängig vom Glyphosat-Preis (STEINMANN et al., 2012).

Die hohen Anwendungsmengen von Glyphosat führen jedoch zur kritischen Betrachtung des Wirkstoffes in Gesellschaft, Politik und Wissenschaft, diese Interessengruppen fordern stärkere Reglementierungen (WEERSINK et al., 2005; DUKE und POWLES, 2008; PAGANELLI et al., 2010).

Studien beschreiben den großen betrieblichen und wirtschaftlichen Nutzen von Glyphosat in der Betriebs- und Anbauplanung (COOK et al., 2010; STEINMANN et al., 2012). Nicht-wendende Bodenbearbeitung wird häufig durch den Einsatz von Glyphosat auf einer Fläche kompensiert (NAIL et al., 2007; STEINMANN et al., 2012).

In der vorliegenden Studie werden Bestimmungsfaktoren für den Glyphosat-Einsatz im Ackerbau untersucht. Es wird angenommen, dass regionale Unterschiede in den Produktionsstrukturen unterschiedliche Glyphosat-Intensitäten bedingen. Weiterhin werden mögliche Faktoren im Betrieb fokussiert, die in Verbindung mit höheren oder niedrigeren Glyphosat-Intensitäten stehen.

Material und Methoden

Es wurden Daten zum Glyphosat-Einsatz aus vier Regionen Norddeutschlands untersucht (ANDERT et al., 2015). Im Rahmen des Projektes "Nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland (NaLaMa-nT)" wurde die Intensität der Pflanzenschutzmittel-Anwendungen in den Regionen Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree über einen zehnjährigen Untersuchungszeitraum (2005-2014) analysiert. Die Regionen, die sich auf einem West-Ost-Transekt befinden, unterscheiden sich voneinander deutlich in ihren natürlichen Produktionsbedingungen, wie Klima und Boden, sowie in den strukturellen Betriebseigenschaften.

In jeweils 15 Betrieben der Regionen Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree (Abb. 1) wurden über den Zeitraum von 2005 bis 2014 Daten zum Einsatz von glyphosathaltigen Pflanzenschutzmitteln aller Schläge erfasst. Es wurden ca. 20.000 Schläge mit 15.000 Glyphosatmaßnahmen der Kulturen Wintergerste (*Hordeum vulgare* L.), Winterweizen (*Triticum aestivum* L.), Winterroggen (*Secale cereale* L.), Winterraps (*Brassica napus* L.) und Mais (*Zea mays* L.) erfasst.

Darüber hinaus wurden Angaben der Betriebe zur Betriebsgröße, Ackerfläche, Betriebsart, Rechtsform, Arbeitskräftebesatz, Entscheidungsträger und Beratung dokumentiert. Die Bereitstellung der Daten durch die Betriebe erfolgte auf freiwilliger Basis.

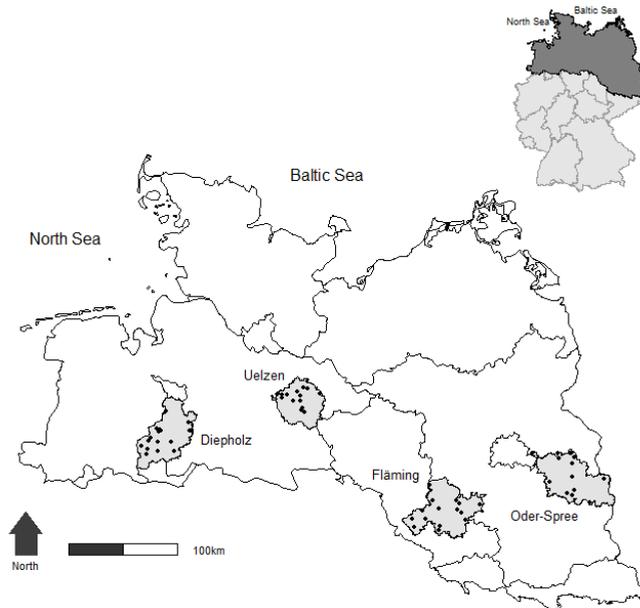


Abb. 1 Geografische Lage der Standorte der landwirtschaftlichen Betriebe in den vier Regionen Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree in Norddeutschland.

Fig. 1 Locations of farms in the four districts Diepholz, Uelzen, Fläming and Oder-Spree in the lowlands of Northern Germany.

Zur Darstellung und zum Vergleich der Glyphosat-Intensitäten wurde der Indikator Behandlungsindex (BI) verwendet (ROSSBERG et al., 2002). Der Behandlungsindex eines Schläges in einem Erntejahr wird aus allen Behandlungen mit glyphosathaltigen Herbiziden berechnet, Maßnahmen zwischen Saat und Ernte werden der nachfolgenden Kultur angerechnet. Der Glyphosat-BI eines Betriebes errechnet sich aus dem arithmetischen, flächengewichteten Mittel aller Schläge über den Erhebungszeitraum. Dieses Verfahren weicht geringfügig vom Verfahren NEPTUN 2000 ab. Dort wurde der Betriebsmittelwert aus dem einfachen arithmetischen Mittel der berechneten Behandlungsindices der jeweiligen Untereinheiten errechnet (ROSSBERG et al., 2002).

Alle Auswertungen wurden mittels linearen gemischten Modellen durchgeführt, in denen der BI-Glyphosat_{fj} die Glyphosat-Intensität eines Feldes (f) in einem Jahr (j) darstellt, μ ist der Erwartungswert, \mathcal{E}_{fj} ist der Fehlerterm.

Das Modell zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Regionen und dem BI lautet:

$$\text{BI-Glyphosat}_{fj} = \mu + R_j + k_j + \mathcal{E}_{fj} \quad (1)$$

R beschreibt den fixen Effekt der Region im Jahr (j). k_j ist der zufällige Effekt von Bedingungen im Jahr j.

Der Zusammenhang zwischen den Betriebsfaktoren und dem BI-Glyphosat wird durch das nachfolgende Modell dargestellt.

$$\text{BI-Glyphosat}_{fj} = \mu + F1_{fj} + F2_{fj} + \dots + k_j + l_r + \mathcal{E}_{ijkl} \quad (2)$$

F1, F2, etc. beschreiben die fixen Effekte der betrieblichen Faktoren eines Feldes (f) im Jahr (j). k_j ist der zufällige Effekt von jährlichen Bedingungen im Jahr j, l ist der zufällige Effekt von regionalen Bedingungen in der Region r.

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit der Softwareumgebung R (R Core Team, 2014) und darin mit den Paketen 'polycor' (Fox, 2015) und 'lme4' (BATES et al., 2015).

Ergebnisse

Tabelle 1 stellt dar, dass die untersuchten Fruchtarten in unterschiedlichem Maße mit Glyphosat behandelt werden. Die winterannuellen Getreidearten sind die Fruchtarten mit der höchsten eingesetzten Glyphosatmenge.

Die Glyphosat-Intensität unterscheidet sich ebenfalls deutlich zwischen den betrachteten Regionen in den untersuchten Fruchtarten (Tab. 1). Die Betriebe in den östlichen Regionen (Fläming und Oder-Spree) wendeten signifikant höhere Mengen an Glyphosat auf als die Betriebe der westlichen Regionen (Diepholz und Uelzen).

Tab. 1 Glyphosat-Intensität in Wintergerste, Winterweizen, Winterroggen, Winterraps und Mais. BI = Behandlungsindex, beschreibt mittlere Glyphosat-Intensität der Region Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree im Zeitraum 2005-2014, sd = Standardabweichung. Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalten signalisieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Regionen.

Tab. 1 *Glyphosate use in winter barley, winter wheat, winter rye, winter oilseed rape and maize. Mean Standardised Treatment Index (STI) per district between 2005-2014 in Diepholz, Uelzen, Fläming and Oder-Spree. Sd: standard deviation. Different letters in a column represent significant differences ($p < 0.05$) between the districts.*

| Region | Wintergerste | | Winterweizen | | Winterroggen | | Winterraps | | Mais | |
|------------|-------------------------|-----|-------------------------|-----|-------------------------|-----|-------------------------|-----|-------------------------|-----|
| | BI | sd |
| Diepholz | 0,2 ^c | 0,4 | 0,2 ^b | 0,5 | 0,0 ^b | 0,1 | 0,0 ^b | 0,1 | 0,0 ^c | 0,1 |
| Uelzen | 0,1 ^c | 0,3 | 0,1 ^b | 0,3 | 0,1 ^b | 0,3 | 0,0 ^b | 0,1 | 0,1 ^b | 0,3 |
| Fläming | 0,3 ^b | 0,6 | 0,3 ^a | 0,6 | 0,3 ^a | 0,6 | 0,1 ^a | 0,3 | 0,2 ^a | 0,4 |
| Oder-Spree | 0,4 ^a | 0,6 | 0,3 ^a | 0,6 | 0,1 ^b | 0,3 | 0,2 ^a | 0,5 | 0,1 ^b | 0,3 |

Tabelle 2 fasst die Auswirkungen der geprüften Betriebsfaktoren auf die Glyphosat-Intensität zusammen. Die Betriebseigenschaften, die Region und das Jahr erklären zusammen 56-71 % der Varianz der Glyphosat-Intensität im Datensatz. Im Modell jeder Fruchtart waren alle zu prüfenden Faktoren enthalten, die nachfolgend beschriebenen Effekte wurden gleichzeitig nachgewiesen.

Als Einflussfaktoren auf den Einsatz von Glyphosat wurden in allen Fruchtarten die Faktoren Bodenbearbeitung, Betriebsart, Betriebsgröße sowie Arbeitskräftebesatz identifiziert. Nichtwendende Bodenbearbeitung erhöht signifikant den Glyphosat-Einsatz. Ackerbaubetriebe weisen signifikant höhere Glyphosat-Intensitäten als Gemischtbetriebe auf, mit Ausnahme der Kultur Mais. Weiterhin beeinflusst eine steigende Betriebsgröße den Glyphosat-BI signifikant positiv. Hingegen sinkt die Glyphosat-Intensität mit steigendem Arbeitskräftebesatz signifikant, wiederum mit Ausnahme von Mais.

Die Varianzkomponenten des Modells zeigen, dass die Betriebseinflüsse auf die Glyphosat-Intensität größer sind als die Regions- und Jahreseffekte.

Tab. 2 Einflussfaktoren auf den Glyphosat-Behandlungsindex der Kulturen Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps und Mais. Die Faktoren Rechtsform, Beratung, Verantwortlicher für Pflanzenschutz-Entscheidungen sowie dessen Berufserfahrung wurden geprüft und waren nicht signifikant. Unterschiedliche Buchstaben zwischen zwei Effektstufen signalisieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Tab. 2 Influencing factors on glyphosate treatment frequency index of winter wheat, winter barley, winter rye, winter rape and maize. The factors organization form, consulting, responsible person for pesticide use decisions and whose professional experience have been tested and were not significant. Different letters between effects represent significant differences ($p < 0.05$) between the districts.

| | Winterweizen | Wintergerste | Winterroggen | Winterraps | Mais |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Erklärte Varianz durch das Modell | 65 % | 69 % | 71 % | 60 % | 56 % |
| Anteil der fixen Faktoren an der erklärten Varianz durch das Modell | 19 % | 12 % | 11 % | 21 % | 10 % |
| Feste Effekte | BI (sd) | | | | |
| Bodenbearbeitung | | | | | |
| Wendend | 0,30 ^a (0,3) | 0,10 ^a (0,4) | 0,10 ^a (0,3) | 0,17 ^a (0,2) | 0,10 ^a (0,1) |
| Nicht wendend | 0,50 ^b (0,3) | 0,50 ^b (0,4) | 0,40 ^b (0,4) | 0,24 ^b (0,2) | 0,50 ^b (0,5) |
| Betriebsart: | | | | | |
| Ackerbaubetrieb | 0,60 ^b (0,4) | 0,40 ^b (0,3) | 0,25 ^b (0,2) | 0,30 ^b (0,3) | 0,20 ^a (0,2) |
| Gemischtbetrieb | 0,30 ^a (0,3) | 0,20 ^a (0,3) | 0,15 ^a (0,1) | 0,16 ^a (0,2) | 0,50 ^b (0,4) |
| Betriebsgröße: | | | | | |
| > 2500 ha | 0,50 ^b (0,3) | 0,35 ^b (0,2) | 0,30 ^b (0,3) | 0,28 ^b (0,3) | 0,25 ^a (0,2) |
| < 2500 ha | 0,20 ^a (0,2) | 0,20 ^a (0,2) | 0,15 ^a (0,1) | 0,14 ^a (0,2) | 0,40 ^b (0,3) |
| Arbeitskräftebesatz: | | | | | |
| > 1,0 | 0,20 ^a (0,2) | 0,20 ^a (0,2) | 0,10 ^a (0,1) | 0,16 ^a (0,2) | 0,20 ^a (0,2) |
| < 1,0 | 0,60 ^b (0,4) | 0,35 ^b (0,3) | 0,25 ^b (0,2) | 0,30 ^b (0,3) | 0,35 ^b (0,2) |
| Zufällige Effekte | Varianz (sd) | | | | |
| - Region | 0,05 (0,2) | 0,10 (0,3) | 0,05 (0,2) | 0,00 (0,0) | 0,10 (0,3) |
| - Betrieb | 0,30 (0,5) | 0,20 (0,4) | 0,30 (0,5) | 0,20 (0,5) | 0,20 (0,5) |
| - Jahr | 0,10 (0,3) | 0,10 (0,3) | 0,20 (0,4) | 0,10 (0,3) | 0,10 (0,3) |
| - Residual | 0,10 (0,3) | 0,30 (0,5) | 0,20 (0,4) | 0,10 (0,3) | 0,20 (0,4) |

Diskussion

Es wurde ein umfangreicher Datensatz zum Einsatz von Glyphosat in verschiedenen Regionen Norddeutschlands analysiert. Die Ergebnisse belegen regionale Unterschiede in der Glyphosat-Intensität im Ackerbau. Ergebnisse von ANDERT et al. (2015) zeigen Unterschiede in der Intensität des gesamten Pflanzenschutzmittel-Einsatzes in den betrachteten Regionen Norddeutschlands. Jedoch wurde in dieser Studie ein entgegengesetzter räumlicher Gradient in der Intensität der ausgebrachten Pflanzenschutzmittel ermittelt. Im Gegensatz zum Gesamt-Pflanzenschutzmittel-Einsatz steigt der Glyphosat-Einsatz von West nach Ost an. Dies lässt sich auf Unterschiede in den Produktionsstrukturen der Betriebe zwischen den östlichen und westlichen Regionen zurückführen.

Die Bedeutung des einzelnen Betriebes für die Glyphosat-Intensität, übergeordnet über die regionalen Anbaubedingungen, wurde nachgewiesen. Es konnten Unterschiede in den Betriebseigenschaften und Managementstrategien aufgezeigt werden, die Einfluss auf die Verwendung von Glyphosat nehmen. Doch welche Betriebsfaktoren der östlichen Regionen führen nun zu einem erhöhten Einsatz von Glyphosat in den Regionen Fläming und Oder-Spree?

Ergebnisse von HAMMOND et al. (2006) beschreiben die Betriebsgröße als einen wesentlichen Einflussfaktor auf die Gesamt-Pflanzenschutz-Intensität. Die vorliegenden Ergebnisse belegen ebenfalls, dass die Betriebsgröße den Glyphosat-BI signifikant beeinflusst. Mit zunehmender Betriebsgröße steigt die Glyphosat-Intensität an. Regionsübergreifend steigt in allen untersuchten

Kulturen die Glyphosat-Intensität signifikant mit sinkendem Arbeitskräftebesatz der Betriebe. Übereinstimmend zu vorangegangenen Studien wird auch bestätigt, dass nicht-wendende Bodenbearbeitung häufig durch den Einsatz von Glyphosat kompensiert wird (NAIL et al., 2007; COOK et al., 2010; STEINMANN et al., 2012). Nicht-wendende Bodenbearbeitung wird häufig auf flächenstarken Betrieben in den östlichen Regionen Deutschlands durchgeführt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2014). Auf größeren Betrieben in den östlichen Regionen werden arbeitsintensive Managementmaßnahmen wie Bodenbearbeitung durch Herbizidmaßnahmen substituiert (GÜNTHER und PALLUTT, 2008) oder Arbeitsspitzen werden mit zusätzlichen Pflanzenschutz-Maßnahmen abgefangen, wenn andere Maßnahmen nicht termingerecht durchgeführt werden können (GLEN, 2000; HESLER et al., 2005; BÜRGER et al., 2012). Dies deutet auf veränderte Produktionssysteme und daraus entstehende arbeitswirtschaftliche Zwänge hin. Glyphosat ist nicht nur ein Herbizid, sondern vor allem auch ein Ackerbauinstrument (STEINMANN et al., 2012).

Darüber hinaus wurde eine signifikant höhere Glyphosat-Intensität der spezialisierten Ackerbaubetriebe im Vergleich zu den viehhaltenden Gemischtbetrieben ermittelt. Dies wurde für den Gesamt-Pflanzenschutzmittel-Einsatz auch von anderen Autoren beobachtet (JØRGENSEN et al., 2009; AOUDI et al., 2015). Jedoch gilt dieser Effekt nicht pauschal für alle untersuchten Fruchtarten. Vermutlich führt die verschiedene Verwendung einer Frucht zu differenziertem Glyphosat-Einsatz. Mais wird intensiver in Gemischtbetrieben behandelt, während die winterannuellen Getreidearten sowie Winterraps intensiver mit Glyphosat in Ackerbaubetrieben behandelt werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Ackerbaubetriebe stärker als Gemischtbetriebe Arbeitsspitzen in den Produktionsverfahren der winterannuellen Kulturen durch den Einsatz von Glyphosat substituieren.

Es wird bestätigt, dass nicht-wendende Bodenbearbeitung den Glyphosat-Einsatz signifikant steigert, dies trifft in besonderem Maße auf groß strukturierte Betriebe in den ostdeutschen Regionen zu. Es konnte jedoch nicht abschließend geklärt werden, wie diese Zusammenhänge verursacht werden. Es können ökonomische oder klimatische Gründe vorherrschen, die zu einem höheren Glyphosat-Einsatz führen. Möglich ist auch, dass Landwirte in den östlichen Regionen Bodenschutz und Bodenqualität stärker fokussieren, deshalb die Bodenbearbeitung reduzieren und mehr Glyphosat einsetzen.

Die Zusammenhänge zwischen den niedrigeren betrieblichen Arbeitskapazitäten und den signifikant höheren Glyphosat-Intensitäten deuten jedoch stark auf wirtschaftliche Aspekte in Bezug auf den Einsatz von Glyphosat im Ackerbau hin.

Danksagung

Das Projekt "Nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland (NaLaMa-nT)" wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Projekt-Nr.: 033L029E) gefördert. Besonderer Dank gilt den 60 Landwirten aus den Regionen Diepholz; Uelzen, Fläming und Oder-Spree, die durch die Bereitstellung Ihrer Betriebsdaten diese Arbeit ermöglicht haben. Julia Prüter und Pauline Riebe gilt ebenfalls Dank für die ersten Auswertungen zum Glyphosat-Einsatz in Ihrer Studienarbeit.

Literatur

- ANDERT, S., J. BÜRGER und B. GEROWITT, 2015: On-farm pesticide use in four Northern German regions as influenced by farm and production conditions. *Crop Protection* **75**, 1-10.
- AOUDI, N., J.N. AUBERTOT, J. CANEILL und N. MUNIER-JOLAIN, 2015: Analyzing the impact of the farming context and environmental factors on cropping systems: A regional case study in Burgundy. *European Journal of Agronomy* **66**, 21-29.
- BATES, D., M. MAECHLER, B. BOLKER und S. WALKER, 2015: Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software* **67**, 1-48.
- BÜRGER, J., A. GÜNTHER, F. DE MOL und B. GEROWITT, 2012: Analysing the influence of crop management on pesticide use intensity while controlling for external sources of variability with Linear Mixed Effects Models. *Agricultural Systems* **11**, 13-22.
- COOK, S., S. WYNN und J. CLARKE, 2010: Glyphosate a necessary herbicide. How valuable is Glyphosate to UK agriculture and environment? *Outlooks on Pest Management*, 280-283.
- DUKE, S.O. und S.B. POWLES, 2008: Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science* **64**, 319-325.

- EPA, 2012. Pesticide Industry Sales and Usage. <http://www.epa.gov/opp00001/pestsales/>.
- EUROPEAN COMMISSION, 2007. The Use of Plant Protection Products in the European Union. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>.
- FOX, J., 2015: polycor: Computes polychoric and polyserial correlations by quick "two-step" methods or ML, optionally with standard errors; tetrachoric and biserial correlations are special cases. <http://cran.r-project.org/web/packages/polycor/polycor.pdf>.
- GLEN, D., 2000: The effects of cultural measures on cereal pests and their role in integrated pest management. *Integrated Pest Management. Review* **5**, 25-40.
- GÜNTHER, A. und B. PALLUTT, 2008: Investigations of intensity of herbicide treatment in winter wheat in six arable farms and considerations about needed minimum. *Journal of Plant Diseases and Protection. Special Issue XXI*, 547-554.
- HESLER, L., W. RIEDELL und M.O.S. LANGHAM, 2005: Insect infestations, incidence of viral plant diseases, and yield of winter wheat in relation to planting date in the northern Great Plains. *Journal of Economic Entomology* **98**, 2020-2027.
- JØRGENSEN, L.N., E. NOE, G.C. NIELSEN, J.E. JENSEN, J.E. ØRUM und H. PINNSCHMIDT, 2009: Problems with disseminating information on disease control in cereals to farmers. *European Journal of Plant Pathology* **121**, 303-312.
- NAIL, E.L., D.L. YOUNG und W.F. SCHILLINGER, 2007: Diesel and glyphosate price changes benefit the economics of conservation tillage versus traditional tillage. *Soil Tillage Research* **94**, 321-327.
- PAGANELLI, A., V. GNAZZO, H. ACOSTA, S.L. LOPEZ and A.E. CARRASCO, 2010: Glyphosatebased herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signaling. *Chemical Research in Toxicology* **23**, 1586-1596.
- R CORE TEAM, 2014: R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- ROSSBERG, D., V. GUTSCHE, S. ENZIAN und M. WICK, 2002: NEPTUN 2000 – Survey into Application of Chemical Pesticides in Agricultural Practice in Germany. Reports from BBA **98**.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2014: Bodennutzung der Betriebe (Struktur der Bodennutzung) - Agrarstrukturerhebung - Fachserie 3 Reihe 2.1.2.
- STEINMANN, H.H., M. DICKEDUISBERG und L. THEUVSEN, 2012: Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. *Crop Protection* **42**, 164-169.
- STEINMANN, H.H., 2013: Glyphosat – ein Herbizid in der Diskussion und die Suche nach dem „Notwendigen Maß“. *Gesunde Pflanzen* **65**, 47-56.
- WEERSINK, A., R.S. LLEWELLYN und D.J. PANNELL, 2005: Economics of pre-emptive management to avoid weed resistance to glyphosate in Australia. *Crop Protection* **24**, 659-665.

Exploring the effects of glyphosate products on weed composition

Untersuchung des Einflusses von Glyphosat auf Unkrautzusammensetzungen

Laurie Anne Koning*, David Sefzat, Bärbel Gerowitt

University of Rostock, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences,
Crop Health Department, Satower Straße 48, 18059 Rostock, Germany

*Corresponding author, laurie.koning@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.037

Abstract

Glyphosate is a non-selective, broad-spectrum, systematic herbicide that is the world's most widely used herbicide since its introduction in the 1970s as a pre-plant, post-directed and post-harvest herbicide application with further technological developments leading to its use within glyphosate resistant crops (GRCs) as of the 1990s. In countries around the world, weed shifts have accompanied weed management systems employing glyphosate products. The farmer actions and weed reactions that have contributed to these weed shifts will be discussed. Evidence of glyphosate-induced weed shifts has not yet been documented in Germany, but through consideration of the conditions that have lead to glyphosate-induced weed shifts elsewhere the outlook for Germany will be assessed. An ongoing research project will be introduced in which weed monitoring is being employed to find out if glyphosate-induced weed shifts can be identified in northeastern German arable farm fields and in which field experiments are also being conducted to further explore the reactions of weed communities and populations under the intensive application of glyphosate products.

Keywords: Arable farming, Germany, glyphosate, weed shift

Zusammenfassung

Glyphosat ist ein nicht-selektives, breit wirksames Blattherbizid mit systemischer Wirkung, das sich, seit seiner Einführung als Vorsaats-, Voraufbau und Nach-Ernte-Herbizid in den 1970er Jahren zu dem weltweit am häufigsten eingesetzten Herbizid entwickelt hat. Weitergehende technologische Entwicklungen führten in den 1990er Jahren zum Einsatz in genetisch veränderten Kulturpflanzen. Anbauverfahren unter Verwendung von Glyphosat haben weltweit zu Veränderungen der Artenzusammensetzung von Unkräutern geführt. In der vorliegenden Arbeit werden Managementfaktoren sowie die darauffolgenden Unkrautreaktionen diskutiert. In Deutschland sind aktuell noch keine Veränderungen der Artenzusammensetzung von Unkräutern bekannt, doch durch die Betrachtung der Faktoren, die anderswo zu veränderten Artenzusammensetzungen geführt haben, soll ein Ausblick für Deutschland gegeben werden. Es wird ein laufendes Forschungsprojekt vorgestellt, in dem mögliche Veränderungen der Unkrautflora durch Bonituren ermittelt werden. Innerhalb des Projektes werden außerdem Feldexperimente durchgeführt, die die Reaktionen von Unkrautgesellschaften und Populationen auf intensiven Glyphosateinsatz eruieren.

Stichwörter: Ackerbau, Deutschland, Glyphosat, Veränderung der Artenzusammensetzung

Introduction

Glyphosate is a non-selective, broad-spectrum, systematic herbicide that has become the world's most widely used herbicide since its introduction in the 1970s as a pre-plant, post-directed and post-harvest herbicide application with further technological developments leading to its use within glyphosate resistant crops (GRCs) as of the 1990's. In countries around the world, weed shifts have accompanied weed management systems employing glyphosate products. CULPEPPER (2006) attributed the weed shifts in the United States to the combination of a rise in conservation tillage and a high reliance on glyphosate products for weed management while the use of residual herbicides declines, leading to more weeds tolerant to glyphosate and weeds that emerge after glyphosate application. The causes behind glyphosate-related weed shifts have also been attributed to evolved resistance (HEAP, 2014), the selection of species (community level) and biotypes (population level) that are naturally resistant (NANDULA et al., 2005), plants strategically avoiding glyphosate with their germination and development timing (HILGENFIELD et al., 2004) and

the growth of species that are attracted to reduced tillage farm management systems (SWANTON et al., 1999).

There is currently a heavy reliance on chemical management in European arable farming. Non-chemical options exist, but need to be improved through research and actually implemented by farmers (MELANDER et al., 2013). Weed shifts are ultimately not avoided through tillage management schemes; rather, other species are selected for, as shown by TUESCA et al. (2001) in a long-term study of different tillage systems. Weed selection is constantly taking place in arable farming, from the crop rotation (if existent) and choice of crop sowing date to weed management through either various degrees of tillage or herbicide applications (with the accompanying choice of application time, frequency, and dose), or both. The maintenance of diversity in weed management, e.g., herbicide rotations, sequences, combinations of robust rates of different modes of action and non-chemical weed control, has been proposed as the key to sustaining glyphosate as an effective weed management tool (POWLES, 2008).

In contrast to the monoculture wheat and corn belts of North America, it is still common in German arable farming to employ a crop rotation, even if only containing two crops. The main crops in Germany are winter wheat, winter barley, winter oilseed rape, sugar beet and legumes, with the portion of corn on the rise.

Glyphosate resistant weeds around the world tend to be found on fields where glyphosate products have a history of being applied with great frequency (e.g., 2-3 times per year) (COLLAVO and SATTIN, 2014). As of November 2015, Germany does not have any recorded cases of glyphosate resistant weeds (HEAP, 2015). In crops equipped with glyphosate resistance it is possible to apply glyphosate products even after crop growth has begun. In Germany, glyphosate application on agricultural land is restricted to stubble, pre-sowing and pre-harvest time periods since glyphosate resistant crops are not permitted to be grown (BMEL, 2015). While not allowed on agricultural lands, in-crop application in Germany does take place between the rows of perennial crops, such as in orchards, in vineyards and on grasslands. German regulations for the use of glyphosate products are strict. Current regulations, updated with tightened measures in May 2014, only permit two applications a year separated by a time span of 90 days. A maximum of 3.6 kg a.i. per hectare per year may be used. Siccation is only permitted on partial field areas when a harvest would otherwise be hindered by weeds; it may not be employed to steer the harvest date or optimize threshing (BVL, 2014).

Two recent farmer questionnaires conducted by a research group based in Göttingen, Germany (STEINMANN et al., 2012; KONING et al., 2015) both show that glyphosate products are applied on the greatest percent of crop area to the stubble, followed by at pre-sowing time, and finally at pre-harvest time (68.1, 20.7 and 11.2% and 22.7, 12.8, and 2.4%, respectively). The effect of the stronger siccation regulations recently enacted are evidenced in the farmer responses as it appears that an immense reduction in stubble applications took place between 2009 and 2014 (reference years of STEINMANN et al., 2012; KONING et al., 2015).

Although weed shifts in general are an unavoidable companion to agriculture, weed shifts based on the use of glyphosate products may be postponed for the foreseeable future in Germany due to the implementation of crop rotations, lack of GRCs, and strict glyphosate application regulations that keep German farmers from applying amounts that have proven elsewhere to lead to glyphosate-induced weed shifts.

Many recent publications have focused on detecting how glyphosate affects plants on a molecular level and how application leads to resistance (VILA-AIUB et al., 2013), while other studies highlight glyphosate-induced weed shifts occurring in agricultural systems where glyphosate resistant crops are grown (CERDEIRA et al., 2011). Our study contributes to glyphosate research by taking an ecological approach to assessing the effect of glyphosate on plant communities and populations, as well as looking for signs of glyphosate-induced weed shifts in Germany's non-GRC agricultural

landscape. The methods of two experiments and a monitoring are presented including preliminary results from the first and second year of experimenting.

Materials and Methods

Weed monitoring

Weeds are monitored in commercial winter wheat fields of northeastern Germany with the goal of determining if certain weed species have greater presences in fields where no herbicides are used, any herbicide active ingredient other than glyphosate is used, or glyphosate products are used at low, medium, or high intensities. Glyphosate product use intensity classes are created for the fields sampled in the monitoring relative to the field histories that date back 5 to 10 years. Weeds are monitored twice a year with the same fields being visited in the second period as were monitored in the first period: in the month leading up to the winter wheat harvest (i.e. July) and while the field is being prepared for the next crop, preferably after a round of tillage has instigated fresh germination (i.e. late August until late September). Each of three profiles per field is 2-by-50 meters in size and weed densities at the species level are scored in classes. Monitoring takes place on around 50 unique fields per year for three consecutive years. Data acquisition is in progress.

Weed community experiment

An experiment in Latin Square Design on a research field with a naturally occurring weed population and no crop has been set up to study the weed community composition under the influence of four different management tools employed twice a year (June and August):

- 100% of the manufacturer's recommended glyphosate product dose (1080 g a.i./ha for fields without *Elymus repens*, Glyfos Supreme, Cheminova Deutschland GmbH),
- 50% of the recommended dose,
- chisel ploughing and
- mouldboard ploughing.

Plots measure 5 x 6 meters. Weed richness, density and cover (after Braun-Blanquet with a scale of 1 to 5 but excluding r and +) are recorded at the outset of the growing season (June) and approx. 9 weeks after each treatment (August and October) with ten 0.1 m² random sample sub-plots per plot. The field was grassland up until four years prior the current experiment when it became the location of various arable farming experiments that were managed mechanically and chemically. In the fall of 2013 the field was tilled with a mouldboard plough and in the spring of 2014 harrowing broke up and smoothed the soil surface as preparation for the current experiment. In March of 2015, after one experimental season, the field was re-set for the second season by mulching the biomass in the glyphosate-treated plots and managing all of the experimental plots with a rotary harrow. The experiment runs for three consecutive years, with results currently available for the first two years.

Weed population experiment

A field experiment under semi-natural conditions in a randomized block design is being conducted to evaluate the effect of applying glyphosate product doses reduced from the manufacturer's recommended dose (1080 g a.i./ha for fields without *Elymus repens*, Glyfos Supreme, Cheminova) at which a portion of a sown weed population survives to produce seeds. Two appropriate doses for each weed species were determined in greenhouse bioassays prior to outdoor application. The reproductive success of four weed species, *Arabidopsis thaliana* (thale cress), *Lolium multiflorum westerwoldicum* (westerwold ryegrass), *Papaver rhoeas* (field poppy) and *Senecio vulgaris* (common groundsel), are being followed over two to three generations. The parent seeds do not have a history of being exposed to glyphosate herbicides. Sowing takes place in 1 m² plots at densities of 10000 seeds/m² for *A. thaliana* and *P. rhoeas* while *L. multiflorum* and *S.*

vulgaris are sown at 1000 seeds/m². The presence of additional, naturally growing vegetation in the plots is not prohibited, but is kept to a moderate level through mechanical weeding so as to encourage strong growth of the target plants while at the same time not inhibiting their success. The glyphosate product application occurs once a year for each species: *A. thaliana* at the rosette stage in early spring, *L. multiflorum* just prior to tillering in early summer, *P. rhoeas* at 1-6 true leaves in early summer and *S. vulgaris* at 1-6 true leaves in late summer. The number of plants growing prior to the herbicide treatment, the number of seed-bearing plant components, e.g., inflorescences, capsules and pods that develop after treatment, in addition to the number of seeds produced are recorded as measures of reproductive success. This paper will only evaluate the germination rates of the parent and F1 generations. Germination rates were calculated by dividing the number of seedlings before herbicide application by the number of seeds initially sown. Additionally, a difference in germination rate was determined by subtracting the germination rate of the F1 generation from the germination rate of the parent generation.

Results

Weed community experiment

After two seasons, the results of the weed community experiment have been evaluated for weed richness, density, taxonomic representation (dicotyledon and monocotyledon), and Raunkiaer lifeform representation. An overview of the 2014 and 2015 survey data with the species presence/absence data from all four treatments compiled under the respective survey session shows high similarities between the two seasons (Tab. 1). Total richness saw a greater decrease from the first to second and third surveys in 2015 than in 2014, but the 2015 average contained only three species less the 2014 average. The share of monocot and dicots recorded at each session show a similar trend in both years with the dicot portion increasing steadily over the course of the season. Raunkiaer lifeforms presented a much greater contrast in therophyte dominance over hemicryptophytes in 2014 compared to 2015, but the two years showed agreement in the low contributions of geophytes and chamaephytes to the weed communities.

Tab. 1 Overview of 2014 and 2015 survey data with all four treatments data compiled into survey sessions.

Tab. 1 Übersicht der Vegetationsaufnahmedaten aus 2014 und 2015 mit allen vier Behandlungen nach Vegetationsaufnahmetermin zusammengestellt.

| Season | Total Richness | Monocot Species | Dicot Species | Raunkiaer Lifeforms* T-H-G-C (%) |
|---------|----------------|-----------------|---------------|----------------------------------|
| 2014 | | | | |
| June | 52 | 8 (15%) | 44 (85%) | 63-27-8-2 |
| August | 51 | 7 (14%) | 44 (86%) | 61-31-6-2 |
| October | 51 | 5 (10%) | 45 (90%) | 52-38-8-2 |
| 2015 | | | | |
| June | 54 | 9 (17%) | 45 (83%) | 48-44-6-2 |
| August | 45 | 7 (16%) | 38 (84%) | 44-44-9-2 |
| October | 46 | 6 (13%) | 40 (87%) | 48-41-9-2 |

*Raunkiaer Lifeforms: T-Therophyte H-Hemicryptophyte G-Geophyte C-Chamaephyte

The cover classes of the living vegetation recorded in the 2015 season show a common trend over all the treatments for a mid-summer low in cover (Fig. 1). Management with the chisel plough lead to the highest cover at the first and second surveys but the 100% glyphosate treatment had a slightly higher cover at the time point of the third survey. The plots managed with the mouldboard plough consistently had the lowest cover at each survey session.

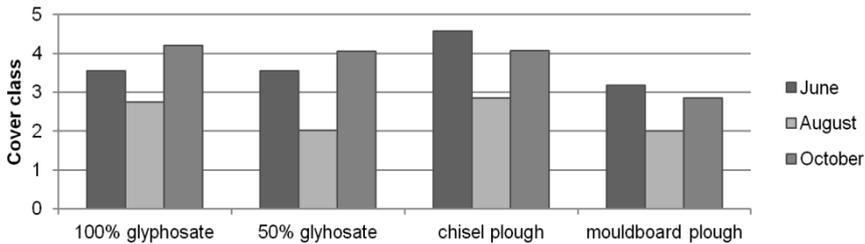


Fig. 1 Cover classes of the living vegetation for the 2015 season (surveys in June, August and October) sorted in the bar graph by treatment.

Abb. 1 Deckungsgrad der vitalen Vegetation für die Saison 2015 (Vegetationsaufnahme in Juni, August und Oktober), sortiert nach den Behandlungen in dem Balkendiagramm.

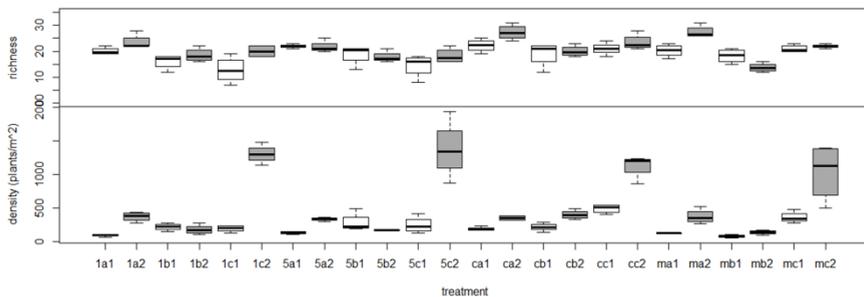


Fig. 2 Box-and-whisker plots for the 2014 (white boxes) and 2015 (dark grey boxes) field seasons showing the species richness of the treatments (1 = 100% recommended glyphosate dose, 5 = 50% recommended glyphosate dose, c = chisel plough and m = mouldboard plough) and the species density (plants/m²) at the time of the three vegetation surveys (a, b and c conducted in June, August and October of each year, respectively).

Abb. 2 Box-Whisker-Plots der Feldsaisons 2014 (weiße Boxen) und 2015 (dunkelgraue Boxen) sortiert nach Behandlung (1 = 100 % der empfohlenen Glyphosataufwand, 5 = 50 % der empfohlenen Glyphosataufwand, c = Grubber und m = Pflug) Artenreichtum und Gesamtdichte der Arten (Pflanzen/m²) aus drei Vegetationsaufnahmen (a, b und c durchgeführt jeweils in Juni, August und Oktober in jedem Jahr).

Species richness had a total range of 7 to 31 species, but each treatment average over the course of the season was around 20 species. Species density remained within a 0-500 plants/m² range until the third survey in the second season when the density jumped to a maximum of nearly 1500-2000 plants/m² in each treatment. An evaluation of the species richness and density with the aid of box-and-whisker plots shows a tendency for richness and density to decrease in the middle of the summer (i.e. August) and increase again in the fall (i.e. October) (Fig. 2, season 1 is white and season 2 is dark grey). Exceptions to this tendency in the case of richness were the 100% and 50% glyphosate treatments in season one in which the richness constantly declined over the course of the three surveys. As for density, in the first season only the mouldboard plough treatment followed the above mentioned trend while the other treatments lead to constant rises in density over the course of the three surveys. In the second season only the chisel plough treatment diverged from the above mentioned trend and constantly increased in density.

An evaluation of the survey data for the three species with the highest frequency for each treatment at each survey in the first two seasons of the experiment produces the following species list in alphabetical order: *Arabidopsis thaliana*, *Capsella bursa-pastoris*, *Cerastium fontanum*,

Crepis/Lactuca spp., *Elymus repens*, *Fallopia convolvulus*, *Matricaria chamomilla*, *Poa annua*, *Stellaria media*, *Trifolium spp.* (predominantly the perennial *Trifolium hybridum*), and *Viola arvensis*. In a visual inspection of the frequency bar charts (Fig. 3), it is evident that high frequencies are maintained throughout both seasons for *Trifolium spp.* in the 100% and 50% glyphosate treatments. While the 100% glyphosate treatment has *Trifolium spp.* in the top three highest frequencies in six of six surveys and the 50% glyphosate treatment and the mouldboard plough management both have it in four of six surveys, the chisel plough management only had *Trifolium spp.* in the top three highest frequencies in two of six surveys. Unique to the plots under chisel plough management was the high frequency of the perennial *C. fontanum* with it being the second most frequent in four of six surveys.

Weed population experiment

Due to the complexity of each species' response to the conditions of the experiment, this paper will only look at the germination rates of the parent and F1 generations in the experimental field (Tab. 2). Germination rates for *A. thaliana* and *S. vulgaris* are only yet available for the parent generation, but these rates serve as a vital foundation for comparisons with the following generations.

Tab. 2 Germination rates in the weed population experiment.

Tab. 2 Keimraten aus den Unkrautpopulationsversuch.

| | Germination Rate (%) | | Difference in germination rate* |
|-----------------------------|----------------------|---------------|---------------------------------|
| | Parent Generation | F1 Generation | |
| <i>Arabidopsis thaliana</i> | | | |
| Control | 1.19 | NA | NA |
| 1/16 dose | 0.79 | NA | NA |
| 1/8 dose | 0.78 | NA | NA |
| <i>Lolium multiflorum</i> | | | |
| Control | 28.58 | 24.85 | 3.73 |
| ¼ dose | 31.38 | 14.93 | 16.45 |
| ½ dose | 25.28 | 5.23 | 20.05 |
| <i>Papaver rhoeas</i> | | | |
| Control | 4.73 | 2.74 | 1.99 |
| 1/16 | 2.48 | 1.96 | 0.52 |
| 1/8 | 2.58 | 0.52 | 2.06 |
| <i>Senecio vulgaris</i> | | | |
| Control | 36.78 | NA | NA |
| 1/16 | 39.60 | NA | NA |
| 1/8 | 41.15 | NA | NA |

*Difference in germination rate = Parent generation – F1 generation

The untreated parent generations of *L. multiflorum* and *S. vulgaris* germinated at relatively stable rates with ranges of 25.28 to 31.38% and 36.78 to 41.15%, respectively. Much greater ranges occurred in the *A. thaliana* and *P. rhoeas* untreated parent generations with 0.78 to 1.19% and 2.48 to 4.73%, although really only the control groups set themselves apart from the other two treated groups in the case of both species. Germination rates of the F1 generation are only available at this time for *L. multiflorum* and *P. rhoeas*, but even in this one aspect of reproductive success, the species do not follow the same trend. As expected, the germination rate notably decreased between the parent and F1 generation for *L. multiflorum* as the glyphosate dose increased. In contrast, the control and higher glyphosate dose (1/8 dose) of *P. rhoeas* show a similar difference in germination rate (1.99 and 2.06, respectively) while the lower glyphosate dose (1/16) had a

much greater loss in germination rate (0.52). Germination rates of the F2 generation of both species will demonstrate whether these species-specific trends continue.

Discussion

Within the framework of Germany's flora, environmental conditions, pesticide use regulations, crop regulations (e.g. non-GRC), and farmer management choices, we are investigating the possible existence and likelihood of a weed shift in northern German arable farming through weed monitoring and field experiments.

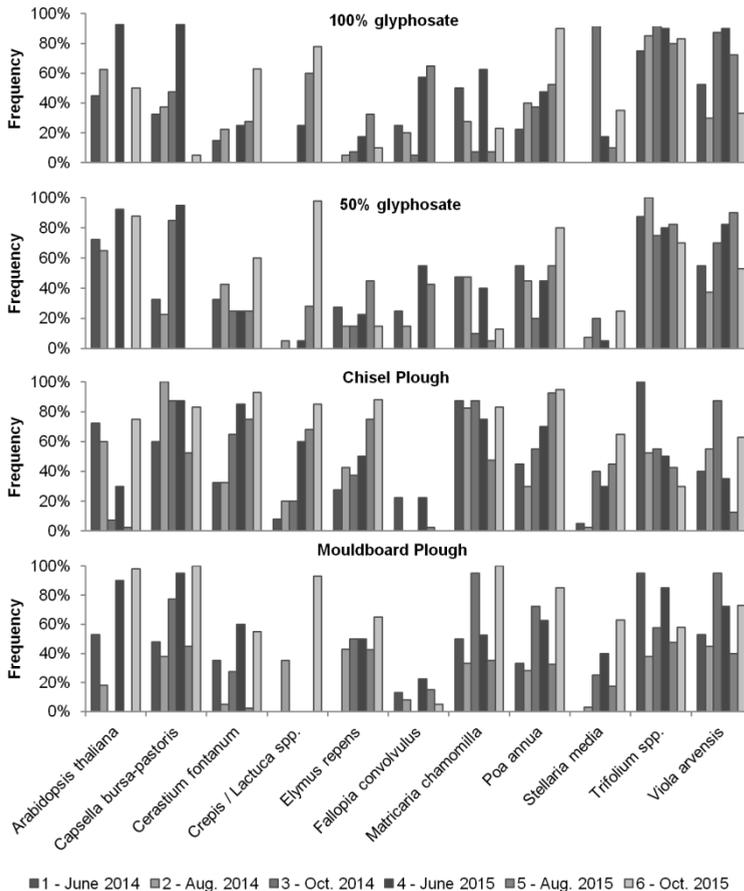


Fig. 3 Frequencies of the top three species recorded in each treatment at the six surveys taken over two seasons in 2014 and 2015.

Abb. 3 Häufigkeiten der drei häufigsten Arten je Behandlung in sechs Vegetationsaufnahmen, 2014 und 2015.

Although the effects of weed management only really become evident after long periods of time, such as from a 30-year field trial (PALLUTT, 2010), with our weed community experiment we are attempting to intensify management conditions with two treatments each year in order to compact the time period in which we see the results of our management choices. We may then be able to compare trends in the weed community composition results from the experiment with the results of the monitoring conducted on real agricultural land in the same geographical region.

Results from the first two seasons of the weed community experiment indicate that species presence is foremost driven by the time of year. Richness was the highest at the first survey of all the treatments in both years. The greater mid-summer decrease and early-fall increase of the richness in the tillage treatments compared to the glyphosate treatments can be explained by tillage exposing the soil bare in mid-summer and bringing new seeds up to the surface in the late-summer period whereas the glyphosate plots remained mechanically undisturbed with an approximately 25 cm high treated, non-compacted biomass cover. Density was the highest at the third survey of all treatments in both years. Even without the soil disturbance of tillage that brought new seeds to the surface, the glyphosate plots profited from the seed rain of their biomass covers.

The majority of the species occurring with the top three frequencies in the treatments were annuals. The perennials *C. fontanum*, *E. repens* and *Trifolium spp.* (as predominantly the perennial *T. hybridum*) were each associated with a certain growing environment. *C. fontanum* only reached high frequency in the chisel plough plots where, as demonstrated in the chisel plow experiments conducted by LOGSDON (2013), only the soil surface experienced disturbance and many plants were left simply relocated. *E. repens* only made it into the top three of species frequency in the tillage treatments where its creeping rhizomes were spread throughout the plots by the ploughs. The high frequency of *Trifolium spp.* in the glyphosate plots and mouldboard plough plots can be attributed to the lower species surface cover compared to the plots managed with the chisel plough. Although a vigorous grower in monoculture, *Trifolium spp.* grows poorly in the company of aggressive species (FRAME, 2015).

With an initial assessment of the reproductive success of *L. multiflorum* and *P. rhoeas* based only on the germination rate, this study has shown that the reproductive success of the F1 generation was reduced. Analysis of the seed-bearing plant components as well as seed production will contribute to a more thorough understanding of each species' reproductive success. It is a possibility that not all of the reproductive success factors react consistently. A generation with a high germination rate could nonetheless produce a reduced number of plant components while still turning out a high number of seeds by the end of the growth season. Research on hormesis, the stimulatory effect of a low dose of a toxicant, has demonstrated that herbicides do not influence all the characteristics of a plant consistently (DUKE et al., 2006). Unique changes in characteristics as a result of herbicide treatment may also vary from species to species, thereby selectively affecting the number of tillers produced (COUPLAND and CASELEY, 1975) or root length (BELZ, 2014).

The weed monitoring in winter wheat and field experiments with weed communities and populations continues for a third season in which further results contributing to our knowledge base of weed behavior in response to chemical management with glyphosate products in the northern German environment will be garnered.

Acknowledgements

This research is supported by the German Ministry of Food and Agriculture (BMEL) via its Federal Office for Agriculture and Food (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung).

References

- BELZ, R.G., 2014: Is hormesis an underestimated factor in the development of herbicide resistance? In Proceedings of the 26th German Conference on Weed Biology and Weed Control, Braunschweig, Nordmeyer, H. and L. Ulber (eds), Julius-Kühn-Archiv **443**, 81-91.
- BMEL, 2015. „Gentechnik und Lebensmittel: Die wichtigsten Fakten“ Informational flyer available for download on the following website. Accessed 20 August 2015.
http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Gentechnik/gentechnik_node.html.
- BVL, 2014. „Neue Anwendungsbestimmungen für Pflanzenschutzmittel mit dem Wirkstoff Glyphosat“, Accessed 20 August 2015.
http://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/05_Fachmeldungen/2014/2014_05_21_Fa_Neue_Anwendung_Glyphosat.html?nn=1400938.

- CERDEIRA, A.L., D.L.P. GAZZIERO, S.O. DUKE and M. B. MATALLO, 2011: Agricultural impacts of glyphosate-resistant soybean cultivation in South America. *J. Agr. Food Chem.* **59**, 5799-5807.
- COLLAVO, A. and M. SATTIN, 2014: First glyphosate-resistant *Lolium* spp. biotypes found in a European annual arable cropping system also affected by ACCase and ALS resistance. *Weed Research* **54**, 325-334.
- COUPLAND, D. and J.C. CASELEY, 1975: Reduction of silica and increase in tillering induced in *Agropyron repens* by glyphosate. *J. Exp. Bot.* **26** (90), 138-144.
- CULPEPPER, A.S., 2006: Glyphosate-induced weed shifts. *Weed Technol.* **20**, 277-281.
- DUKE, S.O., N. CEDERGREEN, E.D. VELINI and R. G. BELZ, 2006: Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? *Outlooks on Pest Manage* **17**, 29-33.
- FRAME, J., 2015: *Trifolium hybridum* L. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations (UN) grassland species database visited on 14 October 2015. <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/Gbase/Default.htm>.
- HEAP, I., 2014: Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest Manag. Sci.* **70**, 1306-1315.
- HEAP, I., 2015: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Accessed 17 November 2015. www.weedscience.org.
- HILGENFIELD, K.L., A.R. MARTIN, D.A. MORTENSEN and S.C. MASON, 2004: Weed management in a glyphosate resistant soybean system: Weed species shifts. *Weed Technol.* **18** (2), 284-291.
- KONING, L.A., A. WIESE, M. SCHULTE, H.-H. STEINMANN and B. GEROWITT, 2015: Investigating glyphosate use and weed patterns in German arable farming. Paper presented at the 17th European Weed Research Society Symposium, Montpellier SupAgro, France.
- LOGSDON, S.D., 2013: Depth dependence of chisel plow tillage erosion. *Soil Till. Res.* **128**, 119-124.
- MELANDER, B., N. MUNIER-JOLAIN, R. CHARLES, J. WIRTH, J. SCHWARZ, R. VAN DER WEIDE, L. BONIN, P.K. JENSEN and P. KUDSK, 2013: European perspectives on the adoption of nonchemical weed management in reduced-tillage systems for arable crops. *Weed Technol.* **27**, 231-240.
- NANDULA, V.K., D.H. POSTON, T. EUBANK, C.H. KOGER and K.N. REDDY, 2007: Differential response to glyphosate in Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum*) populations from Mississippi. *Weed Technol.* **21** (2), 477-482.
- PALLUTT, B., 2010: 30 Jahre Dauerfeldversuche zum Pflanzenschutz. *Journal für Kulturpflanzen* **62** (7), 230-237.
- POWLES, S.B., 2008: Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. *Pest Manag. Sci.* **64**, 360-365.
- STEINMANN, H.-H., M. DICKEDUISBERG and L. THEUVSEN, 2012: Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. *Crop Prot.* **42**, 164-169.
- SWANTON, C.J., A. SHRESTHA, R.C. ROY, R. BALL-COELHO and S.Z. KNEZEVIC, 1999: Effect of tillage systems, N, and cover crop on the composition of weed flora. *Weed Science* **47**, 454-461.
- TUESCA, D., E. PURICELLI and J.C. PAPA, 2001: A long-term study of weed flora shifts in different tillage systems. *Weed Research* **41**, 369-382.
- VILA-AIUB, M.M., S.S. GOH, T.A. GAINES, H. HAN, R. BUSI, Q. YU and S.B. POWLES, 2014: No fitness cost of glyphosate resistance endowed by massive EPSPS gene amplification in *Amaranthus palmeri*. *Planta* **239**(4):793-801.

Economic assessment of alternatives for glyphosate application in arable farming

Ökonomische Bewertung von Alternativen zur Glyphosatanwendung im Ackerbau

Hella Kehlenbeck^{1*}, Jovanka Saltzmann¹, Jürgen Schwarz¹, Peter Zwerger², Henning Nordmeyer²

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow

²Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz im Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

*Corresponding author, Hella.Kehlenbeck@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.038

Abstract

Application and sales of herbicides with glyphosate have strongly increased in Germany during the past 10 years. This has raised a number of questions and discussions concerning glyphosate use. Therefore, this paper identifies and evaluates alternatives with an efficacy almost equivalent to glyphosate for different treatment-areas in terms of economic consequences for farms in comparison to glyphosate use by way of example.

With the help of exemplary crop rotations uses in arable farming for winter wheat, winter oilseed rape, winter barley, maize and summer barley were analyzed. Within a "worst case scenario" a complete abandonment of glyphosate applications was assumed. Different tillage systems (plough, no-plough) were considered. The only alternatives with an efficacy almost equivalent to glyphosate were mechanical measures. For the analyzed treatment-areas (desiccation, pre-sowing, stubble) no approved and efficient chemical alternative could be identified.

The economic advantages and disadvantages of substituting glyphosate by mechanical alternatives were strongly depending on the treatment-area, the efficacy concerning yield expectations (in comparison to glyphosate use), the tillage system, the necessity of grain drying as well as further operational factors such as the availability of sufficient field work days and mechanical equipment.

Keywords: Benefits, chemical and non-chemical alternatives, costs, mechanical weed control

Zusammenfassung

Die Anwendung und der Absatz glyphosathaltiger Herbizide haben in den vergangenen 10 Jahren in Deutschland stark zugenommen. Dies hat Fragen und Diskussionen zu deren Anwendung aufgeworfen. Daher wurden in dieser Arbeit hinreichend wirkungsäquivalente Alternativen zum Wirkstoff Glyphosat exemplarisch für ausgewählte Anwendungsbereiche identifiziert und hinsichtlich ihrer ökonomischen Auswirkungen für Betriebe im Vergleich mit der Anwendung von Glyphosat untersucht.

Anhand beispielhafter Fruchtfolgen wurden Anwendungen in den Ackerbaukulturen Winterweizen, Winterraps, Winterroggen, Mais und Sommergerste betrachtet und in einem „Worst Case Szenario“ eine vollständige Substitution glyphosathaltiger Herbizide unterstellt. Berücksichtigt wurde dabei auch die Art der Bodenbearbeitung (mit Pflug, pfluglos). Als hinreichend wirkungsäquivalente Alternativen konnten lediglich mechanische Maßnahmen gefunden werden. Für die betrachteten Anwendungsbereiche (Sikkation, Vorsaats- oder Stoppelbehandlung) hingegen, wurden keine zugelassenen, ausreichend wirksamen chemischen Alternativen identifiziert.

Die ökonomischen Vor- und Nachteile der Substitution glyphosathaltiger Herbizide durch mechanische Maßnahmen hingen stark vom Anwendungsbereich, der Äquivalenz hinsichtlich der Ertragswirkungen (im Vergleich zur Glyphosatanwendung), der Art der Bodenbearbeitung, der Notwendigkeit einer Trocknung des Erntegutes sowie weiteren betriebsspezifischen Faktoren, wie der Verfügbarkeit ausreichender Feldarbeitsstage und der Mechanisierung, ab.

Stichwörter: Chemische und nicht-chemische Alternativen, Kosten, mechanische Unkrautbekämpfung, Nutzen

Introduction

Application and sales of glyphosate herbicides have strongly increased in Germany over the past 10 years. Every year, about 40% of Germany's arable land is under glyphosate treatment (SCHULTE

et al., 2015; STEINMANN et al., 2015). Since 2004, about 5,000 t of glyphosate are sold in Germany every year. At present about 33 glyphosate herbicides are approved in Germany. They are sold under 95 trade names. The 33 approved herbicides have in total 470 authorized uses, whereof 86 are for non-commercial users (BVL, 2015).

Especially for no-plough agriculture glyphosate use is of great importance as it allows controlling weeds efficiently before seeding without any tillage passes. It therefore enables conservation tillage on areas with high risk of erosion (STEINMANN and DOBERS, 2013; MAL et al., 2015; SCHMITZ et al., 2015). Even with additional tillage MAL et al. (2015) and SCHMITZ et al. (2015) predicted yield losses without glyphosate of up to 10%. Based on expert interviews SCHMITZ and GARVERT (2012) described glyphosate use as a standard in conservation tillage in many regions in Germany. According to their results 30 to 35% of all areas cultivated with winter crops and 50% of the area under winter oil seed rape production were treated with glyphosate.

In arable farming, glyphosate is applied pre-sowing (shortly before sowing or shortly after sowing before emergence), pre-harvest (to the standing crop shortly before harvest, desiccation) or post-harvest (after harvest, stubble treatment).

For glyphosate use in agriculture, several application regulations have to be considered in Germany since May 2014 (BVL, 2014):

- two applications are allowed per year at most,
- between two applications a waiting period of at least 90 days must be adhered,
- the application rate per year must not exceed 3.6 kg active substance per hectare,
- desiccation is only allowed as site specific application.

The present study assesses in particular the economic consequences at farm-scale of an abandonment of using glyphosate based on exemplary calculations for typical crop rotations in arable farming and compared the alternatives "weed management with glyphosate" and "weed management without glyphosate".

Methodology of the economic assessment

Economic parameters

The economic influence of an abandonment of glyphosate was calculated by the use of three economic parameters belonging to cost accounting and cost benefit analysis.

(1) The **plant protection free revenues** (PPFR) were derived by the **revenue** (R) for each crop in a crop rotation (revenue = yield times price) less the **direct costs** (DC) resulting from either the glyphosate use or its substitute. For the direct costs **interest expenses** (IE) were calculated at an **interest rate** of 4% (i) for a period of three months.

$$PPFR = R - (DC + IE)$$

(2) For each crop rotation the **net present value** (NPV) was calculated over the period under review (T) by discounting the PPFR of each year (t). The NPV allows for a comparison of the economic efficiency of the entire three-year crop-rotations.

$$NPV = \sum_{t=1}^T \left(\frac{PPFR_t}{(1+i)^t} \right)$$

(3) To derive a value which shows the economic efficiency of a crop rotation on an annual basis the NPV was converted into an **annuity** (A) with the help of the **annuity factor** (AF). The differences of the cultivation strategies' annuities show additional costs or gains of substituting glyphosate (comparison with and without glyphosate).

$$A = NPV * AF_{T,i}$$

$$AF_{T,i} = \frac{(1+i)^T * i}{(1+i)^T - 1}$$

Crops, crop rotations, treatment areas and possible alternatives to glyphosate

To evaluate the economic effect of an abandonment of glyphosate, five theoretic crop rotations were identified. Three of them include predominantly winter crops:

crop rotation 1 "winter": winter oilseed rape – winter wheat – winter wheat

crop rotation 2 "winter": maize – winter wheat – winter wheat

crop rotation 3 "winter": winter oilseed rape – winter wheat – winter barley

The other two crop rotations include the summer crop spring barley:

crop rotation 1 "summer": maize – winter wheat – spring barley

crop rotation 2 "summer": winter oilseed rape – winter wheat – spring barley

To calculate the economic impact of the different application possibilities of glyphosate (pre-sowing, pre-harvest, post-harvest) different application variants were identified. Taking the application regulations of glyphosate into account, for winter crop dominated crop rotations three application variants were possible:

Variant 1: glyphosate is used for desiccation and pre-sowing treatment

Variant 2: glyphosate is used for stubble treatment

Variant 3: glyphosate is used for pre-sowing treatment

For the crop rotations containing spring barley, the following three variants were calculated:

Variant 1a: glyphosate is used for desiccation and pre-sowing treatment

Variant 2a: glyphosate is used for desiccation, stubble and pre-sowing treatment

Variant 2b: glyphosate is used for stubble and pre-sowing treatment

For each crop rotation the alternatives "management with glyphosate" and "management without glyphosate" were compared. Therefore, a decent alternative to glyphosate had to be found for each application possibility.

A "chemical" alternative for stubble treatment and pre-sowing application has to be approved for the relevant indication and should have an efficacy almost equivalent to that of the herbicide to be replaced. Due to this requirement there was no chemical alternative to glyphosate herbicides for stubble treatment and pre-sowing application. There was only one chemical alternative for desiccation in oilseed rape - the active ingredient diquat (for instance Reglone).

Mechanical alternatives that achieved an efficacy almost equivalent to glyphosate for stubble treatment (to eliminate volunteer plants, couch grass, weeds/weed grasses) and pre-sowing application (to eliminate volunteer plants, weeds/weed grasses, in particular resistant black grass and/or wind grass, mulching/cover crops and catch crop) were in both cases the application of additional one to three tillage passes on the entire field using appropriate equipment or combination of equipment. The repeated passes are needed to increase efficacy, but complete equivalence can only be achieved under specific conditions.

Each crop rotation is calculated for its three treatment variants, for the use of glyphosate and its alternative, for till and no-till systems and for "with drying of the harvest" and "without drying of the harvest".

Figure 1 presents an overview of the application possibilities in a cropping strategy with glyphosate use and glyphosate-free alternatives in a plough and no-plough system.

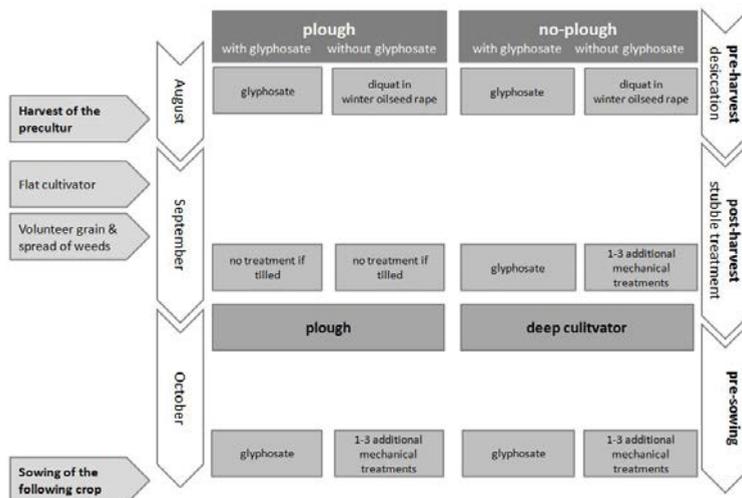


Fig. 1 Exemplary illustration of all application possibilities of glyphosate (pre-harvest, post-harvest, pre-sowing) and its alternatives for weed control in a crop rotation with a following winter crop for plough and no-plough systems. Application regulations are not considered.

Abb. 1 Modellhafte Darstellung aller Anwendungsmöglichkeiten glyphosathaltiger Herbizide (Sikkation, Stoppel- und Vorsaatbehandlung) und deren Alternativen zur Bekämpfung von Unkraut und Ausfallpflanzen vor einer anschließenden Winterung ohne Berücksichtigung von Zulassungsbeschränkungen für Anbausysteme mit und ohne Pflug.

For the variants with glyphosate the above mentioned application regulations (see introduction) were taken into account.

Yields, prices, cost components and calculation of revenues

To derive the PPFR, revenue and cost components were considered. The revenues, shown in Table 1, are based on the average producer prices and yields in Germany between the years 2007 and 2012.

Tab. 1 Yield and price assumptions (mean of the years 2007-2012) and assumption for the initial revenue for selected arable crops (minor differences are due to rounding), from AMI and Statistisches Bundesamt (different years).

Tab. 1 Ertrags- und Erzeugerpreisannahmen (Mittelwerte der Jahre 2007-2012) sowie angenommene Ausgangerlöse für ausgewählte Ackerbaukulturen (geringfügige Abweichungen aufgrund von Rundung), nach AMI and Statistisches Bundesamt (verschiedene Jahre).

| | Winter wheat | Winter barley | Spring barley | Winter oilseed rape | Maize |
|------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------------|--------------|
| Producer price (€/dt) | 18.3 | 15.8 | 19.5 | 36.1 | 17.3 |
| Yield (dt/ha) | 74.5 | 63.7 | 49.2 | 36.6 | 99.4 |
| Revenue (€/ha) | 1,365 | 1,006 | 957 | 1,320 | 1,717 |

Table 2 shows the revenue and cost components considered, the underlying assumptions on machinery and prices and the calculation approach to derive the PPFR for arable crops.

For different agricultural measures (no glyphosate, no-plough) a yield decrease of 0 to 5% was applied to the yields shown in Table 1. In case of a chemical desiccation a reduction of yield losses or in other words a yield gain of 0 to 5% was assumed.

Tab. 2 Calculation approach of the plant protection free revenues in arable crops.**Tab. 2** Berechnung der pflanzenschutzkostenfreien Leistung im Ackerbau.

| | With glyphosate use | Without glyphosate use | Source |
|---|--|--|---|
| Revenue | | | |
| Initial yield | Average yield in Germany between the years 2007 and 2012 (see Tab. 1) | | STATISTISCHE JAHRBÜCHER and AMI MARKTBILANZEN (different years) |
| Yield decrease | 0-5% yield decrease in no-till systems | 0-5% yield decrease in glyphosate-free systems 0-5% yield decrease in no-till systems | Expert estimation and SCHWARZ and PALLUTT (2012) |
| Yield increase | 0-5% reduction of yield losses on area with desiccation/ assumption: 50% of the area is under treatment | 0-5% reduction of yield losses on area with desiccation (only relevant for desiccation in winter oilseed rape with diquat) | FEIFFER et al. (2005) FEIFFER (2007) |
| Producer price | Average producer prices in Germany between the years 2007 and 2012 (see Tab. 1) | | STATISTISCHE JAHRBÜCHER and AMI MARKTBILANZEN (different years) |
| Revenue | (Initial Yield – Yield Decreases + Yield Increases) * Producer Price | | |
| Direct costs of plant protection | | | |
| Desiccation (Pre-harvest) | Oilseed rape: 14.85 €/ha (=3 l Roundup Power Flex/ha x 9.9€/l x 50% of area treated) Cereals: 18.56 €/ha (=3.75 l Roundup Power Flex * 9.9 €/l x 50% of area treated) | Oilseed rape: 29 €/ha (=2 l Reglone/ha * 14.50 €/l x 50% of area treated) | Indication according to application regulation (BVL, 2015, status 10.02.15) Pesticide prices: Agravis price list 2014 |
| Soil cultivation | 24.11 €/ha (flat stubble cultivator, 4m, 83 kW) | | KTBL-field work calculator, status 11.11.2014 |
| Stubble treatment (Post-harvest) | 37.13 €/ha (=3,75 l Roundup Power Flex * 9,9 €/l) | 24.11 €/ha per treatment (flat stubble cultivator, 4 m, 83kW, 1-3 treatments) | Indication according to application regulation (BVL, 2015, status 10.02.15) Pesticide prices: Agravis price list 2014 KTBL-field work calculator, status 11.11.2014 |
| Soil cultivation | plough: 67 € (semi-mounted, 120kW, 8 wings, 2,8 m) deep stubble cultivator: 43.98 € (4,5 m, 120kW) | | KTBL-field work calculator, status 11.11.2014 |
| Pre-sowing | 37.13 €/ha (=3.75 l Roundup Power Flex * 9.9 €/l) | 24.11€/ha per treatment (flat stubble cultivator, 4 m, 83kW, 1-3 treatments) | Indication according to application regulation (BVL, 2015, status 10.02.15) Pesticide prices: Agravis price list 2014 KTBL-field work calculator, status 11.11.2014 |
| Application | 8.58 €/ha per treatment (attached plant sprayer, 27 m, 3.000 l, 67 kW, 200 l water/ha) | | KTBL-field work calculator, status 11.11.2014 |
| Interest expenses | 4% p.a. for a period of 3 months | | |
| Plant Protection Free Revenue = Revenue - Σ Direct Costs of Plant Protection | | | |

The application rates of 3.75 l/ha Roundup Power Flex (as an example of an herbicide containing glyphosate) per hectare for all crops and application possibilities (except desiccation with glyphosate in oil seed rape: 3 l/ha) were in accordance with the current application regulations. In oil seed rape an alternative desiccation with the active substance diquat (indication assumed: 2 l of Reglone per hectare) was calculated additionally (BVL, 2015). The prices of Roundup Power Flex and Reglone were calculated with 9.90 and 14.50 €/l respectively (AGRAVIS, 2014). In accordance to the application regulations for glyphosate, a site specific desiccation of 50% of the area was assumed for all desiccation treatments. In the glyphosate-free variants, stubble and pre-sowing treatment was replaced by 1 to 3 passes with a flat stubble cultivator at 24.11 €/ha per treatment (KTBL-field work calculator, 2014). For all variants flat soil cultivation after harvesting was considered as a precondition for a successful weed management either with or without glyphosate. For expenditures an interest rate of 4% p.a. over 3 months was assumed.

All ranges mentioned above were incorporated into the calculations as minimum and maximum assumptions to consider uncertainties underlying the assumptions.

Results

Table 3 shows the results of glyphosate abandonment in arable farming for plough and no-plough systems with and without drying of the harvested grain for different crop rotations considered within the calculations.

Economic effect of an abandonment of glyphosate for pre-harvest, post-harvest and desiccation treatments

The economic consequences of glyphosate abandonment were crucially determined by the yield effect of the substituting measure. This is of greater importance than the slightly higher costs of a mechanical treatment as soon as more than one additional pass was necessary (glyphosate treatment including application: 45.70 €/ha; one tillage measure: 24.11 €/ha).

If there was no yield decrease, stubble and pre-sowing treatments could be substituted by mechanical measures without negative or with slightly positive economic effects. Under unfavourable conditions, when in spite of 2 to 3 additional tillage passes yield losses occurred, the lack of stubble treatment with glyphosate in crop rotations with predominantly winter crops caused additional annual costs of 55 to 89 € per hectare and in case of pre-sowing application of up to almost 100 € per hectare. With an average gross margin for example for wheat (bread wheat) of 600 to 900 € per hectare, the additional costs would account for about 6 to 17% of the gross margin. On average, an abandonment of glyphosate for stubble and pre-sowing treatments led to additional costs of 0 to 37 €/ha.

The abandonment of glyphosate without any replacement was especially difficult for desiccation when the missing treatment led to a subsequent cost-intensive drying of the harvest. In this case, on average (in combination with a substituted stubble and/or pre-sowing treatment) additional costs of about 50 to 100 €/ha arose.

Economic effect of tillage on the abandonment of glyphosate

The results showed that the substitution of glyphosate by additional tilling was not necessarily more expensive in any case. Within almost all the variants, mechanical weed control could provide the same or a better economic result under favourable conditions, when one additional tillage pass achieved an efficacy equivalent to glyphosate.

There was a tendency that it was less costly and easier to avoid the use of glyphosate in case of plough tillage which, however, might cause problems for regions at erosion risks.

Tab. 3 Annual costs of glyphosate abandonment shown as the differences of the annuities compared to glyphosate in € per ha and year of a cropping system with glyphosate and one with mechanical substitution. Negative signs indicate losses, positive signs indicate gains through an abandonment of glyphosate.

Tab. 3 Jährliche Kosten des Verzichts auf Glyphosat dargestellt als Differenz der Annuitäten zur Anwendung von Glyphosat in €/ha und Jahr eines Anbausystems mit Glyphosat und eines mit mechanischer Substitution. Negative Vorzeichen bedeuten Verluste, positive Vorzeichen zusätzliche Einnahmen durch die Substitution von Glyphosat.

| Application variants | | Annual costs of glyphosate abandonment as Annuities (max/Ø/min) in €/ha and year | | | | | | | | | | | row | | |
|--|-----------|--|---------------------|-------------|---------|--------------------|------------|----------|------------------|------------|----------|-----------|------------|----------|-----------|
| | | plough/ no-plough | drying ¹ | desiccation | stubble | pre-sowing | max | Ø | min | max | Ø | min | | max | Ø |
| Crop rotations including predominantly winter crops: | | | | | | CR1 | | | CR2 | | | CR3 | | | |
| Crop rotations including predominantly winter crops: | | | | | | WOR-WW-WW | | | Maize-WW-WW | | | WOR-WW-WB | | | |
| 1. desiccation & pre-sowing | plough | x | x | | x | -103 | -57 | -11 | -94 | -50 | -7 | -95 | -52 | -8 | 1 |
| | plough | | x | | x | -11 | 7 | 26 | -7 | 6 | 18 | -8 | 9 | 26 | 2 |
| | no-plough | x | x | | x | -172 | -85 | 3 | -172 | -78 | 15 | -144 | -65 | 14 | 3 |
| | no-plough | | x | | x | -56 | -26 | 3 | -71 | -28 | 15 | -34 | -10 | 14 | 4 |
| 2. stubble | plough | x | | x | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| | plough | | | x | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| | no-plough | x | | x | | -76 | -31 | 14 | -83 | -34 | 15 | -55 | -12 | 30 | 7 |
| | no-plough | | | x | | -82 | -34 | 14 | -89 | -37 | 15 | -61 | -15 | 30 | 8 |
| 3. pre-sowing | plough | x | | | x | -79 | -32 | 14 | -87 | -33 | 22 | -58 | -18 | 22 | 9 |
| | plough | | | | x | -85 | -35 | 14 | -93 | -35 | 22 | -64 | -21 | 22 | 10 |
| | no-plough | x | | | x | -76 | -31 | 14 | -84 | -31 | 22 | -55 | -16 | 22 | 11 |
| | no-plough | | | | x | -82 | -34 | 14 | -89 | -34 | 22 | -61 | -19 | 22 | 12 |
| Crop rotations including spring barley: | | | | | | Maize-WW-SB | | | WOR-WW-SB | | | | | | |
| 1a. desiccation & pre-sowing | plough | x | x | | x | -157 | -69 | 1 | -157 | -75 | 7 | | | | 13 |
| | plough | | x | | x | -68 | -25 | 19 | -52 | -23 | 7 | | | | 14 |
| | no-plough | x | x | | x | -149 | -65 | 19 | -149 | -71 | 7 | | | | 15 |
| | no-plough | | x | | x | -65 | -23 | 19 | -49 | -21 | 7 | | | | 16 |
| 1b. desiccation, stubble & pre-sowing | plough | x | x | x | x | -157 | -69 | 19 | -157 | -75 | 7 | | | | 17 |
| | plough | | x | x | x | -68 | -25 | 19 | -52 | -23 | 7 | | | | 18 |
| | no-plough | x | x | x | x | -189 | -89 | 11 | -165 | -99 | -33 | | | | 19 |
| | no-plough | | x | x | x | -105 | -47 | 11 | -65 | -49 | -33 | | | | 20 |
| 2a. stubble & pre-sowing | plough | x | | x | x | -82 | -30 | 22 | -73 | -29 | 14 | | | | 21 |
| | plough | | | x | x | -86 | -32 | 22 | -79 | -32 | 14 | | | | 22 |
| | no-plough | x | | x | x | -96 | -30 | 36 | -96 | -33 | 29 | | | | 23 |
| | no-plough | | | x | x | -101 | -32 | 36 | -101 | -36 | 29 | | | | 24 |
| column: | | | | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | |

¹ only if the crop is not desiccated

CR = crop rotation, WOR = Winter oilseed rape, WW = winter wheat, WB = winter barley, SB = spring barley

Tab. 4 Expected economic consequences at farm-level of an abandonment of glyphosate and substitution by mechanical measures.

Tab. 4 Zu erwartende ökonomische Konsequenzen auf Betriebsebene durch eine Substitution von Glyphosat durch mechanische Maßnahmen.

| | | plough/ crop drying | plough/ no crop drying | no-plough/ crop drying | no-plough/ no crop drying |
|-------------------------------|--|---------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Crop rotations "winter" | 1. desiccation & pre-sowing | | | | |
| | 2. stubble | | | | |
| | 3. pre-sowing | | | | |
| Crop rotations "summer" | 1a. desiccation & pre-sowing | | | | |
| | 1b. desiccation, stubble & pre-sowing | | | | |
| | 2a. stubble & pre-sowing | | | | |
| Legend | The abandonment of glyphosate does not cause economic losses. | | | | |
| | The abandonment of glyphosate leads to costs of 40 €/ha and year on average. Under favourable conditions there are no economic disadvantages or even positive effects. | | | | |
| | The abandonment of glyphosate leads to high costs of more than 40 €/ha and year on average. Even under favourable conditions, losses cannot be avoided. | | | | |

An important prerequisite to substitute glyphosate by mechanical measures with only minimum economic disadvantages for farmers is an efficacy of the alternative almost equivalent to glyphosate without lower yields and farm specific capacities such as availability of field work days, manpower and equipment for tillage.

In case of these favourable conditions, the mechanical control measure may lead to an economically identical or even better result. Location, weather and farming practices are important factors influencing the economic consequences of the substitution of glyphosate. In case of unfavourable conditions considerable costs occur.

Table 4 summarizes the expected economic consequences at farm-level for the different variants. Dark grey colours show those combinations where economic losses by substituting glyphosate can hardly be avoided. Middle grey colours are combinations that on average result in economic losses but where under specific preconditions no economic disadvantages up to even economic advantages can be achieved. For combinations with light grey colours no losses by glyphosate substitution are to be expected at all.

Discussion

The increases in sales and application of glyphosate have raised questions on the appropriateness of this development leading to requests concerning the reduction of glyphosate use.

Glyphosate application has become a common measure of weed management over the past years in Germany due to several beneficial effects of this active ingredient. SCHULTE and THEUVSEN (2015) recently summarized these effects within a literature review and pointed out the use of conservation and minimal tillage, arable farming in areas at erosion risk, reduction of labour and machinery costs, fuel savings, anti-resistance management, phytosanitary aspects (eliminating the so called green bridges) and the ensurance of harvest (avoiding of lodging). Other authors also mention positive effects on yield (SCHMITZ and GARVERT, 2012; COOK et al., 2010). These economic advantages explain the "popularity" of glyphosate for farmers. SCHULTE et al. (2015) and STEINMANN et al. (2015) reported, that glyphosate is applied on about 40% of the arable land in Germany,

whereof the majority concerns stubble treatments. According to ANDERT et al. (2015) glyphosate use was higher in eastern than in western Germany and in no plough systems.

Alternative measures to glyphosate use for the different treatment areas leading to comparable agronomic results are hardly to find. In our study only mechanical measures with appropriate machinery and 1 to 3 passes led to an equivalent efficacy. However, as the results showed, many factors determined the economic consequences of these alternative measures to substitute glyphosate, such as an efficacy almost equivalent to glyphosate application, the availability of sufficient field work days, sufficient manpower and equipment for the additional tillage. In addition it should not be necessary to dry the harvest. SCHMITZ and GARVERT (2012) calculated with a similar partial budgeting approach the farm-level effects of a ban of glyphosate and reported that gross margins would decrease in eastern Germany by 27%, in northern Germany by 3% and in the north-western coastal area by 36%. The differences between the regions in their study were on the one hand for the north-western coastal area due to resistance problems in black grass (*Alopecurus myosuroides*) where they assumed additional herbicide applications with sulfonylurea. For the region in eastern Germany they assumed that farmers would not use the plough due to restrictions in labour and would therefore result in a decrease of yield by 10%. Own calculations resulted in lower reductions of the gross margin - or in our case the plant protection free revenue - (on average up to 10% in case of additional drying of the harvest and on average up to 5% if no additional drying was necessary) since our assumptions concerning yield losses were only 0-5% and we did not assume that other herbicides were applied.

The underlying assumptions for the expected consequences of the substitution of glyphosate by mechanical measures are crucial for the economic result in any impact assessment and at the same time they entail considerable uncertainty. In the present study uncertainty was considered by deriving assumptions e.g. for expected changes in crop yields by expert judgement and by applying margins for the range of the most probable data.

Within tillage systems using the plough the substitution of glyphosate especially for the stubble-treatment did not cause economic losses. SCHMITZ et al. (2015) compared gross margins, direct and labor costs for different soil cultivation (conservation tillage and plough) for different crop rotations in different regions. In their calculation the conservation tillage with glyphosate led to higher gross margins (5 to 10%) due to lower costs (20% lower production costs, about 30% lower fuel consume).

The substitution of glyphosate by mechanical measures, however, is limited and not appropriate in any case. It is hardly possible to achieve a sustainable control of couch grass and other perennial weeds without glyphosate. Other herbicidal active ingredients have insufficient efficiency. Usually changes in crop rotations and tillage are not equivalent in efficiency concerning the above mentioned weeds. Replacing the glyphosate application by plough tillage clearly led to less economic consequences. For this reason the substitution of glyphosate application by mechanical measures would probably enhance plough tillage. In areas with high risks of erosion, the shift from no-plough to plough tillage can increase erosion. Other benefits of soil conserving tillage would at the same time be eliminated. By applying glyphosate herbicides as a pre-sowing treatment spread and development of weed species at risk of herbicide resistance can be specifically avoided. At locations at high risk of resistance glyphosate application remains an essential measure within resistance management for the time being.

The economic consequences of an abandonment of glyphosate and a substitution by mechanical measures depend on farm specific prerequisites such as the availability of sufficient manpower and equipment for additional tillage. ANDERT et al. (2015) showed that glyphosate use and no plough systems were both attributed to larger farms. Moreover, the potential for substituting glyphosate by mechanical measures such as more plough tillage depends on the risk of erosion at the farm location. An overall solution for an abandonment of glyphosate therefore cannot be expected and the decision by farmers will be taken case-by-case.

Whether an increase in prices of glyphosate would enhance the economic advantage of alternative measures can only be estimated theoretically. For equivalence in costs of three tillage passes ($3 \times 24.11 \text{ €/ha} = 72.33 \text{ €/ha}$) with a glyphosate application ($(3.75 \text{ l/ha Roundup Power Flex} * 9.9 \text{ €/l}) + 8.58 \text{ €/ha for application} = 45.70 \text{ €/ha}$) prices of glyphosate must increase by more than 70% ($(3.75 \text{ l/ha Roundup Power Flex} * 17 \text{ €/l}) + 8.58 \text{ €/ha for application} = 72.33 \text{ €/ha}$).

Concerning the potential to reduce glyphosate use the largest theoretical potential for savings could be found in arable farming within winter wheat, the crop with the largest cropping area in Germany. According to estimations by JKI based on PAPA-data (panel for pesticide applications) about one third of the applied glyphosate is used within winter wheat production (KEHLENBECK *et al.*, 2015).

The economic impact assessment revealed that under certain conditions glyphosate needs not to be used. Consequently, it can be stated that glyphosate should not be regarded as a standard measure in arable crop production systems. Instead it should rather be considered whether glyphosate application in particular to stubble or pre-sowing application could be replaced by mechanical tillage with appropriate equipment. Such an approach should reduce the glyphosate quantity at the same time. Plough tillage should be taken into account more often, especially on soils that allow ploughing and have no risk of erosion. If this is not possible on the entire area, glyphosate should be applied at least to the most problematic parts of the fields (for example due to couch grass, erosion risk). Moreover, it should be considered whether mechanical tillage as an alternative measure could be applied alternating from year to year and lead to sufficient weed management results. In general, pre-harvest applications to combinable crops should be reduced to the necessary minimum.

References

- AMI, 2010, 2011, 2012, 2013: Marktbilanzen Getreide Ölsaaten Futtermittel. AMI Marktbilanz. Bonn, Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH.
- AGRAVIS, 2014: Preisliste für Pflanzenschutzmittel. Agravis, 2014.
- ANDERT, S., J. BÜRGER and B. GEROWITT, 2015: Glyphosate-use in North German arable farming differs regionally. XVIII. International Plant Protection Congress. Mission possible: food for all through appropriate plant protection. Berlin: 143.
- BVL, 2014: Neue Anwendungsbestimmungen für Pflanzenschutzmittel mit dem Wirkstoff Glyphosat. BVL-Fachmeldungen, http://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/05_Fachmeldungen/2014/2014_05_21_Fa_Neue_Anwendung_Glyphosat.html?nn=1400938.
- BVL, 2015: Online-Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel.
- COOK, S.K., S.C. WYNN and J.H. CLARKE, 2010: How valuable is glyphosate to UK agriculture and the environment? *Outlooks on Pest Management* **21** (6), 280-284.
- FEIFFER, A., 2007: Eine ganz neue Sikkationsqualität. Vorerntesikkation mit Roundup UltraMax und Roundup TURBO - die neue Qualität in der Erntedurchführung. Feiffer Consult, from <http://feiffer-consult.de/index.html>.
- FEIFFER, A., P. FEIFFER, W. KUTSCHENREITER und T. RADEMACHER, 2005: Getreideernte – sauber, sicher, schnell. Ein Ratgeber rund um den Mähdrusch. DLG Mitteilungen, 129-134.
- FREIER, B., J. SELLMANN, J. STRASSEMAYER, J. SCHWARZ, B. KLOCKE, H. KEHLENBECK and W. ZORNBACH, 2013: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz. Jahresbericht 2012. Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2012. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen. 172, 115.
- KEHLENBECK, H., J. SALTZMANN, J. SCHWARZ, P. ZWARGER, H. NORDMEYER, D., ROSSBERG, I. KARPINSKI, J. STRASSEMAYER, B. GOLLA and B. FREIER, 2015: Folgenabschätzung für die Landwirtschaft zum teilweisen oder vollständigen Verzicht auf die Anwendung von glyphosathaltigen Herbiziden in Deutschland. *Julius-Kühn-Archiv* **451**, 1-156.
- KTBL - FIELD WORK CALCULATOR, 2014: <http://daten.ktbl.de/feldarbeit/home.html?jsessionid=B81D63F584E3D262AEEB1A26E0B37013>.
- KTBL, 2010: Obstbau. Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Kalkulationen. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- MAL, P., J.W. HESSE, M. SCHMITZ and H. GARVERT, 2015: Konservierende Bodenbearbeitung in Deutschland als Lösungsbeitrag gegen Bodenerosion. *Journal für Kulturpflanzen* **67** (9), 310-319.
- SCHMITZ, M. and H. GARVERT, 2012: Die ökonomische Bedeutung des Wirkstoffes Glyphosat für den Ackerbau in Deutschland. *Journal für Kulturpflanzen* **64** (5), 150-162.
- SCHMITZ, M.P., P. MAL and J.W. HESSE, 2015: The importance of conservation tillage as a contribution to sustainable agriculture: A special case of soil erosion. Gießen, Institut für Agribusiness.
- SCHULTE, M., A. WIESE, H.-H. STEINMANN and L. THEUVSEN, 2015: Glyphosat: So setzen es Landwirte wirklich ein. *Top Agrar* **9**, 54-56.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- SCHULTE, M. and L. THEUVSEN, 2015: Der ökonomische Nutzen von Herbiziden im Ackerbau unter besonderer Berücksichtigung des Wirkstoffs Glyphosat. *Journal für Kulturpflanzen* **67** (8), 269-279.
- SCHWARZ, J. and B. PALLUTT, 2012: Dauerfeldversuch nach Neuausrichtung. Dauerfeldversuche im Rahmen der Pflanzenschutzforschung Teil 2: Einfluss von Bodenbearbeitung und Pflanzenschutzstrategien auf Verunkrautung und Ertrag. *Landwirtschaft ohne Pflug* **12**, 19-22.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2010, 2011, 2012, 2013: *Statistische Jahrbücher für die Bundesrepublik Deutschland*. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt.
- STEINMANN, H.-H. and E.S. DOBERS, 2013: Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications on plant health and crop protection. *Journal of Plant Diseases and Protection* **120** (2), 85–94.
- STEINMANN, H.-H., A. WIESE, M. SCHULTE, L.A. KONING, L. THEUVSEN and B. GEROWITT, 2015: Agronomic consequences of glyphosate use - field and farm studies from Germany. XVIII. International Plant Protection Congress. Mission possible: food for all through appropriate plant protection. Berlin, 143.

Glyphosatanwendung bei Direktsaat von Winterweizen unter Berücksichtigung der Bodenbearbeitungshistorie

Glyphosate application and direct sowing of winter wheat considering soil cultivation history

Henning Nordmeyer

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



DOI 10.5073/jka.2016.452.039

Zusammenfassung

In einem zweijährigen Feldversuch (2013/2014 und 2014/2015) wurde ein möglicher Einfluß von Glyphosat auf Winterweizen bei Direktsaat untersucht. Glyphosat wurde in einfacher und doppelter zugelassener Aufwandmenge sieben Tage vor der Saat und bis fünf Tage nach der Saat angewendet. Als Vergleich wurde eine mechanische Variante mit Flachgrubber und Kreiselegge angelegt. Die Versuche wurden auf einer Fläche durchgeführt, auf der auf drei Teilflächen zuvor langjährig unterschiedliche Bodenbearbeitungsvarianten durchgeführt wurden (konventionell = Pflug, reduziert = Mulchsaat, Direktsaat = Direktsaat mit Glyphosatanwendung). Untersucht wurden das Auflaufverhalten und der Ertrag des Winterweizens. Die Bodenbearbeitungshistorie konventionell zeigte tendenziell in beiden Versuchsjahren die höchsten Auflaufraten und die höchsten Winterweizenerträge. Die niedrigsten Erträge zeigten die Flachgrubbersvariante auf Flächen mit der Historie reduziert und Direktsaat. Die Varianten mit Glyphosatanwendung vor oder nach der Saat zeigten keine signifikanten Ertragsunterschiede.

Bei doppelter Glyphosataufwandmenge zeigten sich 2013/2014 in den meisten Fällen etwas geringere Auflaufraten, die jedoch häufig nicht signifikant waren. Dies wurde auch 2014/2015 bei der Applikation nach der Saat festgestellt. Auf die Erträge wirkte sich das nicht signifikant aus.

Stichwörter: Boden, Herbizid, Kulturverträglichkeit, Pflanzenaufbau, Unkrautbekämpfung

Abstract

In a two year field trial (2013/2014 and 2014/2015) the possible impact of glyphosate application on winter wheat after direct sowing was investigated. Glyphosate was applied with single and double application rates seven days before sowing and until five days after sowing. For comparison a mechanical treatment with flat cultivator and rotary harrow was created. The trials were carried out on an agricultural field with plots of three different soil cultivation history (conventional = plough, reduced = mulch sowing, direct sowing = direct sowing with glyphosate application). Plant emergence and yield of winter wheat was investigated. Conventional soil cultivation history showed highest plant emergence and highest yields in both years. Lowest plant emergence was estimated in trials with flat cultivator and reduced or direct sowing soil history. Treatments with glyphosate application before and after sowing showed no significant yield differences. At a double glyphosate application rate, plant emergence was lower in comparison to the single application rate in most cases in 2013/2014. This was also estimated for glyphosate application after sowing in 2014/2015.

Keywords: Herbicide, phytotoxicity, plant emergence, soil, weed control

Einleitung

Der herbizide Wirkstoff Glyphosat hat ein breites Anwendungsspektrum und ist weltweit der am häufigsten angewendete Wirkstoff zur nicht-selektiven Unkrautbekämpfung. Die Anwendungsschwerpunkte in Deutschland liegen derzeit im Bereich der Vor- und Nachernte sowie in der Vorsaar (STEINMANN et al., 2012). Bedingt durch sich verändernde Bodennutzungs- und Bewirtschaftungssysteme, hat sich Glyphosat in den letzten Jahrzehnten zu einem wichtigen Bestandteil im Ackerbau entwickelt. So hat insbesondere die pfluglose, konservierende Bodenbearbeitung zugenommen. Diese Entwicklung wurde durch Anforderungen an den Boden- und Gewässerschutz gefördert.

Für Deutschland ist festzustellen, dass mit zunehmender Größe der landwirtschaftlichen Betriebsfläche auch der Anteil konservierender Bodenbearbeitungsmaßnahmen ansteigt. Dabei

hat sich Glyphosat auf Standorten mit konservierender Bodenbearbeitung zu einem wesentlichen Element der Unkrautbekämpfung entwickelt.

Das Bundes-Bodenschutzgesetz (BUNDESGESETZBLATT, 2012) und das landwirtschaftliche Förderrecht (Cross Compliance) enthalten Anforderungen und Maßnahmen zum Schutz des Bodens vor den negativen Auswirkungen, die mit landwirtschaftlichen Bodenbearbeitungsverfahren verbunden sein können. Bodenschonende Bearbeitungsverfahren werden darüber hinaus als sogenannte Agrarumweltmaßnahmen gezielt gefördert. In Deutschland wird inzwischen auf ca. 40 Prozent der Ackerfläche eine reduzierte Form der Bodenbearbeitung durchgeführt (DBV, 2014). Als Vorteile der konservierenden Bodenbearbeitung sind der Erosionsschutz, die Verbesserung der Bodenstruktur und die zunehmende biologische Bodenaktivität zu nennen. Dabei sind die Verfahren bis hin zur Direktsaat im Vergleich zur krumentiefen Bearbeitung mit dem Pflug durch eine geringere Eingriffsintensität in das Bodengefüge gekennzeichnet. Es ist davon auszugehen, dass bei längeren Trockenperioden bei Mulch- und Direktsaat den Kulturpflanzen mehr Wasser zur Verfügung steht als nach Pflugeinsatz (DAMM et al., 2009). Untersuchungen von SCHMITZ et al. (2014) zeigen Vorteile einer konservierenden Bodenbearbeitung durch den gezielten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, insbesondere Glyphosat, für eine nachhaltige Landwirtschaft.

Bei der konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat ergeben sich systembedingte Probleme in der Unkrautbekämpfung. Es treten häufiger monokotyle Unkrautarten auf und die Verbreitung perennierender Arten nimmt zu. Diese mit der konservierenden Bodenbearbeitung auftretenden spezifischen Unkrautprobleme konnten mit glyphosathaltigen Herbiziden gelöst werden, die nach der Ernte oder als Vorsaat Anwendung angewendet werden. Bei der Direktsaat ohne Bodenbearbeitung (bisher nur auf 1,3 % der gesamten Ackerfläche) ist die Anwendung von Glyphosat ein Standardverfahren.

Bei der Anwendung von Glyphosat im Vorsaatverfahren gibt es allerdings Hinweise in der Literatur über Schäden an der Kulturpflanze bzw. Bestandesausdünnungen (NEUMANN et al., 2012). RÖMHELD et al. (2008) zeigten einen eingeschränkten Auflauf von Winterweizen bei Direktsaat und Glyphosatanwendung. Dagegen konnten GEHRING et al. (2012) in mehrjährigen Feldversuchen zeigen, dass eine praxisübliche Anwendung von Glyphosat im Voraufbau kein Risiko für Mais und Winterweizen darstellte. NORDMEYER (2012) stellte fest, dass bei sachgemäßer Herbizidanwendung mit geeigneter Aussaattechnik bis zu fünf Tage nach der Saat das Risiko für Schäden an den Kulturpflanzen als gering einzuschätzen ist. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen sollte der Frage nachgegangen werden, ob die Glyphosatanwendung bei Direktsaat und unterschiedlicher Bodenbearbeitungshistorie zu Schäden an der Kulturpflanze führt.

Material und Methoden

Versuchsanlage und -durchführung

Es wurden zweijährige Feldversuche in den Jahren 2013/2014 und 2014/2015 auf einer Versuchsfläche des Julius Kühn-Instituts (Sicke, Breitengrad 52.218614, Längengrad 10.627313) durchgeführt. Untersucht wurde der Einfluss von Glyphosat auf das Auflaufverhalten und den Ertrag von Winterweizen bei Direktsaat. Glyphosat wurde mit unterschiedlichen Aufwandmengen und zu verschiedenen Terminen angewendet (Tab. 1). Die Versuchsfläche zeichnet sich durch eine unterschiedliche Bodenbearbeitungshistorie aus. Seit 2001 ist der Schlag in drei Teilflächen unterteilt auf denen eine konventionelle Bodenbearbeitung mit dem Pflug (Historie I), eine reduzierte Bodenbearbeitung als Mulchsaat (Historie II) und Direktsaat mit Glyphosatanwendung (Historie III) durchgeführt wurden. Bei der Historie III lagen die jährlichen Glyphosataufwandmengen zwischen 1440 und 1800 g Aktivsubstanz/ha. Während des Versuchszeitraums erfolgten die Bodenbearbeitungsvarianten stets auf den gleichen Teilflächen. In einer dreijährigen Fruchtfolge wurden Winterweizen (2x) und Mais (1x) angebaut. Bei dem Boden des Standortes Sickte handelt es sich um einen stark schluffigen Sand mit Humusgehalten von 1,8 bis 2,1 % (Historie konventionell = 1,8 %; reduziert = 2,1 %; Direktsaat = 2,0 %).

Tab. 1 Varianten zur Direktsaat von Winterweizen bei drei Bodenbearbeitungshistorien.

Tab. 1 *Variants of direct sowing of winter wheat at three soil cultivation history.*

| Nr. | Variante | Maßnahme | Glyphosat kg Aktiv- substanz/ha | Durchführung | Saattermin 2013 | Saattermin 2014 |
|-----|----------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | GEVS | Glyphosat | 1,8 | 7 Tage vor der Saat | 08.10.2013 | 08.10.2014 |
| 2 | GDVS | Glyphosat | 3,6 | 7 Tage vor der Saat | 08.10.2013 | 08.10.2014 |
| 3 | GENS | Glyphosat | 1,8 | 5 Tage nach der Saat | 23.10.2013 | 20.10.2014 |
| 4 | GDNS | Glyphosat | 3,6 | 5 Tage nach der Saat | 23.10.2013 | 20.10.2014 |
| 5 | FVS | Flachgrubber mit Kreiselegge | - | 1 Tag vor Saat | 18.10.2013 | 15.10.2014 |

Bei den Feldversuchen zur Direktsaat wurden alle fünf Versuchsvarianten (Tab. 1) jeweils in eine der drei Bodenbearbeitungshistorien (Historie I bis III) gelegt. Die Parzellengröße betrug 6 x 54 m. Geprüft wurden die Varianten in vierfacher Wiederholung. Die Blöcke waren nebeneinander angeordnet. Die Aussaatstärke betrug 410 (2013) bzw. 415 (2014) Körner pro Quadratmeter. Die Glyphosatanwendung erfolgte sieben Tage vor oder fünf Tage nach der Aussaat (Tab. 1) mit Roundup PowerFlex (1,8 bzw. 3,6 kg Aktivsubstanz/ha) mit einer Wasseraufwandmenge von 250 l/ha. Alle anderen Pflanzenschutzmaßnahmen und die Düngung erfolgten praxisüblich. Untersucht wurden das Auflaufverhalten von Winterweizen und der Weizenertrag. Die Erfassung des Auflaufverhaltens aller Versuchsglieder erfolgte durch manuelle Bonitur vier Wochen nach der Aussaat. Der Kornertrag des Winterweizens wurde durch Kerndrusch ermittelt.

Statistische Auswertung

Statistische Auswertungen erfolgten durch multiple Mittelwertvergleiche (Fishers LSD-Verfahren) mit Statgraphics centurion (Version XV, Statpoint Technologies, Inc. USA). Das Konfidenzniveau lag bei 95 %.

Ergebnisse

Das Auflaufverhalten des Winterweizens ist bezüglich der Behandlungsvarianten für das Versuchsjahr 2013/2014 in Abbildung 1 dargestellt. Die höchsten Auflaufraten wurden bei GEVS (Historie I, konventionell), GDNS (Historie II, reduziert) und GENS (Historie III, Direktsaat) festgestellt. Bei doppelter Glyphosataufwandmenge zeigt die Variante GDVS nur bei Direktsaat signifikant geringere Auflaufraten. Eine Ausnahme bildet die Variante GDNS (Historie II, reduziert). Hier ist die Auflaufrate gegenüber der konventionellen Bodenbearbeitung und der Direktsaat signifikant erhöht. Ein Vergleich vor und nach der Saat zeigt bei unterschiedlicher Bodenbearbeitungshistorie keine signifikanten Unterschiede. Bei den Flachgrubbervarianten liegen die Auflaufraten unterhalb denen der Glyphosatvarianten (GEVS und GENS) mit einfacher und doppelter Aufwandmenge. Die höchste Streuung der Auflaufraten trat bei der Flachgrubbervariante unabhängig von der Bodenbearbeitungshistorie auf.

Für das Versuchsjahr 2014/2015 sind die Auflaufergebnisse des Winterweizens in Abbildung 2 dargestellt. Die Gesamtauflaufrate ist im Mittel höher als 2013/2014. Die Bodenbearbeitungshistorie konventionell zeigt die höchsten Auflaufraten. Bei der Historie reduziert und Direktsaat sind die Auflaufraten tendenziell niedriger. Die geringsten Auflaufraten wurden bei der Variante FVS mit Vorgeschichte reduziert und Direktsaat ermittelt. Signifikante Unterschiede ergaben sich lediglich zwischen FVS (reduziert) und GDVS (konventionell) sowie GENS (konventionell und reduziert). Bei der Glyphosatanwendung nach der Saat führte die doppelte

Aufwandmenge zu einer nicht signifikant geringeren Auflauftrate. Die Unterschiede zwischen einfacher und doppelter Glyphosataufwandmenge fielen geringer aus als im Versuchsjahr 2013/2014.

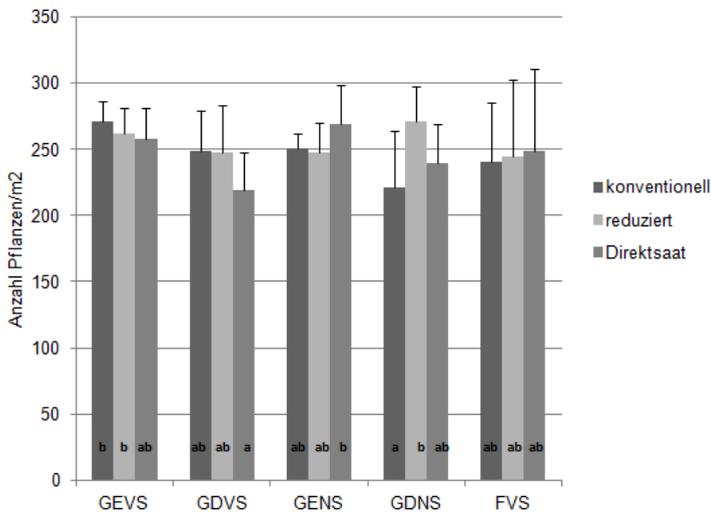


Abb. 1 Winterweizenauflauf (Pflanzen/m²) bei Direktsaat und unterschiedlicher Bodenbearbeitungshistorie – Versuch 2013/2014 - Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede bei $p \leq 0,05$.

Fig. 1 Winter wheat emergence (plants/m²) at direct sowing considering soil cultivation history – trial 2013/2014 - Columns with different letters are significantly different at $p \leq 0.05$.

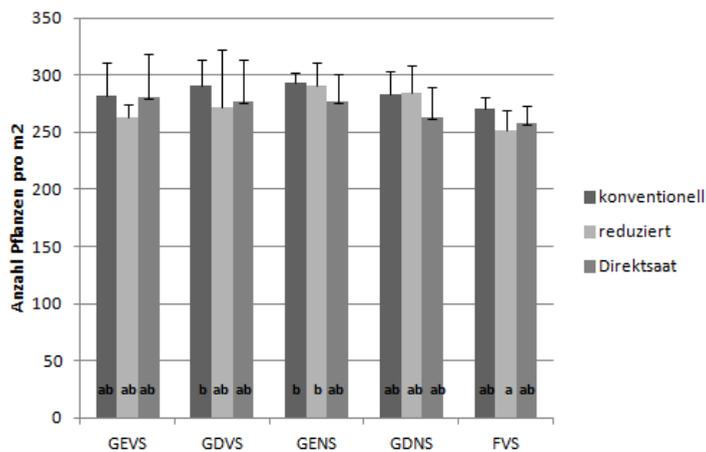


Abb. 2 Winterweizenauflauf (Pflanzen/m²) bei Direktsaat und unterschiedlicher Bodenbearbeitungshistorie – Versuch 2014/2015 - Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede bei $p \leq 0,05$.

Fig. 2 Winter wheat emergence (plants/m²) at direct sowing considering soil cultivation history – trial 2014/2015 - Columns with different letters are significantly different at $p \leq 0.05$.

Abbildung 3 zeigt die Ernteerträge des Versuchsjahres 2013/2014. Die Bodenbearbeitungshistorie konventionell zeigt durchgehend geringfügig höhere Erträge als die Historien reduziert und Direktsaat. Der Vergleich von reduziert zu Direktsaat zeigt keine eindeutigen Unterschiede. Auch

zwischen einfacher und doppelter Glyphosatmenge konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Tab. 2).

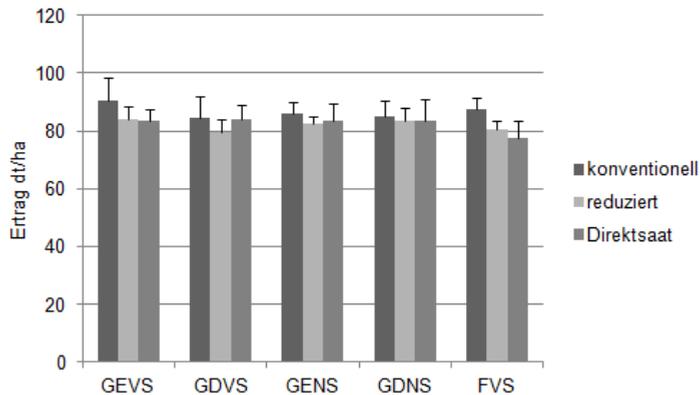


Abb. 3 Winterweizenerträge (dt/ha) – Versuch 2013/2014.

Fig. 3 Winter wheat yield (dt/ha) – trial 2013/2014.

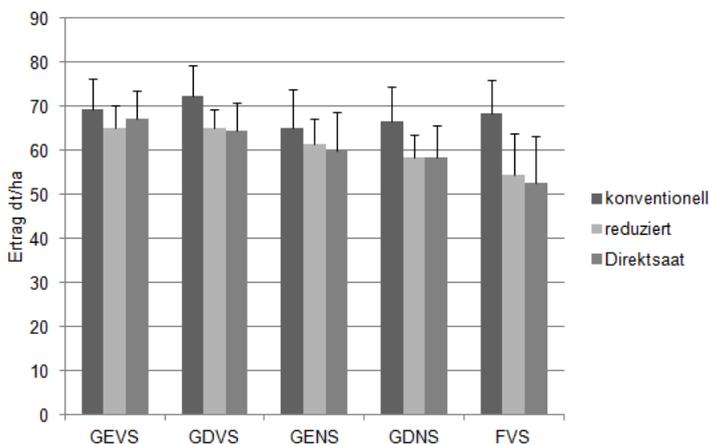


Abb. 4 Winterweizenerträge in dt/ha – Versuch 2014/2015.

Fig. 4 Winter wheat yield (dt/ha) – trial 2014/2015.

Tabelle 2 zeigt die berechneten Signifikanzen aus den multiplen Mittelwertvergleichen der Winterweizenerträge zwischen den Varianten des Versuchsjahres 2013/2014. Deutlich wird, dass insbesondere die Variante Glyphosat als Vorsaat mit 1,8 kg Aktivsubstanz/ha (GEVS) bei der Historie konventionell sich von den meisten anderen Varianten deutlich unterscheidet. Der Ertrag ist signifikant höher. Die Variante Flachgrubber (FVS) zeigt bei der Historie Direktsaat ebenfalls zu den meisten anderen Varianten Unterschiede. Hier ist der Ertrag signifikant niedriger.

Tab. 2 Signifikanzmatrix der Winterweizenerträge des Versuchsjahres 2013/2014 (Historie: I = konventionell; II = reduziert; III = Direktsaat); Multiple Mittelwertvergleiche (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$).

Tab. 2 Significance matrix of winter wheat yield of year 2013/2014 (history: I = conventional; II = reduced; III = direct sowing); multiple comparison of means (significance level $\alpha=0.05$).

| Variante | Nr. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | |
|----------|---------|---|----|-----|---|----|-----|---|----|-----|---|----|-----|---|----|-----|---|
| | | I | II | III | |
| GEVS | 1 - I | | s | s | s | s | s | - | s | s | s | s | s | - | s | s | |
| | 1 - II | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | s | |
| | 1 - III | | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | s | |
| GDVS | 2 - I | | | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | s |
| | 2 - II | | | | | | - | s | - | - | - | - | - | s | - | - | - |
| | 2 - III | | | | | | | | - | - | - | - | - | - | - | - | s |
| GENS | 3 - I | | | | | | | | | - | - | - | - | - | - | - | s |
| | 3 - II | | | | | | | | | | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3 - III | | | | | | | | | | | - | - | - | - | - | s |
| GDNS | 4 - I | | | | | | | | | | | | - | - | - | - | s |
| | 4 - II | | | | | | | | | | | | | - | - | - | s |
| | 4 - III | | | | | | | | | | | | | | - | - | s |
| FVS | 5 - I | | | | | | | | | | | | | | | s | s |
| | 5 - II | | | | | | | | | | | | | | | | - |
| | 5 - III | | | | | | | | | | | | | | | | |

s = signifikante Unterschiede der Winterweizenerträge

Tabelle 3 zeigt die berechneten Signifikanzen aus den multiplen Mittelwertvergleichen der Winterweizenerträge des Versuchsjahres 2014/2015. Der Ertrag unterscheidet sich insbesondere in der Variante Glyphosat als Vorsaat mit 3,6 kg Aktivsubstanz/ha (GDVS) bei der Historie konventionell von den meisten anderen Varianten signifikant. Die Varianten 5-II und 5-III (Flachgrubber – Historie Direktsaat) zeigen ebenfalls zu den meisten anderen Varianten Unterschiede. Der Ertrag ist hier signifikant niedriger.

Tab. 3 Signifikanzmatrix der Winterweizenerträge des Versuchsjahres 2014/2015 (Historie: I = konventionell; II = reduziert; III = Direktsaat); multiple Mittelwertvergleiche (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$).

Tab. 3 Significance matrix of winter wheat yield of year 2014/2015 (history: I = conventional; II = reduced; III = direct sowing); multiple comparison of means (significance level $\alpha=0.05$).

| Variante | Nr. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
|----------|---------|---|----|-----|---|----|-----|---|----|-----|---|----|-----|---|----|-----|
| | | I | II | III |
| GEVS | 1 - I | | - | - | - | - | - | - | - | s | - | s | s | - | s | s |
| | 1 - II | | | - | s | - | - | - | - | - | - | - | - | - | s | s |
| | 1 - III | | | | - | - | - | - | - | - | - | s | s | - | s | s |
| GDVS | 2 - I | | | | | s | s | s | s | s | - | s | s | - | s | s |
| | 2 - II | | | | | | - | - | - | - | - | - | - | - | s | s |
| | 2 - III | | | | | | | - | - | - | - | - | - | - | s | s |
| GENS | 3 - I | | | | | | | | | - | - | - | - | - | - | s |
| | 3 - II | | | | | | | | | | - | - | - | - | s | s |
| | 3 - III | | | | | | | | | | | - | - | s | - | s |
| GDNS | 4 - I | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 - II | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 - III | | | | | | | | | | | | | | | |
| FVS | 5 - I | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 - II | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 - III | | | | | | | | | | | | | | | |

s = signifikante Unterschiede der Winterweizenerträge

Diskussion

Die Ergebnisse der beiden Versuchsjahre zeigen, dass bei Direktsaat von Winterweizen bei unterschiedlicher Bodenbearbeitungshistorie mit einfacher, praxisüblicher Aufwandmenge keine Auflaufschäden an der Kulturpflanze zu erwarten sind. Auch nach langjähriger Direktsaat mit Glyphosatanwendung (Historie III) konnten keine negativen Auswirkungen festgestellt werden. Dies bestätigt die Ergebnisse von GEHRING et al. (2012), dass die Anwendung von Glyphosat kein Risiko für Winterweizen bei Direktsaat darstellt. Auch NORDMEYER (2012) zeigte, dass bei sorgfältiger Aussaat und Anwendung von Glyphosat keine signifikanten negativen Auswirkungen zu erwarten sind. Allerdings zeigten sich in den vorliegenden Versuchen bei doppelter Glyphosatmenge in einigen Fällen geringfügig geringere Auflaufraten. Dies hatte jedoch 2014/2015 keine signifikanten Auswirkungen auf den Weizenertrag. Lediglich die Flachgrubervariante ohne Glyphosat zeigte deutliche Ertragsminderungen bei der Historie reduziert und Direktsaat. Auflaufschäden in dem Ausmaß, wie sie von RÖMHELD et al. (2008) und NEUMANN et al. (2012) berichtet wurden, konnten nicht bestätigt werden.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Anwendung glyphosathaltiger Herbizide mit den zugelassenen Aufwandmengen bis fünf Tage nach der Saat kein Risiko für die Kulturpflanze darstellte. Somit können die auftretenden Unkrautprobleme bei der konservierenden Bodenbearbeitung gelöst werden.

Glyphosathaltige Herbizide sind somit weiterhin wichtige Bausteine in der konservierenden Bodenbearbeitung. Insbesondere auch auf Grund der Tatsache, dass wirkungsäquivalente Herbizide für diesen Anwendungsbereich nicht zur Verfügung stehen.

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei Annika Behme für die engagierte Betreuung der Versuche.

Literatur

- BUNDESGESETZBLATT, 2012: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundesbodenschutzgesetz – BbodSchG). Bundesgesetzblatt I S. 212.
- DAMM, S., J. BISCHOFF, B. HOFMANN und O. CHRISTEN, 2009: Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Bodenwasserhaushalt und die Pflanzenentwicklung bei Winterweizen im mitteldeutschen Trockengebiet. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **21**, 171-172.
- DBV, 2014: Deutscher Bauernverband: Landwirtschaftliche Produktionsmethoden. Situationsbericht 2014/2015. Trends und Fakten zur Landwirtschaft. www.bauernverband.de/situationsbericht-2015-projekt.
- GEHRING, K., S. THYSSEN und T. FESTNER, 2012: Folgewirkung von Glyphosat-Behandlungen auf nachgebaute Kulturen. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 419-426.
- NEUMANN, G., V. RÖMHELD, J. AFZAL, S. BOTT und T. TESFAMARIAM, 2012: Was passiert an der Wurzel. *DLG-Mitteilungen* **2**, 26-29.
- RÖMHELD, V., NEUMANN, G., S. BOTT und T. TESFAMARIAM, 2008: Fehler mit Totalherbiziden vermeiden. *DLZ Agrarmagazin* **9**, 44-46.
- NORDMEYER, H., 2012: Auswirkungen von Glyphosat auf Kulturen bei Applikation zur Aussaat. *Julius-Kühn-Archiv* **438**, 442.
- SCHMITZ, P.M., P. MAL und J.W. HESSE, 2014: The Importance of Conservation Tillage as a Contribution to Sustainable Agriculture: A Special Case of Soil Erosion. Ed. Institute for Agribusiness, *Agribusiness-Research* **32**, Giessen.
- STEINMANN, H.H., M. DICKEDUISBERG und L. THEUVSEN, 2012: Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. *Crop Protection* **42**, 164-169.
- TESFAMARIAM, T., S. BOTT, I. ÇAKMAK, V. RÖMHELD und G. NEUMANN, 2009: Glyphosate in the rhizosphere – Role of waiting times and different glyphosate binding forms in soils for phytotoxicity to non-target plants. *European Journal of Agronomy* **31**, 126-132.

Sektion 5: Entwicklungen bei Herbiziden

Section 5: Developments in herbicides

Arylex™ active – new herbicide active and base for new cereals herbicides: Zypar™ and Pixxaro™ EC to control wide range of broadleaf weeds in cereals in Europe

Arylex™ active – ein neuer herbizider Wirkstoff als Basis für neue Getreideherbizide: Zypar und Pixxaro EC zur Bekämpfung von dikotyler Verunkrautung in Getreide in Europa

Marcin Dzikowski¹, Jörg Becker¹, Dominique Larelle², Benedikt Kamerichs¹, Roger Gast³

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

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

³Dow AgroSciences LLC, 9330 Zionsville Rd, Indianapolis, IN 46268, USA

*Corresponding author, mddzikowski@dow.com



DOI 10.5073/jka.2016.452.040

Abstract

Arylex™ active is a new auxinic herbicide for postemergence control of a range of important broadleaf weeds in cereals. It has been discovered and developed by Dow AgroSciences globally as a first member of the new 'arylpicolinate' structural class. Arylex applied together with safener brings excellent crop safety and due to the rapid degradation in soil and plant tissue it does not limit the following crop choice. In Europe the first two herbicides containing this active are Zypar™ and Pixxaro™ EC. Zypar is a premix of Arylex and florasulam, delivering at the 1 L/ha maximum use rate 6 g ae/ha of Arylex and 5 g/ha of florasulam. It can be applied to all cereals, apart from oats, in autumn and spring. Spring application is allowed from BBCH 13 till BBCH 45, however the best performance is reached up to BBCH 32. Zypar's spectrum of controlled weeds is very wide. Pixxaro EC is a combination of Arylex and fluroxypyr and at 0.5 l/ha dose rate delivers 6 g ae/ha of Arylex and 140 g ae/ha of fluroxypyr. It can be applied in all cereals, apart from oats, in spring from BBCH 13 till BBCH 45, while the best performance is observed between BBCH 30 and 45. Pixxaro EC shows excellent efficacy against key weeds, especially *Galium aparine* and at all growth stages. This herbicide brings a novel non-ALS solution and will be a key component of anti-resistance strategies for broadleaf weeds in cereals

Keywords: Arylex, broadleaf weed control, cereals, Pixxaro EC, Zypar

Zusammenfassung

Arylex ist ein neuer Wirkstoff aus der Gruppe der Auxin-ähnlichen Herbizide für die Nachauflauf-Bekämpfung von wichtigen zweikeimblättrigen Unkräutern. Der Wirkstoff wurde global von Dow AgroSciences entwickelt und hat ein sehr breites Unkrautspektrum. Arylex wird zusammen mit einem Safener appliziert, hat eine gute Kulturpflanzenverträglichkeit und wegen des schnellen Abbaus im Boden und in der Pflanze gibt es keine Restriktionen bei der Wahl der Kulturen für den Nachbau. In Europa sind die ersten beiden Herbizide, die Arylex enthalten: Zypar und Pixxaro EC. Zypar enthält Arylex und Florasulam, mit der maximalen Aufwandmenge von 1 l/ha werden 6 g ae/ha Arylex und 5 g/ha Florasulam appliziert. Zypar ist in allen Getreidearten außer Hafer sehr gut verträglich und der für die Zulassung angestrebte Einsatzzeitraum ist Herbst und Frühjahr. Die Frühjahrsanwendung kann von BBCH 13 bis BBCH 45 erfolgen, wobei die beste Wirksamkeit bis BBCH 32 erreicht wird. Das Wirkungsspektrum von Zypar ist sehr breit. Pixxaro EC ist eine Kombination aus Arylex und Fluroxypyr und wird mit einer Aufwandmenge von 0,5 l/ha angewendet, wobei 6 g ae/ha Arylex und 140 g ae/ha Fluroxypyr zum Einsatz kommen. Es kann in allen Getreidearten außer Hafer im Frühjahr von BBCH 13 bis BBCH 45 ausgebracht werden, wobei der empfohlene Anwendungstermin zwischen BBCH 30 und BBCH 45 liegt. Das Herbizid stellt aufgrund seiner Zusammensetzung, ausschließlich von Wirkstoffen mit einem Auxin-ähnlichen Wirkungsmechanismen, einen neuen und wichtigen Baustein im Antiresistenzmanagement dikotyler Unkräuter dar.

Stichwörter: Arylex, Bekämpfung dikotyler Unkräuter, Getreide, Pixxaro EC, Zypar

Introduction

Today's agriculture requires efficient and reliable control of weeds as a key factor in getting high and healthy yield of cereal crop (NEURURER, 1969). Recent trends of reducing soil cultivation and limiting diversity among rotated crops due to the economics are leading to a change in dominating species (PALLUT and GÜNTHER, 2006) as well as appearing resistance within broadleaf weeds (KLINGENHAGEN, 2013). Additionally number of available herbicide actives is decreasing within European Union and farmers have to rely in cereals mostly on the ALS-inhibitors group of herbicides. This group of herbicides with recent breeding trends is already used in oilseed crops like oilseed rape or sunflower and there might be other like sugar beet. That puts ALS-inhibitors at very high risk in terms of resistance.

In the recent years there have not been many new actives developments in the world of herbicides globally. Since the last introduction of pyroxsulam herbicide from ALS-inhibitors group in 2009 (BECKER et al., 2008) by Dow AgroSciences in Germany there was no other new active ingredient launch in cereals in this country. Dow AgroSciences has now developed a new active ingredient called Arylex™ which targets traditional broadleaf weeds segment. Based on this molecule two new herbicides have been developed: GF-2644 (Arylex + florasulam) with trade name Zypar™ and GF-2819 (Arylex + fluroxypyr) with trade name Pixxaro™ EC.

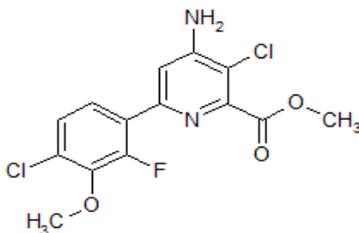
Materials and Methods

Field tests of Arylex started already in 2008 globally while Zypar and Arylex are tested in field trials across Europe since 2011. Data shown here are coming from field trials carried out in Germany, United Kingdom, France, Belgium, Poland and Czech Republic, with four replicates and completely randomized blocks design and plot size between 20 and 30 m². Visual selectivity as well as the influence on the yield of the crop was evaluated mostly in weed-free selectivity trials, but also in efficacy trials.

Characteristics of Arylex (halauxifen-methyl ISO provisionally approved name)

Chemical and physical properties

| | |
|--------------------|---|
| Chemical name | methyl 4-amino-3-chloro-6-(4-chloro-2-fluoro-3-methoxyphenyl)pyridine-2-carboxylate |
| Chemistry | Arylpicolinate |
| Chemical structure | |



| | |
|---------------------------|--|
| Empirical formula | C ₁₄ H ₁₁ Cl ₂ FN ₂ O ₃ |
| Molecular weight | 345.17 g/mol |
| Melting point | 145.5 °C |
| logP _{ow} | pH7 = 3.76 |
| Aqueous photostability | 0.129 hours at pH7 |
| Solubility (mg/L at 20°C) | Water at pH5 (1.66), pH7 (1.67), pH9 (1.69) |

Mammalian toxicology

| | |
|-------------------|---|
| Acute oral | LD50>5000 mg/kg (rat) |
| Acute dermal | LD50>5000 mg/kg (rat) |
| Eye irritation | Mild irritation, resolved in 24 hours (rabbit) |
| Dermal irritation | Mild irritation, resolved in 24 hours (rabbit) |
| Adverse effects | not genotoxic, not immunotoxic, not neurotoxic, not carcinogenic, not a reproductive toxicant |

Environmental toxicology

| | |
|-------------------|----------------------|
| Bird acute oral | LD50>2250 mg/kg bw |
| Rainbow trout | LC50>2.01 mg/L |
| Daphnia magna | EC50>2.12 mg/L |
| Honey bee (oral) | LD50>108 µg/bee |
| Earthworm (acute) | LC50>1000 mg/kg soil |
| Green alga | EC50>0.245 mg/L |

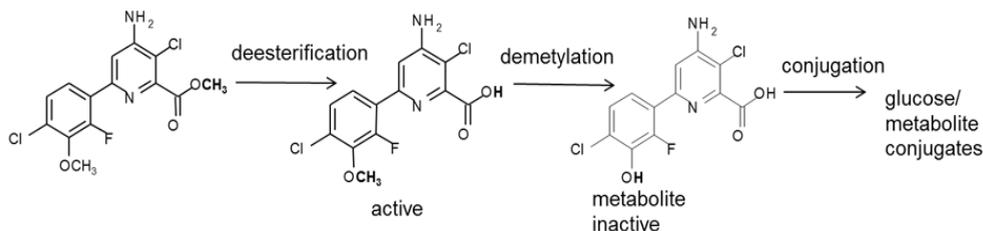
Arylex™ active is practically non-toxic to terrestrial species, it exhibits moderate toxicity to fish and aquatic invertebrates and moderate to high toxicity to freshwater and marine algae.

Fate in soil

Dissipation of Arylex (halauxifen-methyl) occurs rapidly via microbial degradation to halauxifen-acid and to non-active compounds with an average DT_{50} of 1.5 days under aerobic laboratory conditions for Arylex and with an average DT_{50} of 17 days for halauxifen-acid in European soils. Arylex photolysis on soil surface is negligible. With an average K_{oc} value of 1418 ml/g Arylex binds strongly to soils an average K_{oc} of 179 ml/g for halauxifen-acid indicates some weaker sorption; field dissipation studies showed limited movement in the soil profile of either Arylex or halauxifen-acid with residues mainly detected in the top 15 cm of the soil profile. Arylex has a very low vapor pressure (5.9×10^{-9} at 20 °C) and is not volatile.

Uptake, mode of action and fate in plants

Arylex is a synthetic auxin and belongs to HRAC class O. It is systemically mobile in phloem and xylem and rapidly absorbed through leaves, shoots and roots. Arylex is rapidly deesterified to halauxifen-acid in sensitive species, in tolerant cereal crops Arylex is slowly deesterified coupled with more rapid demethylation. The safener cloquintocet-mexyl increases the rate of demethylation and conjugation prior to the formation halauxifen-acid.



Arylex degradation in wheat is rapid. To susceptible weed species Arylex causes typical symptoms of synthetic auxins such as stopping of growth, stem and petiole twisting, leaf deformation, sticking and splitting of stems. Symptoms can occur within a few hours depending on environmental conditions.

Crop rotation

Arylex™ active degrades in the soil to halauxifen-acid which is then metabolized to non-active compounds. Dissipation of Arylex occurs primarily through microbial degradation therefore soil moisture, temperature and organic matter levels will have the greatest influences on dissipation rate. Under European conditions all crops can be safely grown in the season followed the application whatever the soil cultivation method is. In the case of growing a second crop such as soybeans, lentils or clover in the year of application of Arylex ploughing is recommended as a suitable soil cultivation technique.

Selectivity

Spring and winter varieties of wheat (including durum), spelt, barley, rye and triticale show good tolerance to Arylex formulations at projected single and double application rates. Oats do not have adequate tolerance at practical use rates. Crop selectivity will be optimized in all European formulations with the addition of the safener cloquintocet.

Efficacy spectrum

Arylex herbicide controls a broad range of important weeds in cereal markets such as *Galium aparine* (GALAP), *Lamium purpureum* (LAMPU), *Fumaria officinalis* (FUMOF), *Geranium sp.* (GERSS), *Myosotis arvensis* (MYOAR), *Papaver rhoeas* (PAPRH), *Capsella bursa-pastoris* (CAPBP), *Centaurea cyanus* (CENCY) in winter cereals and *Chenopodium album* (CHEAL), *Galeopsis tetrahit* (GAETE) and *Stellaria media* (STEME) in spring cereals (Fig. 1) including biotypes resistant to other modes of action such as ALS inhibitors. But unlike other synthetic auxin herbicides, the activity of Arylex on some weed such as *Galium aparine* (GALAP) is not seriously influenced by temperature (Fig. 2).

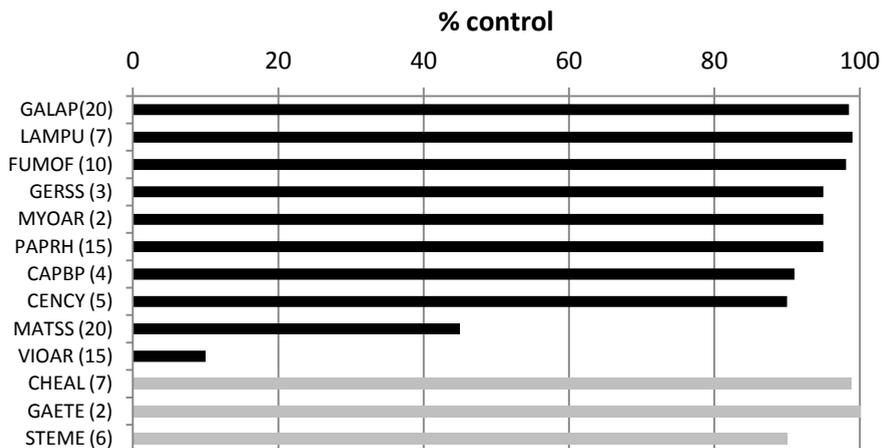


Fig. 1 Efficacy of Arylex on dicots at 6 g ae/ha when spring applied in winter (black bar) and spring (grey bar) cereals – data from North F, DE, UK, Benelux, PL, CZ in 2010-2014.

Abb. 1 Wirkung von Arylex gegen dikotyle Unkräuter bei der Aufwandmenge 6 g ae/ha appliziert im Frühjahr in Winter-(schwarze Balken) und Sommergetreide (graue Balken) – Daten aus Nord F, DE, UK, Benelux, PL, CZ in 2010-2014.

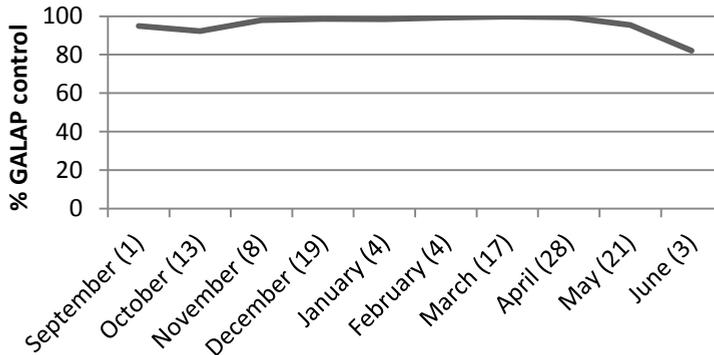


Fig. 2 Efficacy of Arylex™ active on *Galium aparine* (GALAP) by month of application (data from DE, UK, Benelux in 2009-2013).

Abb. 2 Wirkung von Arylex gegen *Galium aparine* (GALAP) in Abhängigkeit vom Monat der Behandlung (Daten aus DE, UK, Benelux in 2009-2013).

Characteristics of Zypar™ herbicide

| | |
|------------------------|--|
| Ingredients: | Arylex 6 g ae/L Florasulam 5 g/L Cloquintocet-mexyl 6 g/L |
| Formulation type: | OD (oil dispersion) |
| Recommended dose rate: | 1 L/ha |
| Application timing: | BBCH 13-45 |
| Mode of action: | Synthetic auxin - Arylex Acetolactate synthase inhibitor (ALS) - florasulam |

Characteristics of Pixxaro™ EC herbicide

| | |
|------------------------|--|
| Ingredients: | Arylex 12 g ae/L Fluroxypyr 280 g ae/L Cloquintocet-mexyl 12 g/L |
| Formulation type: | EC (emulsified concentrate) |
| Recommended dose rate: | 0.5 L/ha |
| Application timing: | BBCH 13-45 |
| Mode of action: | Synthetic auxin – both compounds |

Results

Field performance of Zypar™ herbicide

Zypar is a broadleaf weed herbicide that contains new active Arylex™ and florasulam known already from various herbicides already registered globally like Primus in Germany. Zypar is formulated as an innovative oil dispersion (OD), which contains an adjuvant (methylated seed oil) at the rate 720 g/L. The maximum use rate of Zypar is 1 L/ha which corresponds to an Arylex rate of 6 g ae/ha and a florasulam rate of 5 g ai/ha. Depending on the country Zypar can be applied from BBCH 13 to BBCH 45. Thanks to the safener – cloquintocet mexyl – that is included in the product composition Zypar shows very good selectivity in a wide application window in all cereals

apart from oats. Trials carried out in winter soft wheat, winter triticale, winter barley, winter rye, winter durum wheat, spelt as well as spring barley, spring soft wheat and spring durum wheat showed no symptoms at all in most cases. Zypar does not influence negatively the yield of the treated crop (Tab. 1). Zypar degrades rapidly after application and all following crops can be grown under normal rotation. Zypar is a flexible product which can be used in autumn and spring.

Tab. 1 Impact on yield of Zypar applied in spring at single and double rate in various crops expressed as percent of yield harvested on the untreated (t/ha at grain moisture = 14%), data from France, Germany, UK, Belgium, Poland 2010-2014.

Tab. 1 Einfluss von Zypar auf den Ertrag bei Anwendung der einfachen und doppelten Aufwandmenge im Frühjahr in verschiedenen Getreidearten, dargestellt in Prozent relativ zum Ertrag (bei 14 % Kornfeuchte) der Kontrollparzellen. Daten aus Frankreich, Deutschland, England, Belgien und Polen, 2010-2014.

| Crop | Yield after Zypar at 1 L/ha | Yield after Zypar at 2 L/ha | Number of trials |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|
| Winter soft wheat | 103.2% | 101.2% | 12 |
| Winter barley | 100.9% | 102.4% | 9 |
| Winter triticale | 101.8% | 100.7% | 6 |
| Winter rye | 101.5% | 102.8% | 4 |
| Spring barley | 104.0% | 103.2% | 6 |
| Spring wheat | 101.6% | 102.3% | 3 |

When applied at the beginning of spring (BBCH 13-32), Zypar controls a wide range of broadleaf weeds including key species such as *Galium aparine*, *Matricaria* spp., *Galeopsis tetrahit*, *Thlaspi arvense*, *Lamium* spp., *Geranium* spp., *Fumaria officinalis*, *Papaver rhoeas*, *Chenopodium album*, *Centaurea cyanus*, *Polygonum convolvulus*, *Stellaria media*, Cruciferae weeds and others (Tab.2).

Tab. 2 Percent of efficacy of Zypar applied in spring at 1 L/ha in winter and spring cereals at BBCH 13-32 achieved 6-10 weeks after application, data from Germany, UK, Belgium and the Netherlands 2010-2014.

Tab. 2 Wirkung von Zypar appliziert mit 1 L/ha im Frühjahr in Winter- und Sommergetreide zu BBCH 13-32, Bonituren 6-10 Wochen nach der Behandlung. Daten aus Deutschland, England, Belgien und den Niederlanden, 2010-2014.

| Weed name | Zypar efficacy at 1 L/ha | Number of trials |
|------------------------------|--------------------------|------------------|
| <i>Galium aparine</i> | 99.8% | 15 |
| <i>Matricaria</i> sp. | 100% | 6 |
| <i>Galeopsis tetrahit</i> | 100% | 4 |
| <i>Thlaspi arvense</i> | 100% | 2 |
| <i>Lamium purpureum</i> | 99.2% | 7 |
| <i>Geranium</i> sp. | 99.1% | 3 |
| <i>Fumaria officinalis</i> | 98.5% | 14 |
| <i>Papaver rhoeas</i> | 97% | 11 |
| <i>Chenopodium album</i> | 96.3% | 6 |
| <i>Centaurea cyanus</i> | 93.6% | 7 |
| <i>Polygonum convolvulus</i> | 93.6% | 7 |
| <i>Stellaria media</i> | 92.8% | 13 |
| Volunteers of oilseed rape | 92.7% | 11 |

Field performance of Pixxaro™ EC herbicide

Pixxaro EC is a second broadleaf weed herbicide that contains new active Arylex™ and fluroxypyr known from Starane™ 180. Pixxaro EC is formulated in the form of modern emulsified concentrate (EC) containing methylated seed oil as an adjuvant and solvent at the same time. The maximum use rate is 0.5 L/ha which delivers Arylex at 6 g ae/ha and fluroxypyr at 140 g ae/ha. Pixxaro EC is a flexible herbicide that can be applied from BBCH 13 to BBCH 45, from February to June. Due to the composition containing safener – cloquintocet mexyl – Pixxaro EC shows very good selectivity in a

wide application window in all cereals apart from oats. Many field trial results indicate that Pixxaro EC does not influence negatively the yield of the treated crop (Tab. 3). After Pixxaro EC applications in cereals all crops can be planted under normal rotation regime.

Tab. 3 Impact on yield of Pixxaro EC applied in spring at single and double rate in various cereal crops expressed as percent of yield harvested on the untreated (t/ha at grain moisture = 14%), data from France, Germany, UK, Belgium, Poland 2010-2014.

Tab. 3 Einfluss von Pixxaro EC auf den Ertrag bei Anwendung der einfachen und doppelten Aufwandmenge im Frühjahr in verschiedenen Getreidearten, dargestellt in Prozent relativ zum Ertrag (bei 14 % Kornfeuchte) der Kontrollparzellen. Daten aus Frankreich, Deutschland, England, Belgien und Polen, 2010-2014.

| Crop | Yield after Pixxaro EC | Yield after Pixxaro EC | Number of trials |
|-------------------|------------------------|------------------------|------------------|
| | at 0.5 L/ha | at 1 L/ha | |
| Winter soft wheat | 105.1% | 101.2% | 11 |
| Winter barley | 102.7% | 102.4% | 7 |
| Winter triticale | 101.8% | 100.7% | 5 |
| Winter rye | 101.5% | 102.8% | 5 |
| Spring barley | 103.7% | 102.6% | 5 |
| Spring wheat | 102.8% | 103.1% | 4 |

When applied from tillering to BBCH 32, Pixxaro EC exhibits very good control of *Galium aparine*, *Galeopsis tetrahit*, *Lamium spp.*, *Polygonum convolvulus*, *Fumaria officinalis*, *Stellaria media*, *Centaurea cyanus*, *Chenopodium album*, *Papaver rhoeas* and other weeds (Tab. 4). Pixxaro EC combines two auxinic actives and is therefore designed to control weeds resistant to other modes of action like ALS-inhibitors.

Tab. 4 Percent of efficacy of Pixxaro EC applied in spring at 0.5 L/ha in winter and spring cereals at BBCH 25-32 achieved 6-10 weeks after application, data from Germany, UK, Belgium, and the Netherlands 2010-2014.

Tab. 4 Wirkung von Pixxaro EC appliziert mit 0.5 L/ha im Frühjahr in Winter- und Sommergetreide zu BBCH 25-32, Bonituren 6-10 Wochen nach der Behandlung. Daten aus Deutschland, England, Belgien und den Niederlanden, 2010-2014.

| Weed name | Pixxaro EC efficacy at 0.5 L/ha | Number of trials |
|------------------------------|---------------------------------|------------------|
| <i>Galium aparine</i> | 99.7% | 15 |
| <i>Galeopsis tetrahit</i> * | 100% | 3 |
| <i>Lamium spp.</i> | 99.4% | 7 |
| <i>Polygonum convolvulus</i> | 98.9% | 7 |
| <i>Fumaria officinalis</i> | 98.5% | 14 |
| <i>Stellaria media</i> * | 98.5% | 13 |
| <i>Centaurea cyanus</i> * | 96.5% | 7 |
| <i>Chenopodium album</i> * | 96.3% | 5 |
| <i>Papaver rhoeas</i> * | 88.4% | 11 |

* Within European Union confirmed ALS-resistant biotypes have been found

Discussion

Arylex™ active is a new herbicide in development by Dow AgroSciences for the control of broadleaf weeds. It belongs to the group of synthetic auxins (HRAC group O) and offers effective post-emergence control including herbicide resistant species at low dose rates, provides consistent weed control under adverse climatic conditions, and degrades rapidly in soils and crop plant tissues. Based on this active Dow AgroSciences developed two new herbicides: Zypar™ and Pixxaro™ EC which are two new and unique mixtures, designed for post-emergence use in winter and spring cereals. Both products offer a wide spectrum of weed control, very good crop safety, and no limitations for rotational crops. Zypar - as field data showed - has a broad spectrum of controlled broadleaf weeds. Pixxaro EC brings a novel non-ALS solution to the spring control of

broadleaf weeds in cereals. Pixxaro EC also shows very good efficacy against *Galium aparine* even at very advanced crop and weed growth stage.

™ Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow.

References

- BECKER, J., J. SCHRÖDER, D. LARELLE, I. ERDEI, U. HOMA and R. GAST, 2008: DOW 00742 H (GF-1361) A novel cereal herbicide containing a new active ingredient (pyroxsulam) and florasulam with a broad activity on grass and dicotyledonous weeds, *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XXI*, 623-628.
- BECKER, J., E. SCHMOLKE, J. ZINK, P. DANIAU and A. THOMPSON 2000: Untersuchungen zum Einfluß niedriger Temperaturen und AHL auf die Wirkung des neuen Getreideherbizides PRIMUS, *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderheft XVII*, 525-530.
- KLINGENHAGEN, G. 2013: Mais: Hüten Sie sich vor Resistenzen. *Top Agrar 04/2013*, Ackerbau, 88-92.
- NEURURER, H. 1968: Die Konkurrenz zwischen Kulturpflanzen und Unkräutern als wichtiger und beeinflussbarer Faktor in der fortschrittlichen Agrikultur, *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderheft IV* 31-35.
- NEURURER, H., E. HAIN and W. HERWIRSCH, 1988: Keimpflanzen wichtiger Ackerunkräuter und Schadgräser. *Verlagsunion Agrar Linz*.
- SCHLOTTER, P., J. ZINK, R. FORTMEIER, E. SCHMOLKE, A. THOMPSON and A. McREATH, 1988: Florasulam – ein neuer Wirkstoff zur Bekämpfung von breitblättrigen Unkräutern in Getreide. *Z. PflKrankh. Pfl.Schutz, Sonderheft XVI* 527-534.

DuPont™ Omnera™ LQM™ (DPX-SGE27) – Eine neue Generation flüssig formulierter Getreideherbizide

DuPont™ Omnera™ LQM™ (DPX-SGE27) – A new generation of liquid formulated cereal herbicides

Thomas Uhl*, Andreas Förtsch, Hans G. Drobny

DuPont de Nemours (Deutschland) GmbH, Hugenottenallee 175, D-63263 Neu-Isenburg
*Korrespondierender Autor, thomas.uhl@dupont.com



DOI 10.5073/jka.2016.452.041

Zusammenfassung

DuPont™ Omnera™ LQM™ (DPX-SGE27) (5 g/l Metsulfuron-methyl, 30 g/l Thifensulfuron-methyl, 135 g/l Fluroxypyr) stellt mit einer Aufwandmenge von 1 l/ha eine neue Lösung im Getreide gegen breitblättrige Unkräuter inkl. Klettenlabkraut (*Galium aparine*) dar. Dabei zeichnet sich DuPont™ Omnera™ LQM™ durch eine sehr gute Wirksamkeit, ein breites Wirkungsspektrum, ein breites Anwendungsfenster (BBCH 20 – 39 im Wintergetreide, BBCH 12 – 39 im Sommergetreide) und eine hohe Kulturverträglichkeit aus. DuPont™ Omnera™ LQM™ ist als Dispersion in Öl formuliert.

Mehrjährige Versuche belegen die Wirksamkeit von DuPont™ Omnera™ LQM™ z.B. gegen Echte Kamille (*Matricaria chamomilla*), Ausfallraps (*Brassica napus*), Vogelmiere (*Stellaria media*), aber auch gegen Problemunkräuter wie z.B. Windenknöterich (*Polygonum convolvulus*) und vor allem gegen Klettenlabkraut.

Stichwörter: Fluroxypyr, *Galium aparine*, Klettenlabkraut, Metsulfuron-methyl, *Polygonum convolvulus*, Thifensulfuron-methyl, Windenknöterich

Abstract

DuPont™ Omnera™ LQM™ (DPX-SGE27) (5 g/l metsulfuron-methyl, 30 g/l thifensulfuron-methyl, 135 g/l fluroxypyr) represents with an application rate of 1 l/ha a new "herbicide" solution in cereals. DuPont™ Omnera™ LQM™ is characterized by a very good efficacy, a broad weed spectrum, a broad application window (BBCH 20 – 39 in winter cereals; BBCH 12 – 39 in spring cereals) and a very good crop safety. DuPont™ Omnera™ LQM™ is formulated as oil dispersion.

Several years of field trials demonstrate the efficacy of DuPont™ Omnera™ LQM™ against mayweed (*Matricaria chamomilla*), oilseed rape (*Brassica napus*), common chickweed (*Stellaria media*), but also against difficult weeds like wild buckwheat (*Polygonum convolvulus*) and especially against catchweed bedstraw (*Galium aparine*).

Keywords: Black knotweed, cleavers, *Fallopia convolvulus*, fluroxypyr, *Galium aparine*, metsulfuron-methyl, thifensulfuron-methyl

Einleitung

Natürlich vorkommende Unkräuter stehen in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion in Konkurrenz zu den angebauten Kulturpflanzen. Sie entziehen dem angebauten Getreide Nährstoffe, Wasser, Licht und Platz. Ertragsverluste z.B. durch nur eine Ausfallraps-Pflanze pro m² werden im Weizen auf bis zu 1,61 % beziffert (KRATO und PETERSEN, 2012). Dabei kann der Sameneintrag auf den Flächen des nachfolgenden Getreides während der Rapsernte bis zu 3000 Samen/m² betragen (GULDEN et al., 2003). Nicht nur die Erträge können durch Unkräuter stark verringert sein, auch die Ernte des Getreides kann durch einen starken Besatz z.B. von Klettenlabkraut (*Galium aparine*) erheblich erschwert sein. *Galium aparine* ist das bedeutendste Unkraut im Getreideanbau (KLEFFMANN, 2015). Im Bereich der Unkräuter dominieren weiterhin die Echte Kamille (*Matricaria chamomilla*), die Vogelmiere (*Stellaria media*), der Windenknöterich (*Polygonum convolvulus*) sowie Ehrenpreis-Arten (*Veronica spp.*). DuPont™ Omnera™ LQM™, welches in Deutschland zur Zulassung ansteht, erlaubt eine effektive und nachhaltige Kontrolle dieser Unkrautarten. Die Zulassung wird angestrebt in Winterweizen, Winterroggen, Wintertriticale und Wintergerste. Die beantragte Zulassung im Sommergetreide umfasst Sommerweizen, Sommergerste und Hafer. DuPont™ Omnera™ LQM™ enthält neben Metsulfuron-methyl und Thifensulfuron-methyl den Wirkstoff Fluroxypyr. Metsulfuron-methyl und

Thifensulfuron-methyl sind der Gruppe der Acetolactatsynthase (ALS)-Hemmer zugeordnet (HRAC-Gruppe B). Fluroxypyr gehört zur chemischen Klasse der Pyridincarbonsäuren und führt zu einem Eingriff in die Eiweißbildung (HRAC-Gruppe O).

Dargestellt werden das Produktprofil, das Wirkungsspektrum, die Aufwandmengenflexibilität, sowie die Wirkungsgrade zu unterschiedlichen Anwendungsterminen.

Material und Methoden

Die Jahre 2012-2015 zeigen Versuchsergebnisse aus Europa mit DuPont™ Omnera™ LQM™ im Getreide zu praxisüblichen Behandlungsterminen. Bonitiert wurde der Wirkungsgrad (%) in den Testparzellen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Zusätzlich fand an allen Standorten eine Bonitur auf Kulturverträglichkeit statt. Alle anderen Maßnahmen in den Versuchen wie z.B. Bodenbearbeitung und Düngung wurden praxisüblich durchgeführt. Die Versuche waren 2-3 fach wiederholt angelegt.

Tab. 1 Übersicht DuPont™ Omnera™ LQM™.

Tab. 1 Overview of DuPont™ Omnera™ LQM™.

| Wirkstoffe | Wirkstoff- gehalte | Formulierung | Aufwand- menge | Kultur | Einsatz- zeitpunkt |
|---|-----------------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| Metsulfuron-methyl Thifensulfuron- methyl Fluroxypyr | 5 g/l | Dispersion in Öl | max. 1 l/ha | Winterweizen | BBCH 20 – 39 |
| | 30 g/l | | | Wintergerste | |
| | 135 g/l | | | Winterroggen | |
| | | | | Wintertriticale | |
| | | | | Sommerweizen | BBCH |
| | | | | Sommergerste | 12 - 39 |
| | | | | Sommerhafer | |

Ergebnisse

Wirkungsspektrum

Abbildung 1 zeigt das Wirkungsspektrum von DuPont™ Omnera™ LQM™ mit der vollen Aufwandmenge von 1 l/ha bei einer frühen Applikation vor dem BBCH Stadium 30 der Kultur. Es werden zahlreiche bedeutende Unkräuter wie z.B. Taubnessel-Arten (*Lamium spp.*), Storchschnabel-Arten (*Geranium spp.*), Kamille-Arten (*Matricaria spp.*), Ausfallraps (*Brassica napus*) und Vogelmiere sicher und nachhaltig bekämpft. DuPont™ Omnera™ LQM™ gewährleistet darüber hinaus eine sichere Bekämpfung der für das Sommergetreide wichtigen Knöterich-Arten (*Polygonum spp.*). Gegenüber Kornblume (*Centaurea cyanus*), Ackerstiefmütterchen (*Viola arvensis*) und Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) besitzt das Herbizid gute Wirkungsgrade. Eine Wirkungslücke zeigt sich bei dem Efeublättrigen Ehrenpreis (*Veronica hederifolia*) und dem Acker-Ehrenpreis (*Veronica agrestis*).

BBCH-Stadium 12 bis 39. Im Sinne höchster Wirkungsgrade und eines vorbeugenden Resistenzmanagements wird die Applikation von DuPont™ Omnera™ LQM™ auf kleine Unkräuter empfohlen. In der landwirtschaftlichen Praxis ist das Einhalten von Anwendungsempfehlungen jedoch nicht immer möglich. Von besonderer Bedeutung ist daher eine hohe Wirkungssicherheit unabhängig vom BBCH-Stadium des Unkrauts bei der Applikation. Abbildung 3 zeigt, dass die volle Aufwandmenge von 1 l/ha das Klettenlabkraut, unabhängig vom BBCH-Stadium bei der Applikation, sicher und mit Wirkungsgraden von über 90 % bekämpft. Selbst die um 25 % verringerte Aufwandmenge von 0,75 l/ha zeigt durchweg gute Wirkungsgrade.

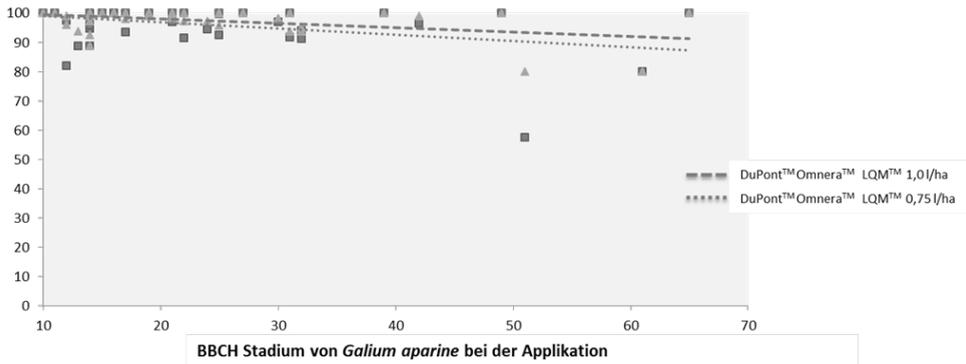


Abb. 3 Einfluss des BBCH-Stadiums von *Galium aparine* auf die Wirksamkeit von DuPont™ Omnera™ LQM™.

Fig. 3 Influence of BBCH-stage of *Galium aparine* on the efficacy of DuPont™ Omnera™ LQM™.

Diskussion

DuPont™ Omnera™ LQM™ bekämpft mit der vollen Aufwandmenge von 1 l/ha zahlreiche bedeutende Unkräuter wie z.B. Taubnessel-Arten, Storchschnabel-Arten, Kamille-Arten, Ausfallraps und Vogelmiere. Darüber hinaus ist eine sichere Bekämpfung der für das Sommergetreide wichtigen Knöterich-Arten gegeben. Eine Wirkungslücke zeigt sich lediglich bei dem Efeublättrigen Ehrenpreis und dem Acker-Ehrenpreis. Die Wirkungssicherheit gegenüber dem Unkrautspektrum entsteht durch die Kombination aus den drei Wirkstoffen Metsulfuron-methyl, Thifensulfuron-methyl und Fluroxypyr. Darüber hinaus ergänzen sich die einzelnen Wirkspektren der Wirkstoffe zu einem sehr breiten Gesamtwirkungsspektrum von DuPont™ Omnera™ LQM™. Die Kombination aus blatt- und bodenaktiven Wirkstoffen erhöht zudem die Wirkungssicherheit.

DuPont™ Omnera™ LQM™ besitzt eine sehr gute Aufwandmengenflexibilität und eine hohe Wirkungssicherheit selbst bei der Applikation auf größere Unkräuter. Eine Aufwandmengenreduktion um 25 % auf 0,75 l/ha bei der Applikation ist ohne bedeutenden Wirksamkeitsverlust auf die hier dargestellten Unkräuter möglich. Bei einer späten Applikation auf große Unkräuter – hier am Beispiel des Klettenlabkrauts – ist mit der vollen Aufwandmenge von 1,0 l/ha ebenfalls mit sehr guten Wirkungsgraden zu rechnen. Möglich wird dies durch die innovative LQM-Formulierung (Pat. pending). Sie ermöglicht eine sehr gute Anhaftung der Spritzflüssigkeit an der Blattoberfläche. Die niedrige Oberflächenspannung des Spritzbelags gewährleistet zudem eine weitreichende Benetzung der Unkrautpflanzen. So können die drei Wirkstoffe Metsulfuron-methyl, Thifensulfuron-methyl und Fluroxypyr im hohen Ausmaß in die Pflanze gelangen und können nach dem Transport an den Zielort ihre Wirkung entfalten. Damit steht der Praxis mit DuPont™ Omnera™ LQM™ eine neue, hochwirksame und sichere Möglichkeit zur Unkrautbekämpfung im Getreide zur Verfügung.

Literatur

- GULDEN, R.H., S. SHIRTLIFFE und A.G. THOMAS, 2003: Harvest losses of canola (*Brassica napus*) cause large seedbank inputs. *Weed Sci.* **51**, 83-86.
- KLEFFMANN, B., 2015: amis® crop protection report cereals Germany.
- KRATO, C. und J. PETERSEN, 2012: Schadwirkung von Ausfallraps in Weizen in Abhängigkeit der Unkrautdichte. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 451-458.

Atlantis Star – ein neues Herbizid zur Bekämpfung von Ungräsern und Unkräutern in Getreide

Atlantis Star – a new herbicide in cereals with efficacy against grasses and dicots

Dirk Kerlen*, Peter Naunheim

Bayer CropScience Deutschland GmbH, Elisabeth-Selbert-Str. 4a, 40764 Langenfeld
*Korrespondierender Autor, dirk.kerlen@bayer.com



DOI 10.5073/jka.2016.452.042

Zusammenfassung

Atlantis Star (Mesosulfuron-methyl; Iodosulfuron-methyl-sodium; Thien carbazone-methyl; Mefenpyr-diethyl) ist ein neues Getreideherbizid zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*; sensitiv und Problemstandorte), Trespens-Arten (*Bromus spec.*), Weidelgras-Arten (*Lolium spec.*), Flughafer (*Avena fatua*), Gemeinem Windhalm (*Apera spica-venti* L.), Einjährigem Rispengras (*Poa annua* L.) und einjährig zweikeimblättrigen Unkräutern. Das Produkt kann in den Kulturen Winterweichweizen (*Triticum aestivum* L.), Wintertriticale (*Triticale*), Winterroggen (*Secale cereale* L.), Winterhartweizen (*Triticum durum* DESF.) und Dinkel (*Triticum spelta* L.) im Nachauflauf Frühjahr eingesetzt werden.

Der Beitrag befasst sich mit der Auswertung mehrjähriger Versuche hinsichtlich der Wirkung von Atlantis Star im Nachauflaufeinsatz im Frühjahr.

Stichwörter: *Alopecurus myosuroides*, Atlantis, *Avena fatua*, *Bromus spec.*, Gräser-Herbizid, *Lolium spec.*, Mesosulfuron-methyl, Thien carbazone-methyl

Abstract

Atlantis Star (mesosulfuron-methyl; iodosulfuron-methyl-sodium; thien carbazone-methyl; mefenpyr-diethyl) is a new cereal herbicide to control blackgrass (*Alopecurus myosuroides*; sensitive and high infestation), brome grass (*Bromus spec.*), ryegrass (*Lolium spec.*), wild oat (*Avena fatua*), loose silky-bentgrass (*Apera spica-venti* L.), annual meadow-grass (*Poa annua* L.) and dicot weeds. Atlantis Star can be used in winter wheat, winter triticale, winter rye, winter durum wheat and spelt.

The publication is based on efficacy trials from two years of spring application with Atlantis Star.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, Atlantis, *Avena fatua*, *Bromus spec.*, cereal herbicide, *Lolium spec.*, mesosulfuron-methyl, thien carbazone-methyl

Einleitung

Atlantis Star ist eine Weiterentwicklung von ATLANTIS WG, das eine sehr gute Wirkung gegen verschiedene Ungräser und Unkräuter hat. Durch die Kombination von Thien carbazone-methyl und den Atlantis-Wirkstoffen in Atlantis Star wird sowohl die Wirkung auf Gräser verstärkt als auch das Wirkungsspektrum gegen einjährig zweikeimblättrige Unkräuter erweitert.

Atlantis Star ist als wasserdispergierbares Granulat (WG) formuliert und enthält die Wirkstoffe Mesosulfuron-methyl 45 g/kg, Iodosulfuron-methyl-sodium 9 g/kg, Thien carbazone-methyl 22,5 g/kg und den Safener Mefenpyr-diethyl 135 g/kg. Die Aufnahme der Wirkstoffe findet hauptsächlich über das Blatt statt. Daher sollten zum Zeitpunkt der Applikation die meisten Ungräser bzw. Unkräuter schon aufgelaufen sein. Der Wirkungsschwerpunkt von Atlantis Star liegt in der Bekämpfung der Ungräser Acker-Fuchsschwanz, Trespens-Arten, Weidelgras-Arten, Flughafer, Gemeiner Windhalm und Einjähriges Rispengras und vieler einjähriger zweikeimblättriger Unkräuter. Die Zulassung für Atlantis Star wird zur Anwendung im Nachauflauf Frühjahr in Winterweichweizen, Winterroggen, Wintertriticale, Winterhartweizen und Dinkel beantragt. Die Anwendungsgebiete können der Tabelle 1 entnommen werden. Die Anwendung von Atlantis Star erfolgt in Kombination mit dem Additiv Biopower (Fettalkoholethersulfat, Natriumsalz). Dadurch wird die Wirkung insbesondere gegen Ungräser abgesichert. Anhand

nachstehender Versuchsergebnisse soll der Einsatz von Atlantis Star in der Frühjahrsanwendung diskutiert werden.

Tab. 1 Anwendungsgebiete von Atlantis Star mit beantragter Zulassung.

Tab. 1 *Fields of use of Atlantis Star with submitted registration.*

| |
|--|
| Anwendung 001 Wirkung von Atlantis Star gegen: |
| <ul style="list-style-type: none">• Acker-Fuchsschwanz (ALOMY), Gemeiner Windhalm (APESV), Einjähriges Rispengras (POAAN)• Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter in Winterweichweizen, Winterroggen, Wintertriticale, Winterhartweizen und Dinkel nach einmaliger Applikation von 0,2 kg/ha im Nachauflauf Frühjahr, BBCH Kultur 13 - 32 |
| Anwendung 002 Wirkung von Atlantis Star gegen: |
| <ul style="list-style-type: none">• Acker-Fuchsschwanz (ALOMY), Trespen-Arten (BROSS), Weidelgras-Arten (LOLSS), Flughäfer (AVEFA)• Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter (TTTDS) in Winterweichweizen, Wintertriticale und Winterhartweizen nach einmaliger Applikation von 0,333 kg/ha im Nachauflauf Frühjahr, BBCH Kultur 13 - 32 |

Material und Methoden

Atlantis Star wird seit dem Frühjahr 2013 in Feldversuchen in Europa getestet. Der Schwerpunkt der angelegten Wirkungsversuche lag in der Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz, Trespen-Arten, Weidelgras-Arten, Flughäfer, Gemeinem Windhalm, Einjährigem Rispengras und einjährig zweikeimblättrigen Unkräutern.

Die Versuche wurden auf Praxisflächen angelegt. Die Durchführung der Versuche erfolgte nach EPPO-Vorgaben, im Speziellen kam die Richtlinie PP 1/93 (3) „Efficacy evaluation of herbicides“ zur Anwendung (EPPO-Guideline PP1/93 (3), 2007).

Alle Versuche wurden in Form von randomisierten Blockanlagen mit einer Parzellengröße von mindestens 12,5 m² mit drei bzw. vier Wiederholungen durchgeführt.

Die Applikationen erfolgten entsprechend der geprüften Indikationen im Nachauflauf Frühjahr mit einem Kulturstadium BBCH 13 bis BBCH 32 des Wintergetreides.

Bonitiert wurde nach EPPO-Vorgaben sowohl die Wirkung auf Unkräuter und Ungräser als auch die Selektivität in der Kultur. Zur Blüte der Ungräser (BBCH 61-69) wurde eine abschließende Bonitur hinsichtlich der Ungraswirkung durchgeführt.

Ergebnisse

Wirkung von 0,2 kg/ha Atlantis Star gegen Ungräser

In den Jahren 2013 bis 2015 wurde im Frühjahr in 26 Versuchen im Winterweichweizen die Leistung von Atlantis Star gegen Acker-Fuchsschwanz mit 0,2 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower bewertet. Das Vergleichsmittel ATLANTIS WG (VGM1) wurde mit 0,3 kg/ha + 0,6 l/ha bzw. 1,0 l/ha (14 Versuche) Biopower zum gleichen Termin angewandt. Wie der Abbildung 1 zu entnehmen ist, wurde die Anwendung im Kulturstadium BBCH 24 bis BBCH 32 bei einem durchschnittlichen Befall von 251 Ähren/m² durchgeführt. Atlantis Star erreichte ein Wirkungsgrad durchschnittlich 95 %. Die Schwankungsbreite lag zwischen 60 % und 100 % Wirkung gegen Acker-Fuchsschwanz. Das Vergleichsmittel konnte einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 95 % mit einer Schwankungsbreite zwischen 51 % und 100 % Wirkung gegen Acker-Fuchsschwanz erreichen.

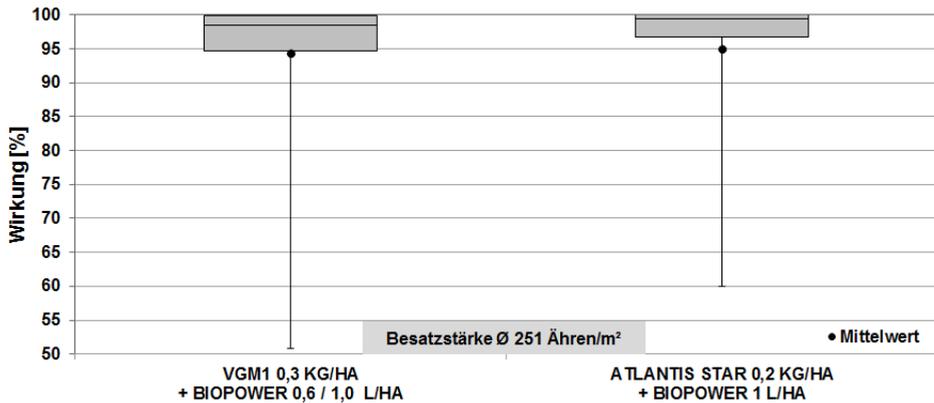


Abb. 1 Acker-Fuchsschwanzleistung auf sensiven Standorten von Atlantis Star im Nachaufaufeinsatz Frühjahr im Winterweizen (n=26; TRZAW BBCH 24 bis BBCH 32; Deutschland [12]; Polen [11]; Belgien [1] und Tschechien [2]; Saison 2013 bis 2015).

Fig. 1 Efficacy of Atlantis Star against sensitive blackgrass in post emergence spring application in winter wheat (n=26; TRZAW BBCH 24 to BBCH 32; Germany [12]; Poland [11]; Belgium [1] and Czech Republic [2]; season 2013 to 2015).

In den Windhalm-Wirkungsversuchen der Jahre 2013 und 2015 konnten sowohl Atlantis Star, das mit 0,2 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower eingesetzt wurde, als auch das Vergleichsmittel mit einer Aufwandmenge von 0,3 kg/ha + 0,6 l/ha bzw. 1,0 l/ha (58 Versuche) Biopower mit einer durchschnittlichen Wirkung von 98 % (Atlantis Star) bzw. 97 % (VGM1) überzeugen. In den 66 durchgeführten Versuchen wurde eine durchschnittliche Besatzstärke von 116 Rispen/m² bonitiert und der Einsatzzeitraum beider Produkte war im Kulturstadium BBCH 11 bis BBCH 32 des Winterweichweizens (Abb. 2).

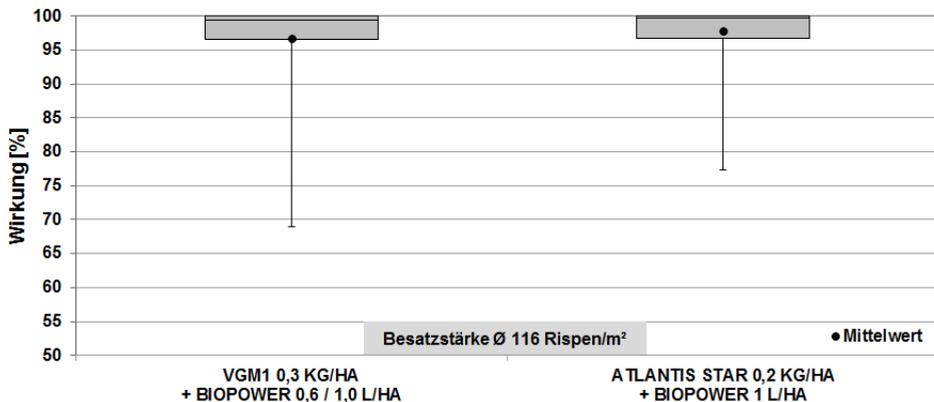


Abb. 2 Leistung Gemeiner Windhalm von Atlantis Star im Nachaufaufeinsatz Frühjahr im Winterweizen (n = 66; TRZAW BBCH 11 bis BBCH 32; Deutschland [5]; Polen [47]; Tschechien [8]; Belgien [2] und Österreich [4]; Saison 2013 bis 2015).

Fig. 2 Efficacy of Atlantis Star against silky-bentgrass in post emergence spring application in winter wheat (n=66; TRZAW BBCH 11 to BBCH 32; Germany [5]; Poland [47]; Czech Republic [8]; Belgium [2] and Austria [4]; season 2013 to 2015).

Mit einer Aufwandmenge von 0,2 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower wurde Atlantis Star auch in den acht Versuchen gegen das Einjährige Rispengras geprüft (Abb. 3). Hier fand die Anwendung ebenfalls im Entwicklungsstadium des Winterweichweizens von BBCH 25 bis BBCH 32 statt. Bei einer Befallsstärke von durchschnittlich 111 Rispen/m² wurde Atlantis Star mit Ø 96 % Wirkung gegen das Einjährige Rispengras bonitiert. Das Vergleichsmittel erreichte eine durchschnittliche Wirkung von 82 %. Das Minimum der Wirkung von Atlantis Star mit 82 % gegen das Einjährige Rispengras lag im Vergleich zum Standard wesentlich höher.

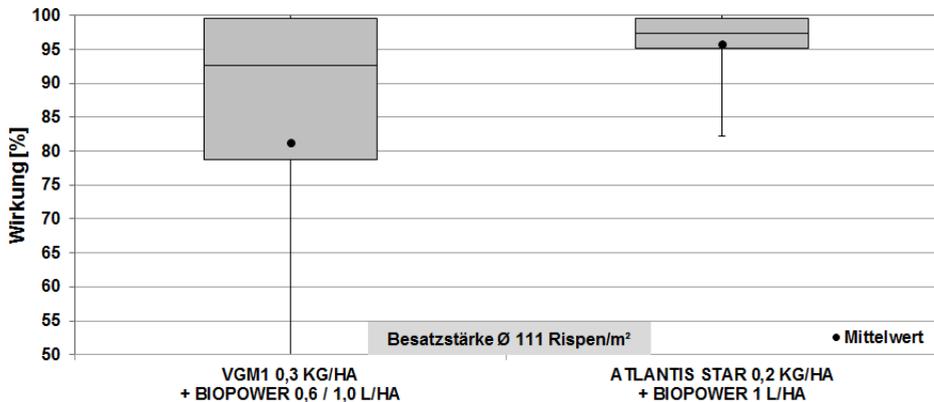


Abb. 3 Leistung Einjähriges Rispengras von Atlantis Star im Nachauflaufeinsatz Frühjahr im Winterweizen (n = 8; TRZAW BBCH 25 bis BBCH 32; Deutschland [5]; Tschechien [3] und Polen [2]; Saison 2014 bis 2015).

Fig. 3 Efficacy of Atlantis Star against silky-bentgrass in post emergence spring application in winter wheat (n=8; TRZAW BBCH 25 to BBCH 32; Germany [5]; Czech Republic [3] and Poland [2]; season 2014 to 2015).

Wirkung von 0,33 kg/ha Atlantis Star gegen Ungräser und Unkräuter

In den Jahren 2013 bis 2015 wurde Atlantis Star mit 0,333 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower auf Standorten mit hohem Besatzstärken mit Acker-Fuchsschwanz bis zu 1767 Ähren/m² getestet. Teilweise wurden auf diesen Standorten Resistenzen gegen ACCase Inhibitoren (HRAC A) oder/und mit beginnender ALS Resistenz (HRAC B) gefunden (HEAP, I., 2013). Als Vergleichs-Standard diente ATLANTIS WG (VGM1) mit einer Aufwandmenge 0,5 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower. In Abbildung 4 sind die Ergebnisse von 20 Versuchen mit einer durchschnittlichen Befallsstärke von 415 Ähren/m² dargestellt. Atlantis Star erzielte bei einer Applikation zum Kulturstadium BBCH 12 bis BBCH 30 des Winterweichweizens eine durchschnittliche Wirkung von 80 % gegen Acker-Fuchsschwanz. Das Vergleichsmittel lag mit durchschnittlich 75 % Wirkung unterhalb der Wirkung von Atlantis Star. Die Streuung der Acker-Fuchsschwanz Ergebnisse lag bei Atlantis STAR zwischen 28 % und 100 % und beim Vergleichsmittel zwischen 23 % und 100 % Wirkung.

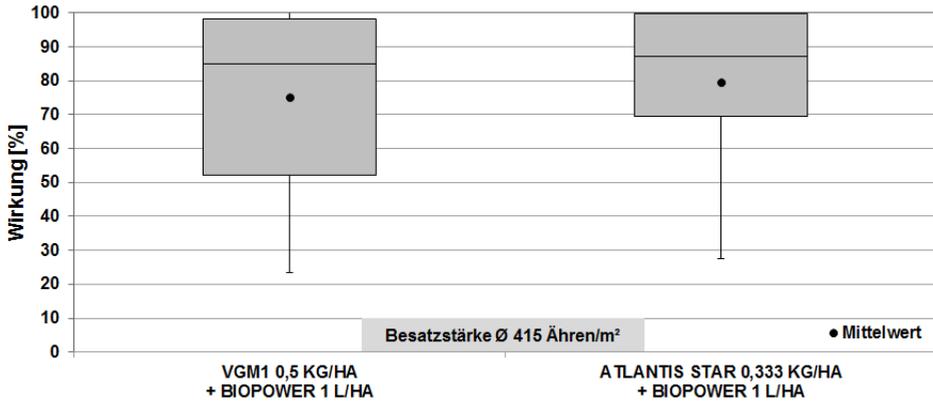


Abb. 4 Acker-Fuchsschwanzleistung auf Problemstandorten (starker Besatz; beginnende Resistenz) von Atlantis Star im Nachauflaufeinsatz Frühjahr im Winterweizen (n = 20; TRZAW BBCH 12 bis BBCH 30; Deutschland [13]; Großbritannien [7]; Saison 2013 bis 2015).

Fig. 4 Efficacy of Atlantis Star against blackgrass in post emergence spring application in winter wheat. Sites with heavy infestation and/or beginning resistance (n=20; TRZAW BBCH 12 to BBCH 30; Germany [13]; Great Britain [7]; season 2013 to 2015).

Im gleichen Zeitraum 2013 bis 2015 wurde Atlantis Star auch im Einsatz gegen Flughafer getestet. Mit der Aufwandmenge 0,333 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower wurden in 14 Versuchen in Deutschland (1), Großbritannien (3), Österreich (1), Polen (4) und Tschechien (5) gute Wirkungen beim Einsatz zum Kulturstadium BBCH 22 bis BBCH 32 des Winterweichweizens erreicht. Atlantis Star bekämpfte den Flughafer bei einer Besatzstärke von Ø 30 Rispen/m² mit durchschnittlich 96 % Wirkung und schwankte zwischen 68 % und 100 % Leistung. Das Vergleichsmittel erzielte eine Flughafer-Wirkung von durchschnittlich 91 % mit einer Schwankung zwischen 30 % und 100 %.

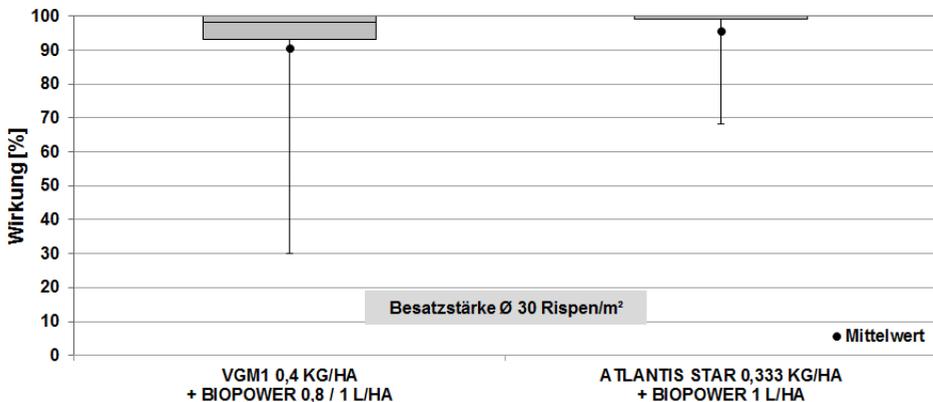


Abb. 5 Leistung von Atlantis Star gegen Flughafer im Nachauflaufeinsatz Frühjahr im Winterweizen (n = 14; TRZAW BBCH 22 bis BBCH 33; Deutschland [1];, Großbritannien [3], Österreich [1], Polen [4] und Tschechien (5); Saison 2013 bis 2015).

Fig. 5 Efficacy of Atlantis Star against wild oat in post emergence spring in winter wheat (n=14; TRZAW BBCH 22 to BBCH 32; Germany [1]; Great Britain [3]; Austria [1]; Poland [4] and Czech Republic [5]; season 2013 to 2015).

In den Jahren 2014 und 2015 wurde auch die Wirkung von Atlantis Star gegen Trespen-Arten getestet. Atlantis Star wurde mit 0,333 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower gegen den Standard mit Atlantis WG 0,5 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower geprüft. In den acht Versuchen aus Deutschland [5]; Großbritannien [1] und Tschechien [2] war die Taube Trespe mit einer durchschnittlichen Besatzstärke von 181 Rispen/m² vorherrschend (Abb. 6). Bei einem Frühjahrsinzug zum Kulturstadium BBCH 25 bis BBCH 31 des Winterweizens erreichte Atlantis Star im Durchschnitt 90 % Wirkung, während der Standard (VGM1) einen Wirkungsgrad von durchschnittlich 91 % erzielte.

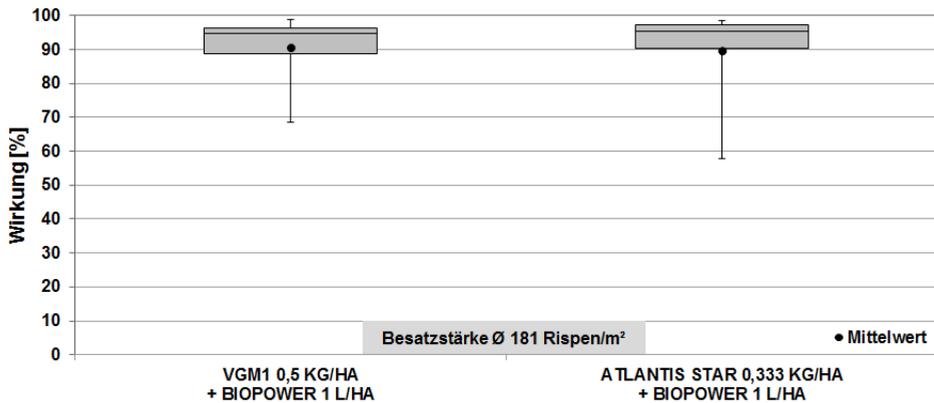


Abb. 6 Leistung von Atlantis Star gegen Taube Trespe im Nachauflaufeinsatz Frühjahr im Winterweizen (n = 8; TRZAW BBCH 25 bis BBCH 31; Deutschland [5], Großbritannien [1] und Tschechien [2]; Saison 2014 bis 2015).

Fig. 6 Efficacy of Atlantis Star against sterile brome in post emergence spring in winter wheat (n=8; TRZAW BBCH 25 to BBCH 31; Germany [5], Great Britain [1] and Czech Republic [2]; season 2014 to 2015).

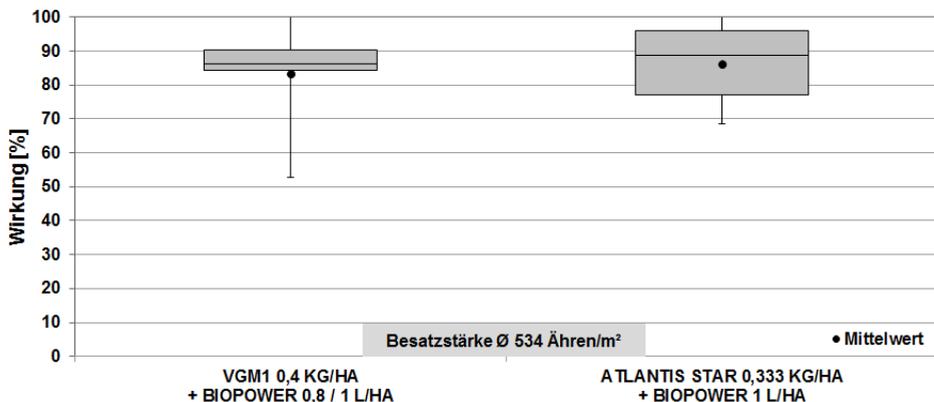


Abb. 7 Leistung von Atlantis Star gegen Deutsches Weidelgras im Nachauflaufeinsatz Frühjahr im Winterweizen (n=6; TRZAW BBCH 29 bis BBCH 32; Deutschland [4]; Großbritannien [2]; Saison 2013 bis 2014).

Fig. 7 Efficacy of Atlantis Star against perennial ryegrass in post emergence spring in winter wheat (n=6; TRZAW BBCH 29 to BBCH 32; Germany [4]; Great Britain [2]; season 2013 to 2014).

Bei der Anwendung von Atlantis Star (0,333 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower) gegen Weidelgras-Arten wurde in den 6 Versuchen der Jahre 2013 und 2014 die Wirkung gegen Deutsches Weidelgras bewertet (Abb. 7). Die Applikation erfolgte im Kulturstadium BBCH 29 bis BBCH 32. Die

Besatzstärke mit Weidelgras-Arten lag bei durchschnittlich 534 Ähren/m². Atlantis Star erreichte eine durchschnittliche Wirkung von 86 % gegen das Deutsche Weidelgras. Der Standard (VGM1) lag bei 83 % Wirkung. Die Schwankungsbreite von Atlantis Star (69 % bis 100 %) war geringer als die des Standards (53 % bis 100 %).

In den oben dargestellten 71 Versuchen aus den Jahren 2013 bis 2015 mit Schwerpunkt der Bewertung hinsichtlich der Wirkung von Atlantis Star (0,333 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower) gegen Ungräser wurden auch die einjährig zweikeimblättrigen Unkräuter bewertet. In Abbildung 8 wurden alle Unkräuter mit drei oder mehr Nennungen aufgetragen. Auch hier wurde Atlantis Star mit dem Standard ATLANTIS WG (VGM1) verglichen. In der rechten y-Koordinate wurde der durchschnittliche Unkrautdeckungsgrad in % aufgetragen (rautierte Säulen). Die Bewertung der Unkräuter fand in einem Zeitraum von 27 bis 66 Tagen nach Applikation statt. Atlantis Star konnte bei folgenden Unkräutern ausreichende bis sehr gute Wirksamkeit (größer, gleich 85 %) erreichen: Gemeines Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris* (L.) MEDICUS; CAPBP; n = 5), Kletten-Labkraut (*Galium aparine* L.; GALAP; n = 18), Schlitzblättriger Storchschnabel (*Geranium dissectum* L.; GERDI; n = 3), Echte Kamille (*Matricaria chamomilla* L.; MATCH; n = 4), Strand-Kamille (*Matricaria maritima* L.; MATMA; n = 2), Winden-Knöterich (*Polygonum convolvulus* L.; POLCO; n = 2), Acker-Hellerkraut (*Thlaspi arvense* L.; THLAR; n = 4), Feld-Ehrenpreis (*Veronica arvensis* L.; VERAR; n = 2) und Wildes Stiefmütterchen (*Viola tricolor tricolor*; VIOTR; n = 2). Mit Wirkungsgraden zwischen 50 % und 84 % wurden folgende Unkräuter erfasst: Purpurrote Taubnessel (*Lamium purpureum* L.; LAMPU; n = 3), Acker-Vergissmeinnicht (*Myosotis arvensis* (L.) HILL; MYOAR; n = 4), Vogel-Sternmiere (*Stellaria media* (L.) VILL; STEME; n = 8), Persischer Ehrenpreis (*Veronica persica* POIRET; VERPE; n = 8) und Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*; VIOAR; n = 13). Atlantis Star zeigte Wirkungsgrade unter 50 % bei folgendes Unkraut: Gemeiner Erdrach (*Fumaria officinalis*; FUMOF; n = 2).

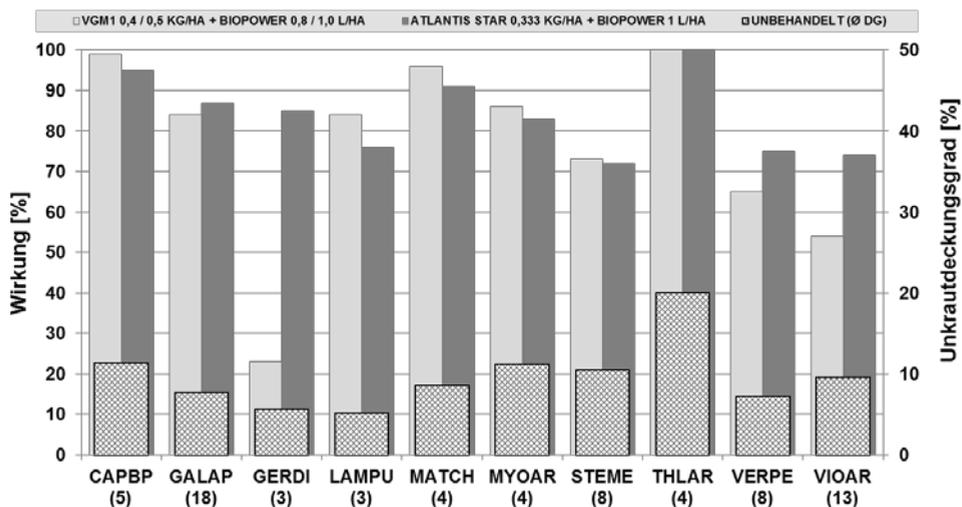


Abb. 8 Leistung von Atlantis Star gegen Dikotyle im Nachauflaufeinsatz Frühjahr im Winterweizen. Bonitur 27 bis 66 Tage nach Applikation (n = 71; TRZAW BBCH 12 bis BBCH 32; Deutschland [32]; Großbritannien [27]; Polen [14]; Tschechien [6]; Österreich [1] Saison 2013 bis 2015).

Fig. 8 Efficacy of Atlantis Star against dicots in post emergence spring in winter wheat. Assessment 27 to 66 days after application (n=71; TRZAW BBCH 12 to BBCH 32; Germany [32]; Great Britain [27]; Poland [14]; Czech Republic [6]; Austria [1] season 2013 to 2015).

Diskussion

Atlantis Star konnte in den dargestellten Versuchen seine Vorzüglichkeit bei der Bekämpfung von Ungräsern wie Acker-Fuchsschwanz, Gemeinem Windhalm, Einjährigem Rispengras, Weidelgras-Arten, Trespens-Arten und Flughafer unter Beweis stellen. Bei den einjährig zweikeimblättrigen Unkräutern erfasst Atlantis Star ein breites Spektrum.

Atlantis Star sollte immer gemeinsam mit dem Additiv Biopower ausgebracht werden, um gute Wirksamkeiten zu erreichen. In der Anwendung von 0,2 kg/ha Atlantis Star in Kombination mit 1,0 l/ha Biopower konnten Wirksamkeiten gegen sensitiven Acker-Fuchsschwanz mit 95 % Wirkung erreicht werden und somit das Wirkungsniveau des Standards übertroffen werden. In Vergesellschaftung mit Gemeinem Windhalm (APESV) oder Einjährigem Rispengras (POAAN) werden diese mit durchschnittlich 98 % (APESV) und 96 % Wirkung bei POAAN erfasst.

Die Applikation von 0,333 kg/ha Atlantis Star + 1,0 l/ha Biopower konnte auf Acker-Fuchsschwanz Problemstandorten, die sich durch hohe Besatzstärken (max. 1426 Ähren/m²) und teilweise durch Resistenzen bei ACCase Inhibitoren und/oder durch beginnende Resistenz bei ALS Inhibitoren charakterisieren, durchschnittliche Wirkungsgrade von 80 % erzielen. Flughafer wurde mit durchschnittlich 96 %, die Taube Trepse mit durchschnittlich 90 % sowie das Deutsche Weidelgras mit durchschnittlich 86 % Wirkung erfasst.

Im Vergleich zum Standard ATLANTIS WG (VGM1) zeigte Atlantis Star sowohl bei der hohen (0,333 kg/ha) als auch bei der reduzierten (0,2 kg/ha) Aufwandmenge bessere Wirksamkeiten gegenüber den geprüften Ungräsern mit Ausnahme der Tauben Trepse.

Als Fazit der dargestellten Versuche zeigt sich das Potential von Atlantis Star, das einen neuen Standard zur Bekämpfung von Ungräsern, im Besonderen Acker-Fuchsschwanz, in der Nachauflauf-Anwendung im Frühjahr in Wintergetreide setzen kann.

Literatur

EPPO-GUIDELINE PP 1/93 (3), 2007: Efficacy evaluation of herbicides, European and Mediterranean Plant Protection Organization.
HEAP, I., 2013: International Survey of Herbicide Resistant Weeds, Accessed Thursday, October 24, 2013.

Tanaris®, das neue Bodenherbizid im Winterraps für den Vor und Nachauflauf

Tanaris® – the new herbicide for weed control in pre and post emergence in oilseed rape

Johannes Bessai*, Hagen Bremer, Sascha Schläfer, Alfons Schönhammer, Herve Vantieghe

BASF SE, Agricultural Products, 67117 Limburgerhof
*Korrespondierender Autor, Johannes.Bessai@basf.com



DOI 10.5073/jka.2016.452.067

Zusammenfassung

Mit dem Produkt Tanaris® stellt die BASF ein breit wirksames Produkt zur Unkrautkontrolle im Winterraps vor. Tanaris® hat eine Zielaufwandmenge von 1,5 l/ha und enthält die beiden Wirkstoffe Dimethenamid-P (333 g/l) und Quinmerac (167 g/l). Durch die Kombination beider Wirkstoffe entstand ein Herbizid, welches eine hohe Wirkung auf wichtige Schlüsselunkräuter im Winterraps wie Kamille, Taubnessel und Ehrenpreisarten aufweist. Insbesondere die gute Klettenlabkraut-Wirkung sowie die ausgeprägte Stärke gegen Storchschnabel-Arten zeichnen das Produkt aus. Weiterhin ist Tanaris® gut kulturverträglich, unabhängig davon ob der Einsatz im Vor- oder Nachauflauf der Kultur erfolgt. Tanaris® befindet sich momentan im Zulassungsverfahren, mit einer Zulassung in Deutschland wird 2016 gerechnet.

Stichwörter: Dimethenamid-P, herbizide Wirkung, Nachauflauf, Quinmerac, Voraufbau

Abstract

With the Product Tanaris® BASF introduces a broadly effective herbicide for weed control in winter oilseed rape. Tanaris® is used at a dose rate of 1.5 l/ha and contains the active substances Dimethenamid-P (333 g/l) and Quinmerac (167 g/l). With the combination of both actives, the product is delivering high activity on most oilseed rape key weeds such as mayweeds, deadnettle and speedwell. Especially the high effectivity on cleavers and cranesbill species needs to be emphasized. Further Tanaris® is highly selective in oilseed rape in pre and post emergence. Currently Tanaris® is evaluated for registration; a registration in Germany is expected for 2016.

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

Einleitung

Im Winterraps spielen Herbizide die im Voraufbau- bis frühen Nachauflauf eingesetzt werden können eine starke Rolle im Markt. Eine Hauptanforderung an ein solches Produkt ist ein breites Wirkungsspektrum auf eine Reihe wichtiger Unkräuter. Neben den klassischerweise vorhandenen Unkräutern wie Klettenlabkraut und Kamille haben weitere Arten wie Hirtentäschel, Besenrauke sowie insbesondere die Storchschnabelarten eine steigende Bedeutung (GOERKE et al., 2008; HANZLIK und GEROWITT, 2012). Mit dem Produkt „Tanaris®“ steht den Landwirten in Zukunft ein weiteres innovatives Herbizid zur Unkrautkontrolle im Winterraps zur Verfügung. Tanaris® kann sowohl im Vor- als auch im Nachauflauf eingesetzt werden. Bei der vollen Aufwandmenge bietet Tanaris® dem Landwirt eine breite, alle wichtigen Leitunkräuter umfassende, Wirkung.

Material und Methoden

Produktbeschreibung

Bei dem Produkt Tanaris® handelt es sich um eine als Suspoemulsion (SE) formulierte Mischung der beiden bekannten BASF Rapsherbizidwirkstoffe Quinmerac (HRAC Gruppe O) und Dimethenamid-P (HRAC Gruppe K₃). Die volle Produktaufwandmenge liegt bei 1,5 l/ha. Je Liter enthält Tanaris® 333 g/l Dimethenamid-P und 167 g/l Quinmerac. Die wichtigsten Produktparameter sind auch in Tabelle 1 aufgeführt. Die Zulassung von Tanaris® wurde europaweit in 18 europäischen Mitgliedstaaten im Rahmen des zonalen Zulassungsverfahrens

eingereicht. In Großbritannien wurde die Zulassung bereits erteilt, in Deutschland wird für 2016 mit einer Zulassung des Produktes gerechnet.

Tab. 1 Produkteigenschaften Tanaris®.

Tab. 1 Product properties Tanaris®.

| Handelsname | Tanaris® | |
|---------------------|---|-----------------|
| Wirkstoffe | Dimethenamid-P | Quinmerac |
| Formulierung | | Suspension (SE) |
| Wirkstoffgehalt g/l | 333 | 167 |
| Aufwandmenge l/ha | | 1,5 |
| Anwendungstermin | Vorauslauf (BBCH 00-09) und Nachauflauf (BBCH 10-18) | |
| Kulturen | Winterraps | |
| Wirkungsspektrum | Kamillearten, Storchschnabelarten, Klettenlabkraut, Taubnesselarten, Ehrenpreisarten, Klatschmohn sowie einige Kreuzifere Unkräuter | |
| Zulassungsstand | Im zonalen Verfahren eingereicht, Zulassung in Deutschland erwartet in 2016 | |

Der Wirkstoff Dimethenamid-P zeichnet sich durch ein breites Wirkungsspektrum auf wichtige Unkräuter wie Kamillearten, Taubnesselarten, Ehrenpreisarten sowie Storchschnabelarten aus. Insbesondere im Vorauslauf werden auch Kreuzifere Unkräuter wie Hirtentäschel und Besenrauke erfasst. Quinmerac wirkt sicher auf Problemunkräuter wie Klettenlabkraut sowie auf Umbellifere Unkräuter wie Wilde Möhre, Schierling, Hundspetersilie und Hundskerbel. Zusätzlich ergänzt Quinmerac die Wirkung auf Klatschmohn, Ehrenpreisarten sowie Storchschnabelarten. Die Wirkstoffe Dimethenamid-P und Quinmerac sind schon seit vielen Jahren bekannte Wirkstoffe, die neben Raps auch in Mais, Rüben und Leguminosen eingesetzt werden. Die Wirkstoffaufnahme von Dimethenamid-P erfolgt hauptsächlich über Wurzeln und das Hypokotyl, im Nachauflauf der Unkräuter kann der Wirkstoff auch über die Kotyledonen aufgenommen werden. Im Vergleich zu anderen Wirkstoffen aus der Gruppe der Chloracetamide zeichnet sich Dimethenamid-P durch eine geringere Bindung an Ton und Humuspartikel im Boden sowie eine höhere Wasserlöslichkeit aus (ANONYM, 2014). Somit ist eine sichere Wirkung auch in schwierigen Situationen gewährleistet.

Tab. 2 Eigenschaften der Wirkstoffe Dimethenamid-P und Quinmerac.

Tab. 2 Properties of dimethenamid-P and quinmerac.

| | Dimethenamid-P | Quinmerac |
|--|---|--|
| Chemische Klasse | Chloracetamide | Synthetische Auxine |
| Wirkmechanismus | Hemmung der Synthese sehr langkettiger Fettsäuren | Wuchstoffartige Erhöhung der Ethylenproduktion gefolgt von Epinastie |
| HRAC-Gruppe | K3 | O |
| Translokation in Pflanzen | sehr gering | apo- und basipetal |
| Wasserlöslichkeit (mg/l), 20 °C | 1450 | 112 |
| Kow (log P), 20 °C | 1,89 | 1,1 |
| DT90 Freiland (Tage) | 42 | 95 |
| Dampfdruck (mPa), 25 °C | 2,5 | 0,01 |

Der Wirkmechanismus wird als Hemmung der Synthese der langkettigen Fettsäuren (VLCFA) beschrieben (HARR et al., 1991). Quinmerac wird sowohl über die Wurzel als auch über die Blätter der Unkräuter aufgenommen (BERGHAUS und WUERZER 1987; ANONYM 2007). In der Zielpflanze führt es zu einer Erhöhung der Ethylenproduktion, auf welche dann Epinastie und Absterben des

Zielunkrautes folgen (GROSSMANN und SCHELTRUP, 1995). Die wichtigsten Eigenschaften der beiden Wirkstoffe sind auch in Tabelle 2 zusammengefasst.

Versuchsdurchführung und Bonitur

Die Herbizide Wirksamkeit und Selektivität von Tanaris® wurden unabhängig voneinander jeweils gemäß EPPO-Richtlinie 1/152 (Design and Analysis of Efficacy Evaluation Trials) unter gleichzeitiger Berücksichtigung der EPPO-Richtlinie PP 1/49 (Weeds in brassica oil crops) geprüft. Die Versuche wurden in Deutschland und weiteren Ländern von BASF, externen Dienstleistern und Instituten durchgeführt. Alle Prüfstellen wiesen eine Zertifizierung nach GEP (Good Experimental Practice) auf. Tanaris® wurde in den Jahren 2010-2015 in 82 Wirksamkeitsversuchen im Voraufbau und 92 Wirksamkeitsversuchen im Nachaufbau geprüft. Bei der Darstellung der Ergebnisse wurden für die monokotylen und dikotylen Unkräuter jeweils die allgemein bekannten EPPO Codes verwendet.

Weiterhin wurde die Kulturverträglichkeit in Versuchen mit der einfachen (1,5 l/ha) und doppelten Aufwandmenge (3,0 l/ha) nach der EPPO-Richtlinie PP 1/135 (Phytotoxicity assessment) getestet. Insgesamt wurden hierfür 26 Versuche im Vor- und 23 Versuche im Nachaufbau mit Tanaris® durchgeführt. Diese Versuche wurden entsprechend den EPPO-Richtlinien als Körnerapps beerntet, sowie teilweise auf Qualitätsparameter wie Ölgehalt untersucht.

Für die Bewertung der Wirksamkeit wurde die letzte Bonitur im Herbst, kurz vor Vegetationsende oder die erste Bonitur nach Start der Vegetation im Frühjahr herangezogen. Die Beurteilung des Pflanzenschadens wurde im Voraufbau nach dem vollständigen Aufbau der unbehandelten Kontrolle, sowie im Nachaufbau 2-3 Wochen nach der Applikation durchgeführt. Beerntet wurden die Versuchsglieder gemäß der landwirtschaftlichen Praxis bei genügender Abreife der Bestände. Der Ertrag wurde anschließend auf einen relativen Wassergehalt von 9 % über die Varianten hinweg verrechnet.

Ergebnisse

Wirksamkeit von Tanaris® im Voraufbau

Wie bei allen bodenwirksamen Raps herbiziden macht eine differenzierte Betrachtung der Versuchsergebnisse im Vor- und Nachaufbau Sinn. Insgesamt wurden 82 Versuche, in denen Tanaris® in BBCH 00-09 appliziert wurde, ausgewertet. Im Voraufbau appliziert stellt Tanaris® ein breit wirkendes Produkt ohne signifikante Wirkungslücken auf Schlüsselunkräuter dar. Klettenlabkraut, Rundblättriger und Kleiner Storchschnabel, Echte und Geruchlose Kamille, Persischer und Efeublättriger Ehrenpreis sowie Purpurrote Taubnessel und Klatschmohn werden gut bekämpft. Auf Vogel-Sternmiere, welche in etwa 50 % aller Versuche vertreten war, zeigt Tanaris® eine variierende, nicht immer ausreichende Wirkung. Wirkungslücken liegen bei der Kornblume und dem Ackerstiefmütterchen. Bei den kruziferen Unkräutern konnten im Voraufbau auf Hirtentäschel sowie die Besenrauke gute Ergebnisse erzielt werden. Auf die Wegrauke ist die Wirkung schwächer, ebenso auf Ackerhellerkraut. Die Wirkung auf den Ackerfuchsschwanz fällt in den Versuchen schwach aus.

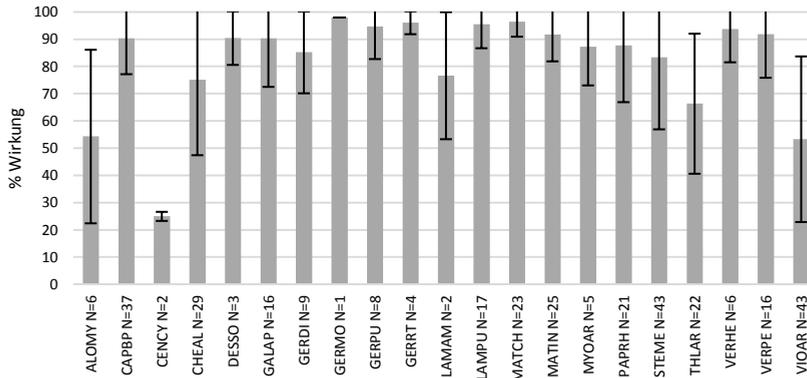


Abb. 1 Herbizide Wirkung von Tanaris® bei voller Aufwandmenge 1,5 l/ha bei Anwendung im Vorauf der Kultur BBCH 00-09.

Fig. 1 Herbicidal efficacy of Tanaris® at full dose of 1.5 l/ha when applied pre emergence of the crop (GS 00-09).

Im Rahmen der Zulassung wird für Tanaris® im Nachauf einer Applikation bis zum BBCH 18 der Kultur angestrebt. Für den Nachauf sind die Ergebnisse der Applikationen BBCH 10 und 11 (früher Nachauf) ausgewertet worden. Dieser Zeitpunkt deckt die meisten der Praxisfälle ab in denen eine Applikation erfolgt. Nach der Applikation im frühen Nachauf zeigt sich wiederum die breite Wirkung von Tanaris®. Unkräuter wie Klettenlabkraut, Ehrenpreisarten, Kamillearten, Storchschnabel sowie purpurrote Taubnessel werden gut bekämpft. Die Wirkung auf die kruziferen Unkräuter sowie die Gräserwirkung lässt jedoch, wie in Abbildung 2 zu erkennen, nach. Auf Klatschmohn werden oft, aber nicht in jedem Falle zufriedenstellende Ergebnisse erreicht. Gleiches gilt für die Vogelmiere.

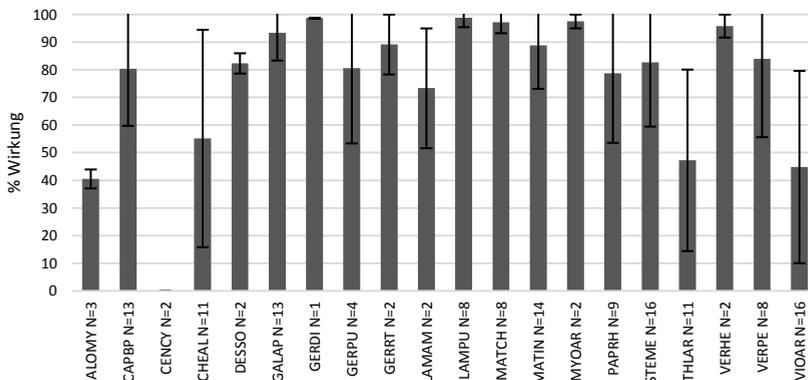


Abb. 2 Herbizide Wirkung von Tanaris® bei voller Aufwandmenge 1,5 l/ha bei Anwendung im frühen Nachauf der Kultur (BBCH 10-11).

Fig. 2 Herbicidal efficacy of Tanaris® at full dose of 1.5 l/ha when used early post emergence of the crop (GS 10-11).

Vergleich der Wirksamkeit bei Anwendung von Tanaris® im Vor oder Nachauf

Es ist ebenfalls wichtig zu vergleichen, wann ein Produkt unter Praxisbedingungen am vorzüglichsten eingesetzt werden sollte. Hierzu sollen im Folgenden einige Ergebnisse der frühen (0-7 Tage nach der Saat) und späten Applikation (8-24 Tage nach der Saat) betrachtet werden. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist anzumerken, dass es sich nicht um direkte Vergleiche

innerhalb eines Versuches oder einer Versuchsserie handelt, sondern dass die gemittelten Wirkungsgrade aus unterschiedlichen Versuchen miteinander verglichen werden. Somit zeigen die Daten mehr eine relative Tendenz als einen direkten Vergleich. Beginnend mit den kruziferen Leitunkräutern Hirtentäschelkraut und Besenrauke wird augenscheinlich deutlich, dass in diesem Falle eine Applikation nahe dem Saatzeitpunkt zur Erreichung hoher Wirkungsgrade erforderlich ist (Abb. 3).

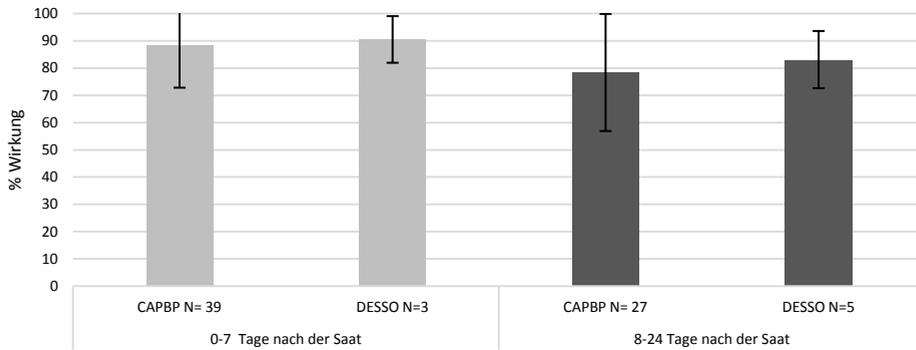


Abb. 3 Vergleichende Darstellung der Wirkung auf Hirtentäschelkraut (CAPBP) und Besenrauke (DESSO) nach einer frühen (0-7 Tage nach der Saat) und späteren Anwendung (8-24 Tage nach der Saat) von Tanaris® mit voller Aufwandmenge.

Fig. 3 Comparison of the herbicidal efficacy of Tanaris® at full dose rate applied early (0-7 Days after seeding) and late (8-24 Days after seeding).

Der Vergleich der Wirkung auf die Storchschnabel-Arten (Abb. 4) zu den verschiedenen Applikationszeitpunkten zeigt keine eindeutige Tendenz. Hier ist jedoch beim Rundblättrigen wie auch beim Kleinen Storchschnabel ein leichter Rückgang der Wirkung zu beobachten, wenn die Applikation später als 8 Tage nach der Saat erfolgt. Beim Schlitzblättrigen Storchschnabel zeichnete sich aus den gemittelten Daten eine bessere Wirkung zum späteren Applikationszeitpunkt ab. Dennoch sollten hier die niedrige Anzahl der Versuche zum späteren Zeitpunkt sowie die Tatsache, dass in der Praxis Storchschnabel über eine längere Zeitperiode keimt und aufläuft mit beachtet werden. Der Weiche Storchschnabel wurde nur in sehr wenigen Versuchen aufgefunden und wurde in beiden Fällen gut bekämpft.

Betrachtet man weitere Leitunkräuter (Abb. 5) so fällt auf, dass bei später Applikation einige wichtige Unkräuter etwas schwächere Behandlungserfolge sowie eine erhöhte Variation der Boniturwerte aufweisen. Dies zeigt sich insbesondere für Kamillearten, wo nach dem Überschreiten einer gewissen Zeitperiode und dem damit verbundenen Wachstumsstadium die Wirkungsgrade stark abfallen können. Dies gilt nicht für Klatschmohn sowie Ehrenpreisarten, da die Wirkung über einen größeren Zeitraum stetig zu sein scheint oder nur geringfügige Einbußen zu verzeichnen sind.

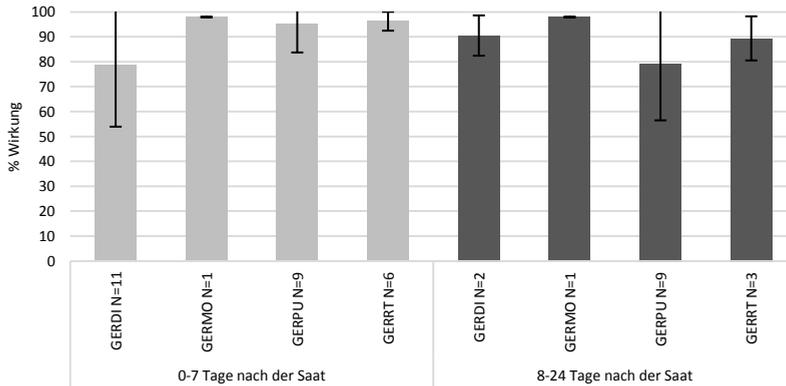


Abb. 4 Herbizide Wirkung von Tanaris® mit voller Aufwandmenge auf wichtige Storchschnabelarten bei früher (0-7 Tage nach der Saat) und späterer Anwendung (8-24 Tage nach der Saat).

Fig. 4 Herbicidal efficacy of Tanaris® against Cranesbill species after early (0-7 Days after seeding) or later application (8-24 days after seeding).

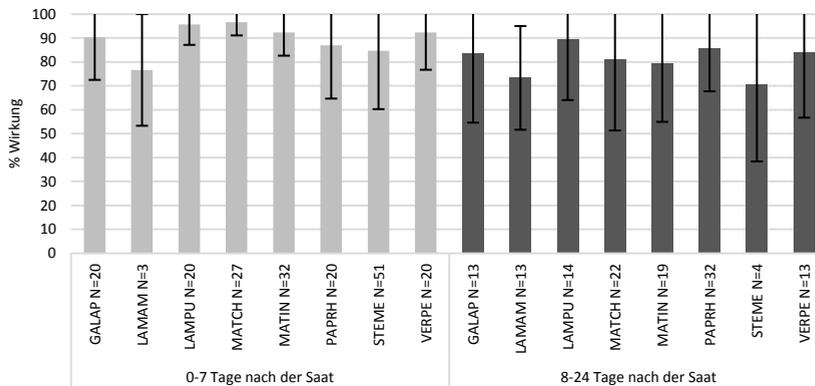


Abb. 5 Vergleichende Darstellung der herbiziden Wirkung auf dikotyle Leitunkräuter von Tanaris bei früher (0-7 Tage nach der Saat) und späterer Anwendung (8-24 Tage nach der Saat).

Fig. 5 Comparison of the herbicidal efficacy of Tanaris® at full dose rate on key broadleaf weeds after after early (0-7 days after seeding) or later application (8-24 days after seeding).

Kulturverträglichkeit von Tanaris®

Neben der guten Wirkung ist auch die gute Verträglichkeit des angewendeten Produktes in der Kultur ein wichtiges Kriterium. Dies wurde unter unkrautfreien Bedingungen in 26 Versuchen im Vorauflauf sowie im Nachauflauf in 23 Versuchen, jeweils mit einfacher und doppelter Aufwandmenge geprüft. Im Vorauflauf zeigte sich sowohl bei einfacher als auch bei doppelter Aufwandmenge Tanaris® im Mittel eine gute Kulturverträglichkeit, welche zumeist unter dem Niveau des Referenzproduktes lag (Abb. 6). Wie aus Anwendungen im Vorauflauf bekannt, können Starkregenereignisse oder aber eine unzureichende Abdeckung der Samenkörner bzw. ein zu grobes Saatbett Pflanzenschäden zur Folge haben. Dies war auch in einzelnen Versuchen mit Tanaris® der Fall. Jedoch wurden dann mit der Zielaufwandmenge von Tanaris® nie die Maximalwerte größer 11 % erreicht. Bei erhöhtem Pflanzenschaden war zumeist ein reduzierter Feldaufgang zu beobachten. Die höchste Schädigung ergab sich in solchen Extremfällen in der

doppelten Aufwandmenge sowohl bei Tanaris® als auch beim Referenzprodukt. Dennoch konnte über alle Versuche bei Verwendung der Zielaufwandmenge ein Mittelwert von knapp über 1 % Schädigung festgestellt werden.

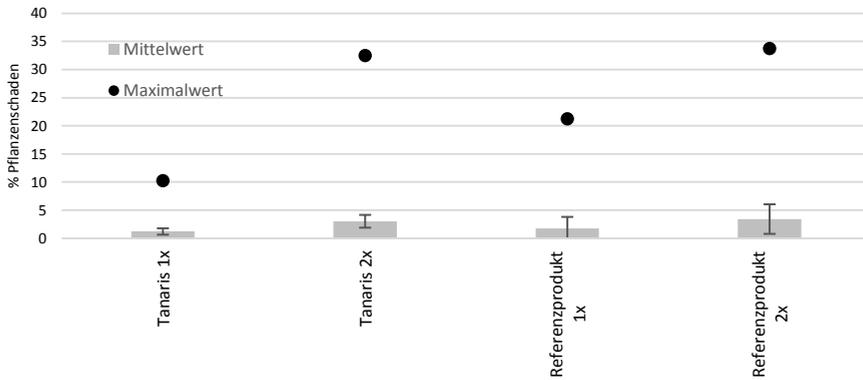


Abb. 6 Kulturverträglichkeit von Tanaris® und eines Referenzproduktes bei einfacher und doppelter Aufwandmenge bei der ersten Bonitur nach der Applikation im Voraufbau (n=26). Bonitur erfolgte nach dem vollen Auflaufen der Kultur in der unbehandelten Kontrolle.

Fig. 6 Crop Selectivity of Tanaris® and a reference product applied at single and double dose rate in pre emergence of the crop (GS 00-09). Data assessment after full emergence in untreated (n=26).

In den Nachaufbauversuchen zeigten sich sowohl Tanaris® als auch das Referenzprodukt unauffällig und sehr pflanzenverträglich. Dies gilt sowohl für den Mittelwert als auch für die Extremwerte über beide Aufwandmengen und Produkte. Wo Schäden auftraten, wurden diese meistens als reduzierte Vitalität der Pflanzen, reduzierter Wuchs sowie als leichte Blattverformungen berichtet. In keinem Versuch wurden jedoch Maximalwerte von 5 % bei der doppelten Aufwandmenge überschritten. Der Mittelwert aller Versuche der einfachen Aufwandmenge lag unter 1 % (Abb. 7).

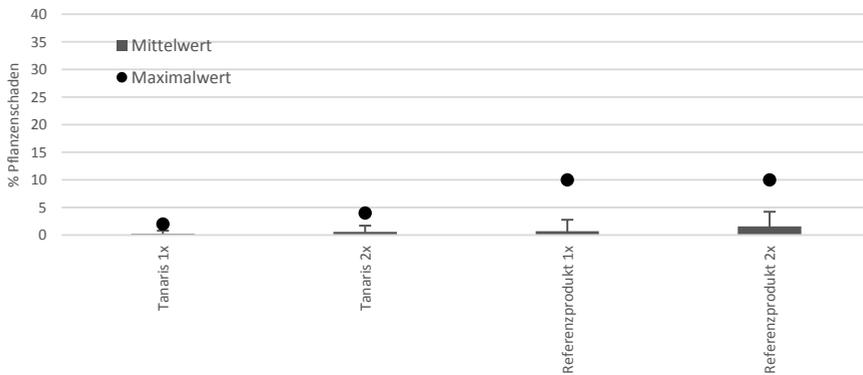


Abb. 7 Kulturverträglichkeit von Tanaris und eines Referenzproduktes appliziert mit einfacher und doppelter Aufwandmenge im Nachaufbau bei der ersten Bonitur nach der Applikation im Nachaufbau (n = 23).

Fig. 7 Crop selectivity of Tanaris and a Reference product applied in single and double dose rate in post emergence at first assessment after application in post emergence (n=23).

Da alle Versuche der Serie beerntet wurden liegen auch die Ertragsdaten vor (Abb. 8). Hier zeigte sich sowohl nach der Voraufaufapplikation (n=26; Kornertrag in unbehandelter Kontrolle 42 dt/ha) als auch bei der Versuchserie im Nachaufauf (n=23; Kornertrag in der unbehandelten Kontrolle: 43 dt/ha) neben der normalen Variation der Ergebnisse keine Abweichung der Varianten vom Mittelwert, welcher durch Pflanzenschädigung zu erklären war. In jeweils 5 Vor- und 5 Nachaufaufversuchen wurde zusätzlich der Ölgehalt des Erntegutes aus den verschiedenen Varianten überprüft. Auch hier waren die Abweichungen vom Mittelwert sowie die Variation der Werte im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollparzellen gering.

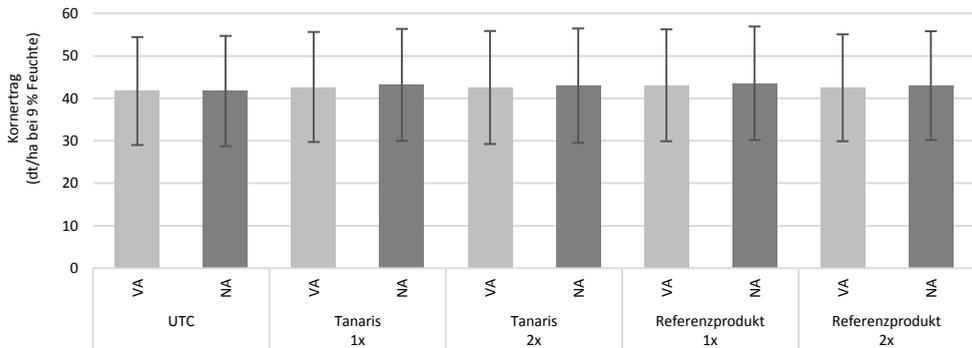


Abb. 8 Kornertrag (dt/ha bei 9 % Feuchte) der Varianten Tanaris® (einfache und doppelter Aufwandmenge) sowie eines Referenzproduktes (einfache und doppelter Aufwandmenge) appliziert im Vor-(VA; n = 26) und Nachaufauf (NA; n = 23), UTC = unbehandelte Kontrolle.

Fig. 8 Grain yield of the variants Tanaris® (single and double rates) and reference product (single and double rates) applied in Pre (VA; n=26) and Post emergence (NA; n=23), UTC = untreated control.

Diskussion

Anwendung von Tanaris®

Mit Tanaris® steht den Landwirten zukünftig ein Produkt zur Verfügung, welches die bekannten Wirkstoffe Dimethenamid-P und Quinmerac neu kombiniert. Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, dass im Vor- und frühen Nachaufauf ein breites Unkrautspektrum, welches die wichtigsten Leitunkräuter wie Klettenlabkraut, Ehrenpreisarten sowie Taubnesselarten, Kamille und Klatschmohn enthält, kontrolliert werden kann. Dazu kommt die gute Wirkung auf die wichtigen Storchschnabelarten. Die Wirkungsstärke des Produktes zeigt sich insbesondere bei der Anwendung unmittelbar bis eine Woche nach der Saat der Kultur. Nur zu diesem Zeitpunkt werden neben den bereits erwähnten Unkräutern auch noch Hirtentäschelkraut sowie Besenrauke kontrolliert. Bei einer späteren Anwendung im frühen Nachaufauf der Kultur werden weiterhin alle genannten Unkräuter ebenfalls gut erfasst. Die angestrebte Zulassung deckt im Nachaufauf die Applikation bis zum Stadium BBCH 18 der Kultur ab. Solche späten Anwendungen sind jedoch nur denkbar wenn z. B. Unkräuter erst spät bzw. die Kulturpflanzen sehr verzettelt auflaufen. Beachtet werden muss, das im Vergleich zu den bewährten Marktprodukten der Butisan Familie die Gräserwirkung eher schwächer einzuschätzen ist. Dies gilt insbesondere für den Ackerfuchschwanz. Da Windhalm allgemein sensitiver auf die Anwendung von Bodenherbizide reagiert sollte hier mit einer guten Wirkung nach der Applikation von Tanaris® gerechnet werden. Dahingegen können aufgrund der höheren Wasserlöslichkeit und der geringeren Bindung an die organische Substanz von Dimethenamid P unter trockenen, ungünstigen Bedingungen, Wirkungsvorteile entstehen. Weiterhin kann die bekannt gute Wirkung von Quinmerac-haltigen Produkten auf umbellifere Unkräuter auch bei Tanaris® mit eingeplant werden.

Tanaris® mit 1,5 l/ha ist sehr gut kulturverträglich, sowohl im Voraufbau als auch im Nachaufbau. Lediglich unter ungünstigen Bedingungen kann es im Voraufbau zu Schadsymptomen an der Kultur kommen. Dies kann etwa der Fall sein, wenn nach der Applikation starke, anhaltende Niederschläge auftreten oder Samenkörner nicht von Boden bedeckt sind. Die Ergebnisse haben aber gezeigt, dass selbst in diesem Fall die Ertragsfähigkeit der Kultur erhalten bleibt.

Nutzung von Tanaris® in Tankmischungen und Spritzfolgen

Eine grundlegende Anforderung an ein modernes Pflanzenschutzmittel ist auch dessen gute Kombinierbarkeit mit anderen Pflanzenschutzmitteln. So ist es dem Landwirt möglich, je nach seinen Anforderungen hinsichtlich des Applikationszeitpunktes oder der Unkrautflora flexibel zu reagieren. Wie im Ergebnisteil gezeigt erreicht Tanaris® eine sehr gute Wirkung auf wichtige Leitunkräuter und kann deshalb auch solo eingesetzt eine ausreichende Unkrautkontrolle auf eine Vielzahl von Unkrautarten erreichen. Trotzdem kann es sinnvoll sein, Tanaris® in einer Tankmischung oder einer Spritzfolge anzuwenden. So kann etwa eine Tankmischung im Nachaufbau oder eine Sequenz Tanaris® im Voraufbau gefolgt von einem Graminizid im Nachaufbau appliziert werden, um Ausfallgetreide oder Ackerfuchsschwanz zu kontrollieren. Sollte der Resistenzstatus es erfordern und das Wachstum der Ungräser es erlauben, können diese auch mit einer Spritzfolge von Tanaris® im Voraufbau, gefolgt von einer Spätherbstapplikation eines Graminizides erfolgen. Im Voraufbau kann Tanaris mit Produkten zur Wirkungsabsicherung bzw. Wirkungserweiterung gegen kruziferen Unkräuter gemischt werden. Ebenso kann Tanaris® auf Klatschmohn-Extremstandorten sowie auf Standorten mit Problemunkräutern wie Ackerkrummhals oder Ochsenzunge durch Stomp Aqua® im Voraufbau ergänzt werden. Die kombinierte Anwendung zur Bekämpfung dikotyler Arten mit blattaktiven Nachaufbauprodukten kann entweder innerhalb einer Spritzfolge oder als Tankmischung im frühen Nachaufbau erfolgen. Generell sollte aber speziell bei Tankmischungen im Nachaufbau darauf geachtet werden, dass bei der Wahl des Applikationszeitpunktes immer der ideale Zeitpunkt für Tanaris® berücksichtigt werden sollte. Weiterhin ist Tanaris® mischbar mit einer Reihe von Fungiziden, Insektiziden sowie Blattdüngern.

Literatur

- ANONYM, 2007: The Pesticide Manual, Eleventh Edition, British Crop Protection Council, 1080-1081.
- ANONYM, 2014: Herbicide Handbook, Weed Science Society of America, Tenth Edition, 160-165.
- BERGHAUS, R. und B. WUERZEL, 1987: The mode of action: the herbicidal quinolinecarboxylic acid, Quinmerac (BAS 518H) Brighton Crop Protection Conference – Weeds, 1091-1097.
- GOERKE, K., U. RICHTER, M. SCHULTE und B. GEROWITT, 2008: Regionale Unterschiede in der Rapsunkrautflora Deutschlands. Gesunde Pflanzen **60**, 154-158.
- GROSSMANN, K. und F. SCHELTRUP, 1995: On the mode of action of the new, selective herbicide, quinmerac. Brighton Crop Protection Conference – Weeds, 393-398.
- HANZLIK, K. und B. GEROWITT, 2012: Occurrence and distribution of important weed species in German winter oilseed rape fields. Journal of Plant Diseases and Protection **119** (3), 107-120.
- HARR, J., K. SECKINGER, E. UMMEL und L.T. HARGETT, 1991: SAN852 H – a new herbicide for weed control on corn and soybeans. Brighton Crop Protection Conference-Weeds, 87-92.

CONVISO® SMART – ein neues System zur erfolgreichen Kontrolle von Ungräsern und Unkräutern in ALS-toleranten Zuckerrüben

CONVISO® SMART – a new solution to control monocotyledonous and dicotyledonous weeds in ALS-tolerant sugar beets

Natalie Balgheim^{1*}, Martin Wegener², Heinrich Mumme¹, Carsten Stibbe³, Bernd Holtschulte³

¹Bayer CropScience Deutschland GmbH, Elisabeth-Selbert-Straße 4a, 40764 Langenfeld

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

³KWS SAAT SE, Grimsehlstraße 31, 37555 Einbeck

*Korrespondierende Autorin, natalie.balgheim@bayer.com



DOI 10.5073/jka.2016.452.043

Zusammenfassung

CONVISO SMART ist ein neuartiges System zur Kontrolle von Ungräsern und Unkräutern in ALS-Inhibitor-toleranten Zuckerrüben. Das CONVISO SMART System basiert auf klassisch gezüchteten ALS-Inhibitor-toleranten Zuckerrübensorten und dem Komplementärherbizid CONVISO.

CONVISO ist eine Kombination aus den bekannten Wirkstoffen Foramsulfuron und Thien carbazone-methyl. Beide Wirkstoffe gehören zu Gruppe der ALS-Hemmer. Während Foramsulfuron vorwiegend blattaktiv ist, wirkt Thien carbazone-methyl sowohl über das Blatt als auch über den Boden. Das Produkt ist als ölige Dispersion (OD) formuliert.

Die Zulassung des Produktes wurde mit einer Aufwandmenge von 1,0 L/ha als Einfachbehandlung und als Splittingbehandlung mit 2 x 0,5 L/ha für den Einsatz in ALS-Inhibitor-toleranten Zuckerrüben beantragt. Der Behandlungszeitraum liegt im Nachauflauf zwischen dem 1-Blatt und 4-Blattstadium der Unkräuter, speziell von *Chenopodium album* sowie dem 2-Blatt- und 8-Blattstadium der Kultur. Die Einführung des Systems in Deutschland ist für das Jahr 2018 geplant.

Das Wirkungsspektrum umfasst die wirtschaftlich wichtigsten Ungräser- und Unkrautarten, inklusive *Polygonum*- und *Chenopodium*-Arten, die in Zuckerrüben vorkommen. Zudem werden erfolgreich Problemunkräuter (wie z.B. *Mercurialis annua* und *Aethusa cynapium*) bekämpft, die mit den bisherigen Standardmischungen nicht ausreichend kontrolliert werden können und oftmals den Zusatz von weiteren Herbiziden erfordern.

Die Toleranz der Sorte gegenüber CONVISO ist stark ausgeprägt, wie die Ergebnisse der Selektivitätsversuche zeigen. Durch die vollständige Toleranz der Sorte gegenüber CONVISO und dadurch ausbleibenden negativen Herbizideffekten kann das volle Ertragspotenzial ausgeschöpft werden.

Stichwörter: ALS-Inhibitoren, CONVISO, Herbizidtoleranz, Selektivität, Zuckerrübe

Abstract

CONVISO SMART is a new system to control monocotyledonous and dicotyledonous weeds in ALS-inhibitor tolerant sugar beets. This system consists of an ALS-inhibiting herbicide and a sugar beet variety which is tolerant against the complementary herbicide due to classic breeding mechanisms.

The herbicide CONVISO is a combination of the two active ingredients foramsulfuron and thien carbazone-methyl. Whereas foramsulfuron is the leaf active compound, thien carbazone-methyl is leaf as well as soil active. The product will be formulated as an oily dispersion (OD).

The registration was requested with an application rate of 1 x 1 l/ha or 2 x 0.5 l/ha in ALS-inhibitor tolerant sugar beets. Application should be done from BBCH 10 – 14 of the weeds, especially of *Chenopodium album* as well as from BBCH 12 – 18 of the sugar beet. The estimated introduction of this system on the German market will be 2018.

CONVISO is well active against the most important weeds in sugar beets, including *Polygonum* and *Chenopodium* species. Furthermore several difficult to control weeds as *Aethusa cynapium* and *Mercurialis annua* will be controlled by CONVISO. The addition of special herbicides to control those difficult weeds will no longer be necessary.

The tolerance of the variety against CONVISO is very strong, which will be shown by the results of the weed free selectivity trials. Due to the high tolerance of the variety against CONVISO and the not occurring of negative herbicide effects, the full yield potential can be utilized.

Keywords: ALS inhibitors, CONVISO, herbicide tolerance, selectivity, sugar beet

Einleitung

Eine erfolgreiche Unkrautkontrolle ist im Zuckerrübenanbau unerlässlich, da es sonst zu massiven Ertragsverlusten kommen kann. Gerade im Jugendstadium ist die Rübe sehr empfindlich gegenüber Wasser-, Licht- und Nährstoffkonkurrenz. Erst ab Wachstumsstadium BBCH 18 ist die Konkurrenzkraft der Rübe ausreichend (MAY, 2001). Das heißt, bis zu diesem Zeitpunkt und besser bis zum Reihenschluss muss eine sichere Unkrautkontrolle gewährleistet sein. Dafür wird, im Gegensatz zu anderen Ackerbaukulturen, mit hohen Mittel- und Wirkstoffaufwandmengen in mehrfachen Applikationen gearbeitet. Zurzeit sind im Mittel 3 bis 3,5 Behandlungen mit einem blatt- und einem bodenaktiven Herbizid sowie eventuell nötiger Spezialherbizide und/oder Graminizide notwendig, um eine Unkrautfreiheit zu gewährleisten (VASEL et al., 2012). Die eingesetzten Mittel und deren Mittelaufwandmengen müssen dabei an das Unkrautvorkommen und die vorherrschenden Witterungsbedingungen und somit an die Herbizidempfindlichkeit der Zuckerrübe angepasst werden.

An dieser Stelle bietet das System CONVISO SMART neue Möglichkeiten bei der nachhaltigen Unkrautkontrolle: Eine Sorte, die über eine vollständige Toleranz gegenüber dem Komplementärherbizid verfügt, welches die wirtschaftlich bedeutendsten Unkräuter im Zuckerrübenanbau erfolgreich bekämpfen kann. Dabei besteht das System CONVISO SMART aus einer ALS-Inhibitor-toleranten Zuckerrübensorte, die von der KWS SAAT SE entwickelt wird und dem Komplementärherbizid CONVISO, entwickelt von der Bayer CropScience AG. Dieses Herbizid besteht aus den Wirkstoffen Foramsulfuron aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe und Thien carbazonemethyl aus der Gruppe der Sulfonylamino-carbonyl-triazolonine. Während Foramsulfuron vorwiegend über die Blätter aufgenommen wird, erfolgt die Aufnahme von Thien carbazonemethyl sowohl über das Blatt als auch über die Wurzel bzw. den Boden. Somit wird mit diesem Produkt auch eine Residualwirkung gegenüber neu auflaufenden Unkräutern erzielt. Die Zulassung des Produkts wird als Einfachbehandlung mit der Aufwandmenge von 1 l/ha, bzw. als Splittingbehandlung mit 2 x 0,5 l/ha angestrebt.

Das Wirkungsspektrum umfasst dabei alle wirtschaftlich wichtigen Unkräuter und Ungräser. Auch solche Arten werden sicher bekämpft, die zur Zeit mit den bestehenden Standard-Tankmischungen nicht ausreichend erfasst werden, gerade wenn sie zum Applikationszeitpunkt schon weiter entwickelt sind, wie z.B. *Aethusa cynapium*, *Mercurialis annua*, *Polygonum*-Arten, *Brassica napus* etc.. Aufgrund der hochwirksamen Gräseraktivität von CONVISO kann die zusätzliche Graminizidbehandlung ebenfalls entfallen (WEGENER et al., 2015).

Material und Methoden

Für die Bewertung der Wirkung und Verträglichkeit wurden in den Jahren 2012 – 2014 insgesamt 81 Versuche in der europäischen Zentralen Zulassungszone durchgeführt: 53 Wirkungsversuche und 28 Selektivitätsversuche.

Diese Versuche wurden in sieben Ländern angelegt (Tab. 1). Der Anlage der Versuche lagen die EPPO-Richtlinien PP 1/52 (3) und PP 1/135 (3) zu Grunde. Diese Richtlinien dienen der Beurteilung der biologischen Wirkung eines Produkts, sowie seiner Selektivität gegenüber der Kulturpflanze.

Tab. 1 Verteilung der CONVISO Wirkungs- und Selektivitätsversuche in der zentralen Zulassungszone in den Jahren 2012-2014.

Tab. 1 Distribution of CONVISO efficacy and selectivity trials within the years 2012-2014, central zone.

| Land | Anzahl Versuche | |
|-----------------------|------------------|--------------|
| | Wirkungsversuche | Selektivität |
| Belgien | 5 | 3 |
| Deutschland | 9 | 6 |
| Großbritannien | 7 | 3 |
| Polen | 13 | 8 |
| Slowakei | 7 | 3 |
| Tschechische Republik | 8 | 4 |
| Ungarn | 2 | 1 |
| insgesamt | 53 | 28 |

Die Versuche wurden mit drei (Wirkungsversuche) bzw. vier (Selektivitätsversuche) Wiederholungen und als randomisierte Blockanlage angelegt. Die Kontrolle der reinen Selektivitätsversuche wurde dabei manuell unkrautfrei gehalten. Die Applikation der Versuche erfolgte mittels Rücken- oder Fahrradspritzen.

In den Wirkungsversuchen wurde die Einfachapplikation von CONVISO (1 x 1 l/ha) mit der Splittingapplikation (2 x 0,5 l) und einer Standardvariante verglichen. Diese Standardvariante bestand aus einer in drei NAKs applizierten Kombination der blatt- und bodenwirksamen Produkte Betanal maxxPro und Goltix SC/WG/Gold und der Zumischung von Öl (Tab. 2).

In den Selektivitätsversuchen erfolgte die Applikation von CONVISO mit der maximalen (1 l/ha = 1x) als auch in der doppelten maximalen Aufwandmenge (2 l/ha = 2x). Gleiches galt auch für das Vergleichsmittel, dessen Aufwandmengen der Einfachapplikation (1x) betragen 1,5 l/ha Betanal maxxPro + 1 l/ha Goltix SC/WG/Gold + 1 l/ha Mero (Rapsmethyl-Ester) (Tab. 2). Die Aufwandmengen und Applikationstermine wurden nach den Spezifikationen der jeweiligen Produkte bzw. Tankmischpartner gesetzt.

Die erste Behandlung der CONVISO Splittingapplikation (2 x 0,5 l/ha) erfolgte zu BBCH 12-14 von *Chenopodium album* (CHEAL), die zweite ca. 10 – 14 Tage später.

Die einfache Applikation von CONVISO wurde im BBCH 13-14 von *Chenopodium album* (CHEAL) durchgeführt.

Die Applikationstermine der Standard-Tankmischung folgten dem normalen NAK-Schema, d.h. es erfolgten drei Applikationen jeweils im Keimblattstadium der auflaufenden Unkräuter.

Tab. 2 Übersicht der Behandlungen und Applikationstermine der Wirkungs- und Selektivitätsversuche.

Tab. 2 Treatment list and application dates of the efficacy and selectivity trials.

| Behandlung | Aufwandmenge | Applikationstermin |
|-------------------------------|----------------------|--|
| CONVISO | 2 x 0,5 l/ha | BBCH 12-14 CHEAL und 10-14 Tage später |
| CONVISO | 1 x 1 l/ha | BBCH 12-13 CHEAL |
| CONVISO | 1 x 2 l/ha | BBCH 12-13 CHEAL |
| Standard Tankmischung* | 3 x 1,5 + 1 + 1 l/ha | NAK 1, 2, 3 |
| Standard Tankmischung* | 3 x 3 + 2 + 2 l/ha | NAK 1, 2, 3 |

*Standard Tankmischung bestehend aus Betanal maxxPro + Goltix SC/WG/Gold + Mero

Die Bonituren auf Wirkung und mögliche Phytotoxizitätssymptome erfolgten ca. eine und drei Wochen nach der letzten Applikation sowie zu Reihenschluss. Bei den Bonituren wurden der generelle Schaden, Ausdünnung sowie mögliche weitere Schadsymptome wie Blattaufhellungen usw. im Vergleich zur Kontrolle erfasst. In der Auswertung wurden die Bonituren zu einem Wert zusammengefasst.

In den Wirkungsversuchen wurde die herbizide Wirkung in % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bonitiert.

Ergebnisse

Wirkungsergebnisse

Die Wirkung der Einfach- und Splittingapplikation von CONVISO wurde an insgesamt 53 Standorten der zentralen Zulassungszone bewertet. In Summe wurden 52 Unkrautarten bonitiert. Für die Auswertung der Ergebnisse wurden nur die 25 Arten herangezogen, die jeweils an mehr als zwei Standorten auftraten.

Dabei wurden bei der Einmalbehandlung mit 1 l/ha CONVISO bei 23 Unkrautarten eine sehr gute Wirkung (> 95 %) bonitiert, bei *Chenopodium album* wurde eine gute Wirkung von 94 % bonitiert und bei *Veronica persica* eine nicht ausreichende Wirkung von 45 %.

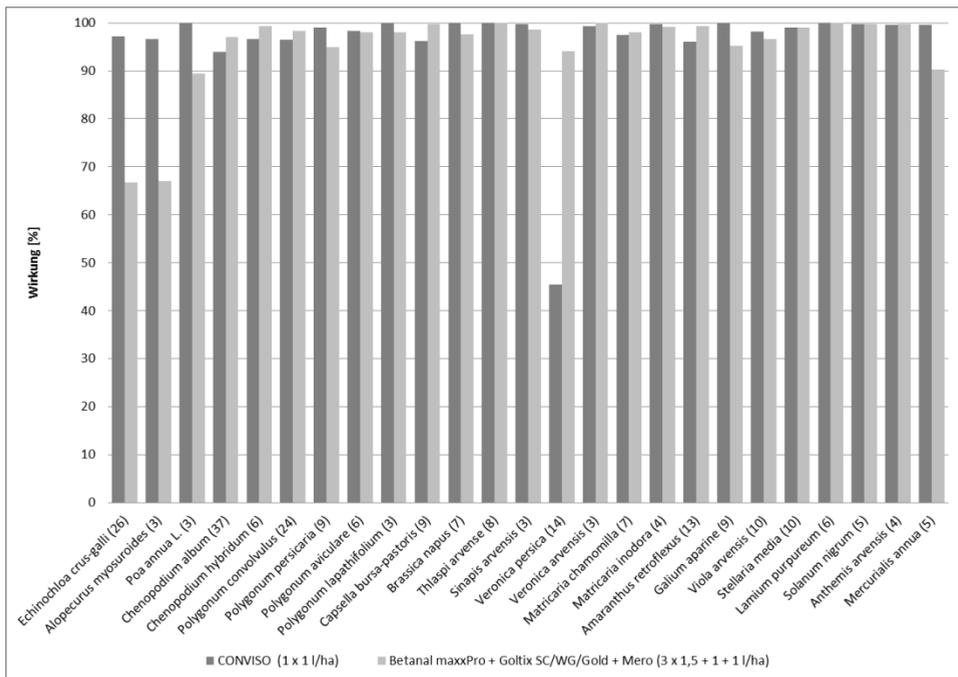


Abb. 1 Wirkungsspektrum der Einfachbehandlung von CONVISO im Vergleich zur Standardtankmischung, appliziert nach dem NAK Verfahren mit drei Behandlungsterminen; Zahlen in Klammern geben die Anzahl der Standorte an, insgesamt 53 Versuche, 2012–2014.

Abb. 1 Weed spectrum of a CONVISO single application of in comparison to the standard tank mixtures applied according cotyledons' stage in three applications. Numbers in brackets show the number of sites, 53 trials in total, 2012 -2014.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Wirkungsergebnissen der Splittingbehandlung mit 2 x 0,5 l/ha CONVISO. Hier wurden für 22 der 25 ausgewerteten Unkrautarten Wirkungsgrade von > 95 % erreicht. Bei den beiden Arten *Alopecurus myosuroides* und *Chenopodium album* wurden gute Bekämpfungserfolge von 92 % bzw. 95 % erzielt. Die Wirkung bei *Veronica persica* war auch hier nicht ausreichend (59 %).

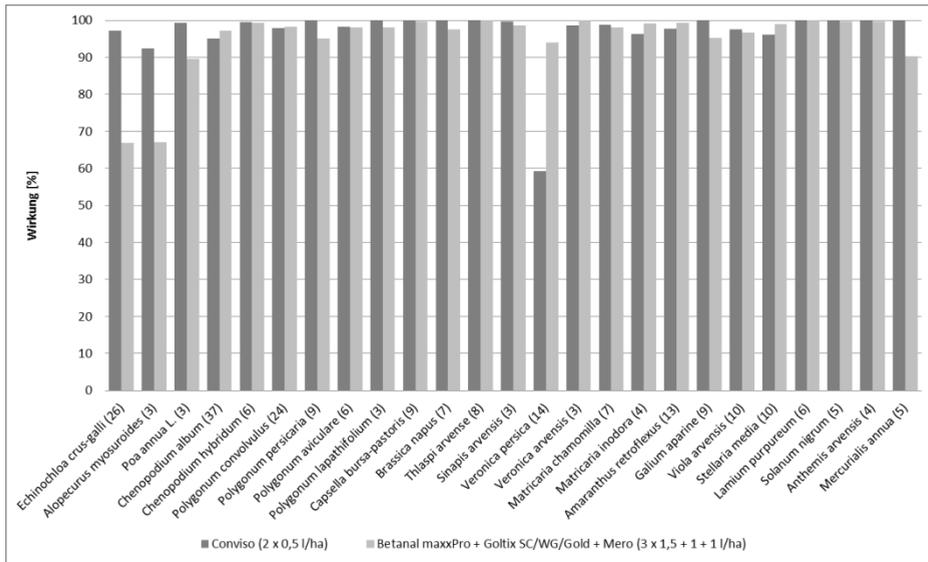


Abb. 2 Wirkungsspektrum der Splittingbehandlung von CONVISO im Vergleich zur Standardtankmischung, appliziert nach dem NAK Verfahren mit drei Behandlungsterminen; Zahlen in Klammern geben die Anzahl der Standorte an, insgesamt 53 Versuche, 2012-2014.

Abb. 2 Weed spectrum of a CONVISO split application of in comparison to the standard tank mixtures applied according cotyledons stage in 3 applications. Numbers in brackets show the number of sites where the weeds were found, 53 trials in total, 2012-2014.

Im Vergleich zu den Standardtankmischungen zeigen sich sowohl bei der Einfach- als auch bei der Splittingbehandlung deutlich bessere Wirkungsgrade bei den bonitierten Gräsern *Echinochloa crus-galli*, *Alopecurus myosuroides* und *Poa annua*. Bei den Dikotylen zeigten sich vor allem bei *Brassica napus*, *Polygonum persicaria*, *Galium aparine* und *Mercurialis annua* höhere Wirkungsgrade als bei der Standardtankmischung. Die Standardtankmischung dagegen zeigte eine gute *Veronica persica* Wirkung, während die Wirkung der CONVISO Varianten nicht ausreichend war.

Selektivitätsergebnisse

Die Ergebnisse der Selektivitätsdaten zeigen die hohe Selektivität des Herbizides CONVISO bei ALS-Inhibitor-toleranten Zuckerrüben.

Nach der Behandlung mit CONVISO traten kaum negative Herbizideffekte auf. Das gilt sowohl für die Einfach- als auch für die Doppelbehandlung. Bei der Einfachbehandlung wurden in 100 % der Versuche keine bzw. nur geringe Symptome gefunden (Tab. 3). In den Varianten mit der Doppelbehandlung wurden an zwei Standorten Wachstumsverzögerungen mit 6 - 10 % bonitiert, die sich nach kurzer Zeit verwuchsen. In insgesamt 26 Versuchen lagen die Symptome im untersten Cluster bei 0 - 5 %. Stärkere Ausprägungen wurden in keinem der Versuche beobachtet.

Die Standard-Tankmischung aus Betanal maxxPro + Goltix SC/WG/Gold + Mero in der Einfach- bzw. Doppeldosierung zeigte deutlich ausgeprägtere Schäden, die sich vor allem als Wuchsdepressionen äußerten. Zudem wurden Blattaufhellungen, Chlorosen und Nekrosen bonitiert. In der Einfachbehandlung mit der Standard-Tankmischung bleiben 17 Versuche, in der Doppeldosis nur acht Versuche im untersten Phytotox-Cluster (Tab. 3). In der Einfachbehandlung zeigten 11 Versuche Symptome > 5 %, 9 Versuche mussten den Clustern 16 bis > 20 % zugeordnet werden. In der Doppeldosis der Standard-Tankmischung lagen 20 Versuche in den Clustern > 5 %, davon 13 in den Clustern 16 % und größer.

Tab. 3 Anzahl der Versuchsstandorte mit bonitierten Selektivitätssymptomen an der Kulturpflanze. 28 Versuche, 2012–2014.

Tab. 3 Number of trial locations with phytotoxicity symptoms in trials. 28 trials, 2012–2014.

| Phytotoxizitäts-Cluster | CONVISO | | Standard-Tankmischung | |
|-------------------------|---------|----|-----------------------|----|
| | 1x | 2x | 1x | 2x |
| 0 – 5 % | 28 | 26 | 17 | 8 |
| 6 – 10 % | 0 | 2 | 1 | 4 |
| 11 – 15 % | 0 | 0 | 1 | 3 |
| 16 – 20 % | 0 | 0 | 5 | 3 |
| > 20 % | 0 | 0 | 4 | 10 |
| Anzahl Versuche | 28 | 28 | 28 | 28 |

Diskussion

Zur Sicherung des Ertrages ist eine erfolgreiche Unkrautbekämpfung im Zuckerrübenanbau unerlässlich, da die Jugendentwicklung der Zuckerrübe sehr langsam und mit geringer Konkurrenzskraft verläuft. Um gerade in dieser kritischen Phase, die Zuckerrübe vor der Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe durch Unkräuter zu schützen, kommen standardmäßig chemische Methoden zum Einsatz. In der Regel handelt es sich dabei um eine Mischung aus verschiedenen Herbiziden, die unterschiedliche Wirkstoffe enthalten, um eine möglichst breite Unkrautkontrolle zu gewährleisten. Zudem werden sowohl blatt- als auch bodenwirksame Komponenten eingesetzt. Im Schnitt werden so 2,5 Herbizide bzw. 4 Wirkstoffe in 3 bis 3,5 Behandlungen in Deutschland eingesetzt (VASEL et al., 2012).

Dabei stehen dem Anwender seit Jahren die gleichen Wirkstoffe in unterschiedlichen Kombinationen zur Verfügung. Bei der Auswahl und dem Einsatz der Herbizide spielen verschiedene Faktoren eine wichtige Rolle. Zum einen das zu bekämpfende Unkrautspektrum inklusive etwaiger Problemunkräuter, zum anderen aber auch die Umweltbedingungen zum Zeitpunkt der Applikation. Verschiedene schwer zu bekämpfende Unkräuter benötigen intensivere Spritzfolgen mit zusätzlichen Mischungspartnern. Gleiches gilt auch für Ungräser, die sich mit den bisherigen Standard-Tankmischungen nur unzureichend bekämpfen lassen. Für eine wirkungsvolle Gräser-Kontrolle wird auch aus Verträglichkeitsgründen meist mit einer zusätzlichen separaten Graminizid-Applikation gearbeitet.

Auf die zusätzliche Graminizid-Behandlung kann mit dem Einsatz von CONVISO SMART verzichtet werden, wie bereits WEGENER et al. (2015) berichten. Das belegen auch die Wirkungsergebnisse aus den 53 Wirkungsversuchen, die innerhalb der zentralen europäischen Zulassungszone durchgeführt wurden. Für die drei am häufigsten vorkommenden Gräser *Echinochloa crus-galli*, *Alopecurus myosuroides* und *Poa annua* zeigten sich Wirkungsgrade von > 95 % in den Varianten mit der CONVISO Einfachbehandlung. Bei den Varianten mit der Splittingbehandlung (2 x 0,5 l/ha) zeigten sich ebenfalls sehr gute Wirkungsergebnisse *Echinochloa crus-galli* und *Poa annua*. Die Ergebnisse für *Alopecurus myosuroides* lagen allerdings mit 92 % etwas unter den Wirkungsgraden der Einfachbehandlung (1 x 1 l/ha).

Weitere Vorteile von CONVISO im Vergleich zu den Standardmischungen zeigten sich vor allem auch bei den schwer bekämpfbaren Unkräutern *Brassica napus* und *Mercurialis annua*. Ebenso zeigt CONVISO eine hervorragende Wirkung gegenüber dem schwer zu bekämpfenden Unkraut *Aethusa cynapium*. Diese Unkräuter lassen sich derzeit mit den Standardtankmischungen nicht ausreichend kontrollieren, und machen oftmals den Einsatz weiterer Mischungspartner notwendig. Der Zusatz von weiteren Mischungspartnern, seien es nun Herbizide oder auch Additive, wie Öle, kann die möglichen negativen Herbizideffekte verstärken. Bei Applikationen unter kritischen Witterungsbedingungen, wie zum Beispiel nach starken Niederschlägen, bei hoher Sonneneinstrahlung oder auch bei dünnen Wachsschichten der Zuckerrübe, können Verträglichkeitsprobleme bzw. Schäden auftreten.

Durch das breite Wirkungsspektrum, welches die meisten schwer zu bekämpfende Unkräuter einschließt sowie die hervorragende Wirkung von CONVISO gegen Gräser, kann im CONVISO System der Einsatz von Spezialherbiziden und Graminaziden reduziert oder sogar gänzlich darauf verzichtet werden.

Neben den negativen Herbizideffekten durch eine Vielzahl von Tankmischpartnern im Zusammenhang mit kritischen Umweltbedingungen sind Überlappungsbereiche als eine weitere Schwachstelle des herkömmlichen NAK-Systems zu sehen. Diese können beispielsweise bei der Applikation auf den Vorgewenden entstehen. Die dort stehenden Pflanzen werden mit einem Mehrfachen der sonst üblichen Aufwandmenge behandelt. Die hier möglicherweise entstehenden Rübenschäden können zu merkbaren Ertragsverlusten führen. Bereits in früheren herbizidtoleranten Zuckerrübensystemen war über die verbesserte Selektivität im Vergleich zu konventionellen Spritzfolgen indirekt eine Erhöhung des Bereinigten Zuckerertrages um bis zu 5 % möglich (MÄRLÄNDER und TIEDEMANN, 2006).

Mit dem neuen CONVISO SMART System lassen sich negative Herbizideffekte vermeiden und somit das Ertragspotenzial der Sorte komplett nutzen. Die Ergebnisse der 28 Selektivitätsversuche aus der Zentralen Zulassungszone zeigen die gute Verträglichkeit von CONVISO, sowohl bei einfacher als auch bei doppelter Aufwandmenge. Selbst bei der doppelten Aufwandmenge, die vor allem im Überlappungsbereich der Spritze eine große Rolle spielt, sind kaum Schäden zu verzeichnen. In 26 der 28 Versuche waren überhaupt keine bzw. nur minimale Symptome sichtbar. Dieses zeigt die stark ausgeprägte Toleranz der herbizidtoleranten Zuckerrübe gegenüber dem Komplementärherbizid CONVISO. Die jeweils bonitierten Schäden verwuchsen sich im Laufe der Saison.

Im Vergleich hierzu zeigten sich nach dem Einsatz der Standardtankmischung an deutlich mehr Standorten Schadsymptome, mit deutlich stärkerer Ausprägung.

Neben den Vorteilen der ausbleibenden Herbizidschäden an der Kulturpflanze zeigen sich in dem System der herbizidtoleranten Zuckerrübe weitere Vorteile gegenüber dem konventionellen Anbau: CONVISO SMART bietet ein annähernd vollständiges Wirkungsspektrum inklusive Residualwirkung, was eine Zumischung weiterer Produkte in den meisten Fällen unnötig macht. Darüber hinaus bietet das System ein hohes Maß an Flexibilität in der Anwendung, reduzierte Anwendungshäufigkeit sowie einen deutlich geringeren Wirkstoffaufwand.

Das CONVISO SMART System kann in vielen Fällen eine Problemlösung bieten. Gleichwohl müssen aber auch bei Anwendung des Systems wichtige Maßnahmen des Herbizidresistenzmanagements eingehalten werden. ALS-Inhibitoren kommen mittlerweile in vielen Ackerbaukulturen zur Anwendung. Um eine Resistenzentwicklung verschiedener Unkräuter und Ungräser gegenüber der Gruppe der ALS-Inhibitoren zu vermeiden, sollten im Rahmen der Anwendung des CONVISO SMART Systems gewisse pflanzenbauliche Maßnahmen in der Fruchtfolge eingehalten werden. Ein konkreter Maßnahmenkatalog zur Vermeidung einer Resistenzentwicklung wird derzeit erarbeitet.

Ausblick

Der Entwicklungsprozess für das herbizide System CONVISO SMART ist noch nicht abgeschlossen. Die Optimierung des herbiziden Verfahrens sowie die züchterische Weiterentwicklung der CONVISO SMART Hybriden wird intensiv verfolgt. Bis zur Markteinführung werden auch in Zusammenarbeit mit externen Institutionen Fragestellungen zur Einbindung in das Anbausystem Zuckerrübe, zum Resistenzmanagement und zur Einbettung in das System des integrierten Pflanzenschutzes bearbeitet und weiterentwickelt.

Der Zeitrahmen für diese Entwicklungen ist unter anderem durch die Zulassungsverfahren definiert, die sowohl das neue Herbizid, als die Sorten jeweils durchlaufen müssen.

Das Bio-Dossier für die EU-weite Herbizid-Registrierung von CONVISO wurde mittlerweile für alle drei europäischen Zulassungszone (Nord, Zentral und Süd) eingereicht. Die Zulassung erfolgt für

alle Mitgliedstaaten nach der EU-Verordnung 1107/2009 sowie nach den jeweiligen nationalen Pflanzenschutzgesetzen. Der Abschluss des Zulassungsverfahrens für das Herbizid CONVISO durch die jeweiligen Fachbehörden kann schon im Laufe des Jahres 2017 erfolgen.

Die Anmeldung von CONVISO SMART Sorten ist in Vorbereitung. Frühestens im Jahr 2016 können die ersten Sorten für die jeweiligen nationalen Zulassungsverfahren angemeldet werden, eine erste Zulassung kann frühestens zum Jahr 2018 erfolgen. In den meisten europäischen Ländern, wie auch in Deutschland, werden die Sorten nach der Zulassung in ein nationales Prüfsystem integriert und kommen erst nach einem zusätzlichen Prüffahr in den Anbau. In Deutschland könnte ein Anbau von CONVISO SMART Sorten in größerem Umfang ab dem Jahr 2019 erfolgen.

Literatur

- EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION: Efficacy evaluation of herbicides – PP 1/52 (3) - Weeds in sugar and fodder beet and industrial chicory.
- EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION: Efficacy evaluation of herbicides - PP 1/135 (3) - Phytotoxicity assessment.
- MÄRLÄNDER, B. und A. VON TIEDEMANN, 2006: Herbizidtolerante Kulturpflanzen – Anwendungspotenziale und Perspektiven. Schriftenreihe der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft e.V. **8**, 32-45.
- MAY, M., 2001: Crop Protection in sugar beet. *Pesticide Outlook* **10**, 188-191.
- VASEL, E.-H., E. LADEWIG und B. MÄRLÄNDER, 2012: Weed composition and herbicide use strategies in sugar beet cultivation in Germany. *Journal für Kulturpflanzen* **64** (4), 112–125.
- WEGENER, M., N. BALGHEIM, M. KLIE, C. STIBBE und B. HOLTSCHULTE, 2015: CONVISO® SMART - ein innovativer Ansatz der Unkrautkontrolle in Zuckerrüben. *Sugar Industry* **140**, 86-93.

TIVMETIX OD – Ein Sulfonylharnstoff-basiertes Herbizid mit verbesserter Wirksamkeit durch neue Öl-Dispersions (OD)-Formulierungstechnologie

TIVMETIX OD – A Sulfonylurea-based Herbicide with improved efficacy through novel oil dispersion (OD) formulation technology

Barbara Gimeno, Miguel Gimeno, Victor Casaña-Giner, Hermann Hämmerle, Matthias Reismüller*

GAT Microencapsulation GmbH, Gewerbezone 1, 2490 Ebenfurth, Austria

*Korrespondierender Autor, gat@gatmicro.at



DOI 10.5073/jka.2016.452.044

Zusammenfassung

TIVMETIX OD ist ein neuartiges Öl-Dispersions (OD)-Nachauflauf-Herbizid zur Frühjahrsanwendung (BBCH 13-39) gegen breitblättrige Unkräuter in Winter- und Sommerweizen, Winter- und Sommergerste, Winterroggen und Triticale. Mit der neuen, von GAT Microencapsulation entwickelten und patentierten OD-Technologie konnten die Sulfonylharnstoffe Thifensulfuron-methyl (190 g/L) und Metsulfuron-methyl (19 g/L) in einer flüssigen OD-Formulierung kombiniert werden. Dies garantiert eine hohe Sicherheit sowie eine verbesserte Anwenderfreundlichkeit und Dosierbarkeit. Staubbildung wird ausgeschlossen und Probleme der elektrostatischen Aufladung von Granulaten oder Pulvern oder die Gefahr der Verfrachtung durch Wind treten nicht auf. In TIVMETIX OD sind wirkungsverstärkende Hilfsstoffe wie Netzmittel oder Adjuvantien Bestandteile der Formulierung. Auf der Blattoberfläche des Schadorganismus wird so ein gemeinsamer Film aus Öl, Netzmittel und Adjuvantien gebildet und durch deren direktes Zusammenspiel eine erhöhte Wirkstoffaufnahme erzielt. Dadurch kann der Wirkstoffaufwand pro Hektar, bei gleicher Wirksamkeit wie bei Referenzprodukten, um bis zu 36 % reduziert werden. Zusätzlich kann TIVMETIX OD mit einer Reihe anderer Herbizide gemischt bzw. in einer Sequenz angewendet werden. Des Weiteren zeigt TIVMETIX OD keine Effekte auf den Nachbau von verschiedensten Kulturpflanzen.

Stichwörter: Fortschrittliche Formulierungstechnologie, Herbizid, Metsulfuron-methyl, Öl-Dispersion (OD), Sulfonylharnstoff, Thifensulfuron-methyl, verbesserte Wirksamkeit

Abstract

TIVMETIX OD is a novel oil dispersion (OD) post-emergence herbicide for the spring application (BBCH 13-39) against broad-leaved weeds in all varieties of winter and spring wheat, winter and spring barley, winter rye and triticale. With the new GAT-developed and patented OD technology the sulfonylureas thifensulfuron-methyl (190 g/L) and metsulfuron-methyl (19 g/L) could be combined in a liquid OD formulation. This guarantees a high level of safety and increased user friendliness and simplified dosing. Dust formation is avoided and problems of electrostatic charging of granulates and powders, or the transportation by wind do not occur. In TIVMETIX OD, the enhancing ingredients as oil, agents and adjuvants constitute part of its formulation. Excellent film forming properties on the leaf surface of the weeds result in their direct and enhanced interaction, thus leading to increased uptake of the active substances. Therefore, the amount of active substance per hectare could be reduced by up to 36 % while efficacy is maintained at a level which is at least equivalent to reference products. Furthermore, TIVMETIX OD can be used in mixture or sequence with a variety of other herbicides and does not show an effect on succeeding crops.

Keywords: Advanced formulation technology, herbicide, improved efficacy, metsulfuron-methyl, oil dispersion (OD), sulfonylurea, thifensulfuron-methyl

Einleitung

Sulfonylharnstoff-Verbindungen wurden in der 1970er Jahren entwickelt und darauffolgend in den 1980er Jahren als Herbizide zugelassen. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber den bisherigen am Markt erhältlichen Herbiziden waren deren wesentlich geringere Aufwandmengen. Sulfonylharnstoffe (SU) werden über Blatt und Wurzel aufgenommen und wirken spezifisch durch die Hemmung des Enzyms Acetolactatsynthase (ALS) wodurch die Biosynthese der Aminosäuren Valin, Leucin und Isoleucin und damit die Proteinsynthese in den Ziel-Unkräutern verhindert wird (DROBNY et al., 2012).

In OD-Formulierungen werden kleinste Wirkstoffpartikel – ähnlich wie in Suspensionskonzentraten in einer homogenen Phase dispergiert. Hauptbestandteil einer OD-Formulierung ist ein modifiziertes Öl welches sowohl auf Basis von pflanzlichen Ölen als auch auf Erdölbasis hergestellt werden kann. Mit GAT's OD-Technologie können nun auch Wirkstoffe als OD-Formulierung eingesetzt werden, welche aufgrund der chemischen Eigenschaften dieser Wirkstoffe, bislang nur als Granulat oder Pulver hergestellt werden konnten. Zu diesen zählen unter anderem einige Wirkstoffe aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe. Die flüssige OD-Formulierung bietet, abgesehen von der verbesserten Anwenderfreundlichkeit eine Reihe von weiteren Vorteilen.

Diese neuartige OD-Technologie wurde in TIVMETIX OD angewendet. TIVMETIX OD ist ein Öl-Dispersions-Nachauflauf-Herbizid bestehend aus den Sulfonylharnstoffen Thifensulfuron-methyl (190 g/L) und Metsulfuron-methyl (19 g/L) zur Frühjahrsanwendung (BBCH 13-39) gegen breitblättrige Unkräuter in Winter- und Sommerweizen, Winter- und Sommergerste, Winterroggen und Triticale. Mit einer Aufwandmenge von 0,2 l/ha pro Hektar (42 Gramm Wirkstoff pro Hektar) liegt TIVMETIX OD unter der Aufwandmenge von derzeit am Markt erhältlichen Vergleichsprodukten, und das bei gleicher bis besserer Wirksamkeit. Die Wirkstoffmenge pro Hektar wird dabei durch die neuartige OD-Technologie um bis zu 36% reduziert.

Seit 2008 wurde diese OD-Technologie in mehr als 100 zertifizierten Feldversuchen getestet. Die Resultate bestätigen eindeutig die verbesserte Effizienz, die es erlaubt geringere Wirkstoffaufwandmengen pro Hektar zuzulassen. Die positiven Rückmeldungen der Endverbraucher aus den Ländern in denen TIVMETIX OD bereits zugelassen und am Markt ist, bestätigen diese verbesserte Wirksamkeit.

Material und Methoden

Wirksamkeitsversuche

Tab. 1 Empfindliche Unkräuter, die mit TIVMETIX OD kontrolliert werden können.

Tab. 1 *Susceptible weeds that are controlled by TIVMETIX OD.*

| Unkräuter | Unkräuter lat. | EPPO-Code | Empfindlichkeit |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------------|
| Gemeiner Windhalm | <i>Apera spica venti</i> | APESV | + |
| Raps | <i>Brassica napus</i> | BRNBN | +++ |
| Gemeines Hirtentäschelkraut | <i>Capsella bursa-pastoris</i> | CAPBP | +++ |
| Kornblume | <i>Centaurea cyanus</i> | CENCY | + |
| Weißer Gänsefuß | <i>Chenopodium album</i> | CHEAL | +++ |
| Ackerrittersporn | <i>Consolida regalis</i> | CNSRE | ++ |
| Klettenlabkraut | <i>Galium aparine</i> | GALAP | ++ |
| Taubnessel-Arten | <i>Lamium</i> spp. | LAMSS | +++ |
| Kamille-Arten | <i>Matricaria</i> spp. | MATSS | +++ |
| Ackervergissmeinnicht | <i>Myosotis arvensis</i> | MYOAR | +++ |
| Feuermohn | <i>Papaver rhoeas</i> | PAPRH | +++ |
| Gemeiner Windenknöterich | <i>Polygonum convolvulus</i> | POLCO | ++ |
| Gewöhnliche Vogelmiere | <i>Stellaria media</i> | STEME | +++ |
| Ackerhellerkraut | <i>Thlaspi arvense</i> | THLAR | +++ |
| Ehrenpreis-Arten | <i>Veronica</i> spp. | VERSS | ++ |
| Ackerstiefmütterchen | <i>Viola arvensis</i> | VIOAR | +++ |

TIVMETIX OD wurde in mehr als 50 GEP-zertifizierten und nach EPPO-Standards ausgeführten Feldversuchen in ganz Europa getestet. Dabei wurde sowohl Wirksamkeit als auch Selektivität untersucht und mit Referenzprodukten verglichen.

Tabelle 1 listet Unkräuter auf, die in den Versuchen getestet wurden und die mit TIVMETIX OD kontrolliert werden können.

Nachbau-Versuche

Der Effekt von TIVMETIX OD auf den Nachbau von Nutzpflanzen wurde in der Einzelanwendung oder in Mischung bzw. sequenzieller Anwendung mit verschiedenen Herbiziden untersucht. In Tabelle 2 sind die getesteten Feldfrüchte beschrieben und die Herbizide mit denen TIVMETIX OD in der Mischung getestet wurde.

Tab. 2 Feldfrüchte, getestet zum Nachbau nach der Frühjahrsanwendung von TIVMETIX OD und getestete Herbizide in Mischung oder sequenzieller Anwendung mit TIVMETIX OD.

Tab. 2 *Crops, tested in the sequencing trial after spring application of TIVMETIX OD and herbicides tested in mixture or sequence with TIVMETIX OD.*

| Abkürzung | Feldfrucht | Zum Nachbau geeignet | Herbizide in der Mischung mit TIVMETIX OD | Mischbarkeit |
|-----------|---------------|----------------------|---|--------------|
| TRZAW | Winterweizen | + | Actirob B | + |
| BRSNW | Winterraps | + | Biopower | + |
| VICFM | Feldbohne | + | Boxer | + |
| HORVS | Sommergerste | + | Brazzos | + |
| PIBSA | Felderbse | + | Broadway Star | + |
| LACSA | Eisbergsalat | + | Eagle | + |
| BEAVA | Zuckerrübe | + | Lexus Class | + |
| ALLCE | Küchenzwiebel | + | Othello | + |
| DAUCS | Gartenkarotte | + | Pacifica | + |
| ZEAMX | Gemeiner Mais | + | Sekator | + |
| SOLTU | Kartoffel | + | | |

Ergebnisse

Eigenschaften und Sicherheit

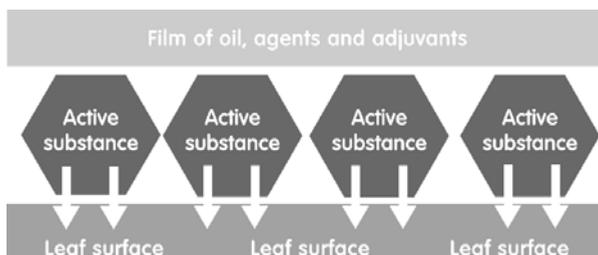


Abb. 1 Die Abbildung zeigt das Zusammenspiel zwischen den GAT OD Beistoffen (Öl, Netzmittel, Adjuvantien) und den Wirkstoffen. Dieses direkte Zusammenspiel bewirkt eine bessere Wirkstoffpenetration durch die Blattoberfläche. Durch diese erhöhte Wirkstoffaufnahme wird trotz geringeren Aufwandmengen im Vergleich zu Referenzprodukten eine zumindest gleichwertige Wirksamkeit erzielt.

Fig. 1 *This figure shows the interplay between GAT OD additives/ingredients (oil, spreader, adjuvants) and the active substance(s). This direct interaction results in an increased penetration of the active substance(s) through the leaf surface. Consequently, due to the increased uptake of the active substance(s), the applications rates can be decreased while keeping the efficacy at a level which is at least equivalent to reference products.*

Die patentierte OD-Technologie erlaubt es wirkungsverstärkende Hilfsstoffe wie Netzmittel oder Adjuvantien direkt in das Produkt einzubauen. Dadurch wird gewährleistet, dass beim Ausbringen der Spritzbrühe die Wirkstoffpartikel und die Hilfsstoffe gemeinsam auf die Blattoberfläche des Schadorganismus treffen. Durch das direkte Zusammenspiel von wirkungsverstärkenden Hilfsstoffen und den Wirkstoffen wird eine verbesserte Wirksamkeit bei geringerer Wirkstoff-Aufwandmenge erzielt (Abb. 1).

Anwendung, Dosierung und Timing

TIVMETIX OD kann in allen Varianten von Winter- und Sommerweizen, Winter- und Sommergerste, Winterroggen und Triticale angewendet werden.

Die Anwendung kann beginnend mit dem 3-Blatt-Stadium (BBCH 13) bis einschließlich dem Ligula (Blatthäutchen)-Stadium (BBCH 39) erfolgen (Abb. 2).

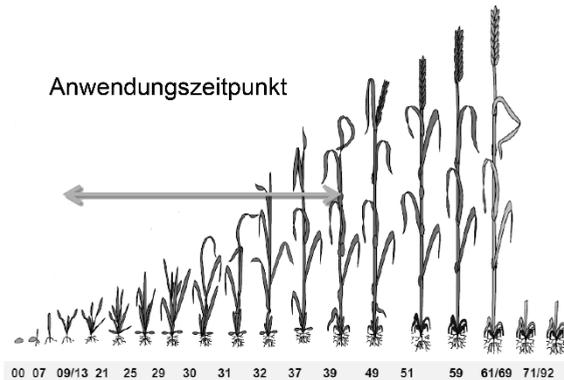


Abb. 2 Anwendungszeitraum von TIVMETIX OD, welcher vom 3-Blatt Stadium (BBCH 13) bis zum Ligula (Blatthäutchen)-Stadium (BBCH 39) reicht.

Fig. 2 Application timing of TIVMETIX OD used in cereals reaching from the 3-leaves stage (BBCH 13) to the flag leaf stage (BBCH 39).

Die Dosierung beträgt 0,2 l/ha und die Ausbringung erfolgt in einem Volumen von 200 Litern Wasser pro Hektar. Bei dichten Feldfrüchten oder dichtem Unkrautbewuchs empfiehlt sich die Erhöhung des Sprühvolumens auf bis zu 400 Liter Wasser pro Hektar, um eine gute Abdeckung und Benetzung mit der Spritzbrühe zu gewährleisten. Es kann ein gewöhnliches Feldspritzgerät mit einem Druck von 2-3 bar verwendet werden.

Wirksamkeit

TIVMETIX OD erzielte in den mehr als 40 verschiedenen Wirksamkeitsversuchen eine gute Wirkung gegen Breitblättrige Unkräuter (Abb. 3 und Tab. 1).

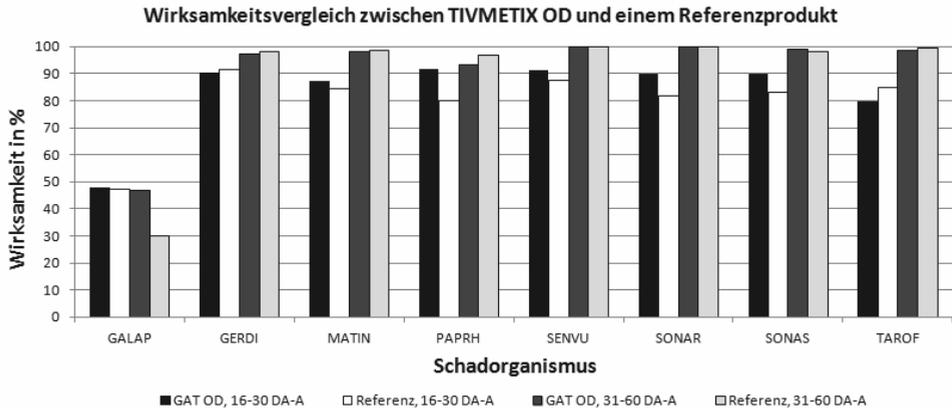


Abb. 3 Die Abbildung zeigt die Wirkung von TIVMETIX OD im Vergleich zu SX-Produkten mit höherem Wirkstoffgehalt pro Hektar. Bei TIVMETIX OD wurden 42 g Wirkstoff pro Hektar eingesetzt während für das Referenzprodukt die zugelassene Aufwandmenge von 66 g Wirkstoff pro Hektar ausgebracht wurde.

Fig. 3 Efficacy comparison of TIVMETIX OD and SX products with identical active substance. In the TIVMETIX OD, 42 g active substance per hectare was compared to 66 g active substance per hectare of the SX product.

Da die wirkungs-verstärkenden Adjuvantien Bestandteile der Formulierung von TIVMETIX OD sind, wird gewährleistet, dass beim Ausbringen der Spritzbrühe die Wirkstoffpartikel und der Film aus Öl und Adjuvantien gemeinsam auf die Blattoberfläche des Schadorganismus treffen (Abb. 4). Dies führt zu einer verbesserten Wirksamkeit gegenüber konventionellen Granulat- oder Pulver-Formulierungen mit Wirkstoffen aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe (Abb. 1).

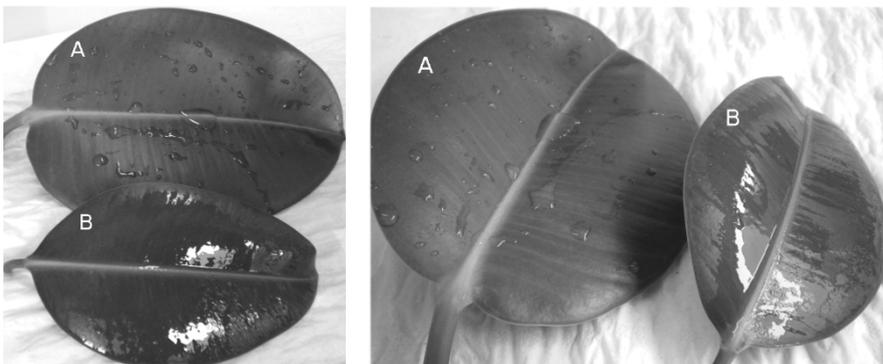


Abb. 4 Die Fotos demonstrieren die filmbildenden Eigenschaften der GAT OD-Technologie. Während sich beim Standard (A) nach der Applikation Tröpfchen auf der Blattoberfläche bilden, liefert die OD-Technologie (B) einen uniformen Benetzungsfilm und eine gleichmäßige Verteilung der Wirkstoffe.

Fig. 4 Photos of the leaf surface demonstrate the excellent film building properties of the OD technology. While the standard (A) forms droplets on the leaf surface the OD technology forms an uniform film (B) and ensures an uniform distribution of active substance.

Die Resultate der Versuche bestätigen die verbesserte Effizienz von TIVMETIX OD, die es erlaubt, geringere Wirkstoffaufwandmengen pro Hektar zuzulassen. Im Vergleich mit herkömmlich granulierten Referenzprodukten konnte TIVMETIX OD bei einer niedrigeren Aufwandmenge eine gleichwertige Wirkung gegenüber Unkräutern erzielen (Abb. 3, arithmetisches Mittel aus den

Testergebnissen). Dies führt zu einer Reduktion der Wirkstoffmenge pro Hektar von gewöhnlich bis zu 66 g bei Referenzprodukten auf 42 g Wirkstoff pro Hektar bei TIVMETIX OD (Tab. 3).

Tab. 3 Vergleich der Aufwandmenge von Referenzprodukten und TIVMETIX OD. Mit der GAT OD-Technologie konnte die Menge an Aktivstoff pro Hektar um 36 % reduziert werden.

Tab. 3 Comparison of application rates of reference products and TIVMETIX OD. The active substance amount per hectare was reduced by 36% using the GAT OD technology.

| Produkt / Country | Amount of Active Substance | Formulation Type | Dose Rate | g / ha Active Substance |
|-------------------------|-------------------------------------|------------------|---------------------|-------------------------|
| Concert SX / Germany | 40 g / kg Metsulfuron-methyl | SX | 100 - 150 g / ha | 44 - 66 |
| | 400 g / kg Thifensulfuron-methyl | | | |
| Concert SX / UK | 40 g / kg Metsulfuron-methyl | SX | 100 - 125 g / ha | 44 - 55 |
| | 400 g / kg Thifensulfuron-methyl | | | |
| Harmony M SX / France | 40 g / kg Metsulfuron-methyl | SX | 150 g / ha | 66 |
| | 400 g / kg Thifensulfuron-methyl | | | |
| TIVMETIX OD / EU | 19 g / kg Metsulfuron-methyl | OD | 200 mL / ha | 42 |
| | 190 g / kg Thifensulfuron-methyl | | | |

Nachbau

Wegen der Wirksamkeit von bereits sehr geringen SU-Konzentrationen wurden auch Studien nach GEP- und EPO-Standards durchgeführt, um die Effekte auf nachgebaute Kulturen zu untersuchen. In einer umfassenden Versuchsreihe wurde bestätigt, dass TIVMETIX OD keine Effekte auf den Nachbau von verschiedensten Feldfrüchten zeigt. In keinem der Versuche wurden Anzeichen von Phytotoxizität festgestellt, was vor allem mit der geringen Aufwandmenge von TIVMETIX OD zusammenhängt. Zusätzlich kann TIVMETIX OD mit einer Reihe anderer Herbizide gemischt bzw. in einer Sequenz angewendet werden, ohne die Sicherheit bzgl. Nachbau bei der Anwendung im Rahmen einer praxisüblichen Fruchtfolge zu beeinträchtigen (Tab. 2). Folgende Kulturen können nach einer Frühjahrsanwendung von TIVMETIX OD nachgebaut werden: Winterweizen, Winterraps, Feldbohne, Sommergerste, Felderbse, Eisbergsalat, Zuckerrübe, Küchenzwiebel, Gartenkarotte, Gemeiner Mais, Kartoffel. Hierbei handelt es sich um die Gesamtheit der zum Nachbau getesteten Feldfrüchte.

Diskussion

In TIVMETIX OD kam die von GAT Microencapsulation entwickelte, neuartige OD-Formulierungstechnologie zur Anwendung und vereint die zwei hoch-wirksamen Sulfonylharnstoffe Thifensulfuron-methyl und Metsulfuron-methyl in einem Produkt. TIVMETIX OD garantiert durch seine flüssige Formulierung eine hohe Anwenderfreundlichkeit und Sicherheit, und eine einfache Dosierung. Probleme der elektrostatischen Aufladung von Granulaten oder Pulvern oder die Gefahr der Verfrachtung durch Wind treten nicht auf.

Da die wirkungsverstärkenden Hilfsstoffe wie Netzmittel oder Adjuvantien Bestandteile der Formulierung sind, wird gewährleistet, dass beim Ausbringen der Spritzbrühe die Wirkstoffpartikel und der Film aus Öl, Netzmittel und Adjuvantien gemeinsam auf die Blattoberfläche des Schadorganismus treffen. Durch das direkte Zusammenspiel von wirkungsverstärkenden Hilfsstoffen und dem Wirkstoff wird eine verbesserte Wirksamkeit bei geringerer Aufwandmenge erzielt.

Da die Aufnahme von Wirkstoffen aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe zu einem Gutteil über die Blätter erfolgt, kann der Wirkstoffaufwand pro Hektar, bei gleicher Wirksamkeit gegenüber Referenzprodukten, um bis zu 36 % reduziert werden.

Literatur

- CONLEY R. F., 1996 Dispersant Functionality in Nonaqueous Media. In: *Practical Dispersion*. Canada, Wiley-VCH, 177-211.
- CREMLYN R.J., 1990: Agrochemicals – Preparation and Mode of Action. Hertfordshire, UK, John Wiley and Sons Ltd., 259.
- DROBNY H. G., M. SCHULTE und H. J. STREK, 2012: 25 Jahre Sulfonylharnstoff-Herbizide – ein paar Gramm veränderten die Welt der chemischen Unkrautbekämpfung. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 21-33.
- EUROFINS AGROSCIENCE SERVICE: Determination of the effect of TIVMETIX on various succeeding crops following application to a winter wheat crop, 4 Sites in UK 2013/2013. Derbyshire, UK, 1-196.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2010: Manual on development and use of FAO and WHO specifications for pesticides, Rome, 158-161.
- FOWKES F.M., H. JINNAI, M.A. MOSTAFA, F.W. ANDERSON und R.J. MOORE, 2009: Mechanism of Electric Charging of Particles in Nonaqueous Liquids. In: *Colloids and Surfaces in Reprographic Technology*. M. HAIR, M. D. CROUCHER, Canada, ACS Symposium Series V. **200**, 307-324.
- GAT, 2011: Biological Assessment Dossier – Registration Report Part B, Section 7: Efficacy Data and Information, TIVMETIX OD, Central Zone, UK, 1-65.
- GAT, 2011: Biological Assessment Dossier – Registration Report Part B, Section 7: Efficacy Data and Information, TIVMETIX OD, Southern Zone, UK, 1-55.
- ROSEN, M.J., 2004: Nonaqueous Dispersions. In: *Surfactants and Interfacial Phenomena*. New Jersey, Wiley-Interscience, 349-352.

Proman – eine starke Basis für flexible Herbizidstrategien im Kartoffelbau

Proman – a strong base for flexible herbicide strategies in potato production

Henning Bergmann

Belchim Crop Protection - Fachberatung Ackerbau Deutschland,
Wollenweberstraße 22, 31303 Burgdorf
henning.bergmann@belchim.com



DOI 10.5073/jka.2016.452.045

Zusammenfassung

Für das Herbizid Proman wird – zunächst für die Kultur Kartoffel - die Zulassung erwartet. Später wird der Wirkstoff durch weitere Zulassungen voraussichtlich auch in anderen Kulturen verfügbar sein. Proman enthält den Wirkstoff Metobromuron. In verschiedenen Versuchen in Kartoffeln wurden Erkenntnisse zur Wirkung gegen Unkräuter und zur Verträglichkeit gegenüber der Kulturpflanze ermittelt. Als Ergebnis wurde eine Positionierung sowie eine Ermittlung relevanter Mischpartner im Kartoffelbau bestimmt, aus der sich eine sichere Empfehlung innerhalb der Herbizidstrategien im Kartoffelanbau ergeben wird.

Stichwörter: Empfehlungen, Flexible Strategien, Metobromuron, Multi-Flex, Wirkung

Abstract

For the herbicide Proman we are first expecting the registration in potato crops. Later the active ingredient will be available in other crops also after further registrations. The active ingredient of Proman is metobromuron. In different field trials in potatoes we gathered experiences regarding the efficacy of Proman against different weeds and selectivity for the crop. As a result, a positioning in potato production was determined and a recommendation within the potato herbicide strategy is pronounced.

Keywords: Efficacy, flexible strategy, metobromuron, Multi-Flex, recommendation

Einleitung

Das Herbizid Proman enthält den bewährten Wirkstoff Metobromuron in einer Menge von 500 g/l in einer flüssigen SC-Formulierung. Die Wirkungsweise bildet sich durch eine Hemmung in der Photosynthese ab. Da die Aufnahme des systemischen Metobromuron hauptsächlich über die Wurzeln stattfindet, ist das Produkt im Voraufbau bis kurz vor dem Aufbruch einzusetzen. Innerhalb des Voraufbaues der Kartoffel deutet die gute Kulturverträglichkeit des Produktes eine flexible Einsatzterminierung an. Durch die relativ große Anzahl an verschiedenen Kartoffelsorten im Markt besteht ein hoher Bedarf nach einem Herbizidsystem, in der eine gewisse Unabhängigkeit von dem Wirkstoff Metribuzin möglich ist. In diesem Punkt besteht durch den Einsatz des Herbizides Proman eine universelle und flexible Möglichkeit. Dies ist besonders für die immer mehr im Anbau befindlichen Metribuzin-unverträglichen Kartoffelsorten eine wichtige Entscheidungsgrundlage.

Material und Methoden

Im Rahmen der Zulassung wurden in verschiedenen europäischen Zonen Versuche durchgeführt, die zur Klärung des Wirkungsspektrums beigetragen haben. Weiterhin wurden zur Verfeinerung der Positionierung und gegebenenfalls Mischpartnerfindung Demonstrationsversuche mit ausgesäten Unkräutern ohne Kulturbepflanzung sowie Feldversuche in Kartoffelbeständen durchgeführt und ausgewertet.

Ergebnisse

Im Rahmen der Zulassung wurden die verfügbaren Boniturdaten für die verschiedenen Unkrautarten in den folgenden Tabellen und Abbildungen zusammengefasst. Die Abdeckung des für den Kartoffelanbau relevanten Unkrautspektrums wird gut sicher gestellt, wobei für Proman im Solo-Einsatz für die vollständige Bekämpfung von Unkräutern wie z.B. Klettenlabkraut (*Galium aparine*), Schwarzer Nachtschatten (*Solanum nigrum*) und Gemeine Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) eine entsprechende Zumischung eines zusätzlich wirksamen Herbizid-Partners zur Schließung der Lücken anzuraten ist. Dafür können nach eigenen Erfahrungen, z.B. clomazonehaltige Mischpartner eine Rolle spielen.

Tab. 1 Versuchszusammenfassung von Feldversuchen aus den Jahren 2009 bis 2012 zum Wirkungsgrad von Proman gegen verschiedene Unkräuter (3-5 Wochen nach der Behandlung mit 3 l/ha Aufwandmenge).

Tab. 1 Summary of field trials from 2009 till 2012 on the efficacy of Proman against various weeds (3-5 weeks after treatment with 3 l/ha).

| Unkraut | Code | Wirkungsgrad in % | Unkraut | Code | Wirkungsgrad in % |
|---------------------------------|-------|-------------------|------------------------------------|-------|-------------------|
| <i>Aethusa cynapium</i> | AETCY | 65 | <i>Lamium purpureum</i> | LAMPU | 100 |
| <i>Amaranthus retroflexus</i> | AMARE | 89 | <i>Matricaria recutita</i> | MATCH | 80 |
| <i>Atriplex patula</i> | ATXPA | 99 | <i>Mercurialis annua</i> | MERAN | 68 |
| <i>Beta vulgaris vulg. alt.</i> | BEAVV | 99 | <i>Poa annua</i> | POAAN | 99 |
| <i>Bidens tripartita</i> | BIDTR | 100 | <i>Polygonum aviculare</i> | POLAV | 90 |
| <i>Brassica napus</i> | BRSNN | 55 | <i>Polygonum lapathifolium</i> | POLLA | 98 |
| <i>Capsella bursa-pastoris</i> | CAPBP | 96 | <i>Polygonum persicaria</i> | POLPE | 86 |
| <i>Chenopodium album</i> | CHEAL | 93 | <i>Raphanus raphanistrum</i> | RAPRA | 98 |
| <i>Chenopodium hybridum</i> | CHEHY | 100 | <i>Senecio vulgaris</i> | SENVU | 99 |
| <i>Convolvulus arvensis</i> | CONAR | 81 | <i>Setaria adhaerens</i> | SETAD | 100 |
| <i>Digitaria sanguinalis</i> | DIGSA | 92 | <i>Setaria viridis</i> | SETVI | 94 |
| <i>Echinochloa crus-galli</i> | ECHCG | 63 | <i>Sinapis arvensis</i> | SINAR | 91 |
| <i>Euphorbia chamaesyce</i> | EPHCH | 81 | <i>Solanum nigrum</i> | SOLNI | 70 |
| <i>Fallopia convolvulus</i> | POLCO | 79 | <i>Sonchus arvensis</i> | SONAR | 95 |
| <i>Fumaria officinalis</i> | FUMOF | 80 | <i>Stellaria media</i> | STEME | 98 |
| <i>Galeopsis spp.</i> | URTUR | 86 | <i>Thlaspi arvense</i> | THLAR | 95 |
| <i>Galeopsis tetrahit</i> | GAETE | 99 | <i>Tripleurospermum perforatum</i> | MATIN | 96 |
| <i>Galinsoga parviflora</i> | GASPA | 99 | <i>Veronica hederifolia</i> | VERHE | 86 |
| <i>Galium aparine</i> | GALAP | 69 | <i>Veronica persica</i> | VERPE | 83 |
| <i>Lamium amplexicaule</i> | LAMAM | 87 | <i>Viola arvensis</i> | VIOAR | 94 |

Weiterhin ist aus Versuchen mit ausgesäten Unkräutern interessant zu beobachten, wie sich in der Dosis-Wirkungs-Beziehung von spezifischen Unkräutern der Wirkungsgrad darstellt (Abb. 1). Für die Bewertung sollte berücksichtigt werden, dass die Varianten mit Proman solo behandelt wurden und die Unkräuter sich ohne spätere Konkurrenz der Kultur entwickelt haben. Diese Art von Versuchen führen zu einer Komplettierung des Bildes, selbst wenn sie für das Produkt in diesen Versuchen mit Solo-Anwendung das worst-case-Szenario darstellen.

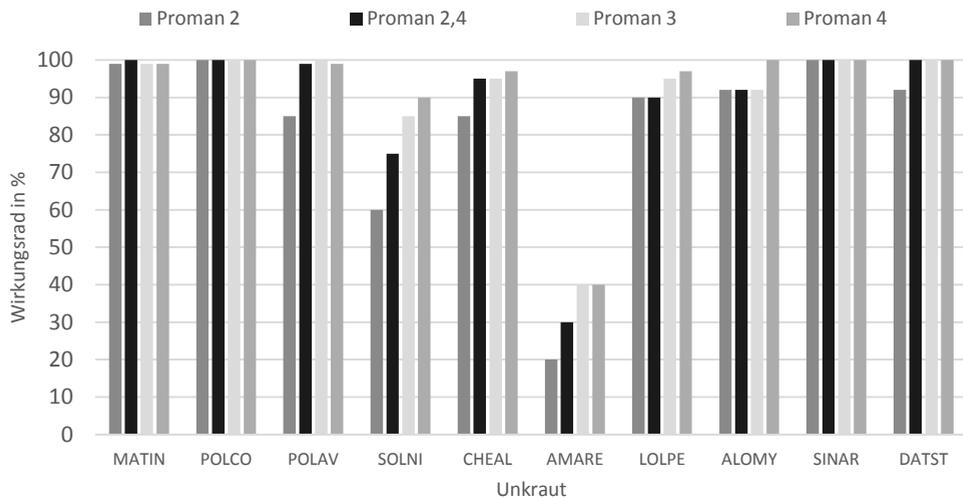


Abb. 1 Versuch in Bray sur Somme, Frankreich, zur Wirksamkeit von Proman auf eingesäte Unkräuter bei verschiedenen Aufwandmengen (Aufwandmengen in l/ha; 63 Tage nach der Behandlung; 2012).

Fig. 1 Trial from Bray sur Somme, France, on the efficacy of Proman on sown weeds at various rates of application (Application rates in l/ha, results from 63 days after treatment, 2012).

Für den Einsatz in der Praxis ist die Herbizidstrategie mit Proman in Kombination mit relevanten Zumischprodukten im Feld getestet worden. Hier ist nun exemplarisch für zwei Versuche die Wirkungsstärke differenziert dargestellt (Abb. 2 und 3). In weiteren Versuchen ist ebenfalls festgestellt worden, dass sich die Wirkung auf Nachtschatten (*Solanum nigrum*) überraschend günstig in Kombinationen mit Herbiziden mit dem Wirkstoff Clomazone dargestellt hat (Daten nicht abgebildet).

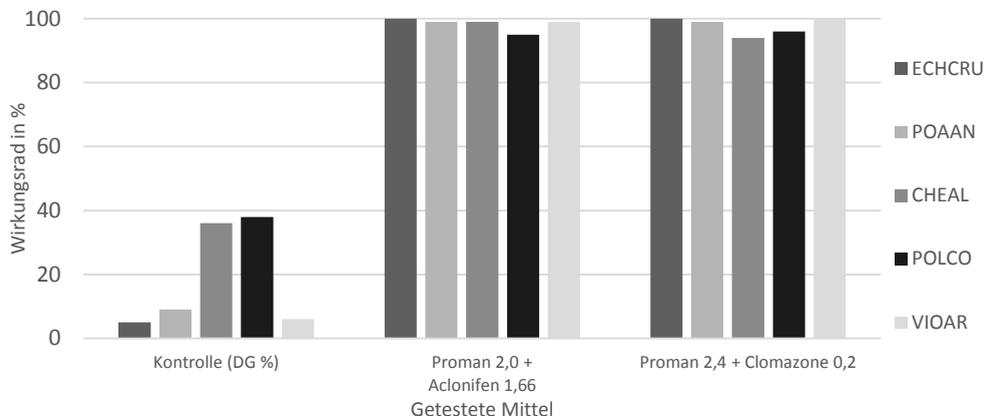


Abb. 2 Versuch der LWK Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen, am Standort Bokel zum Vergleich der Wirksamkeit von Proman mit Partnern und Vergleichsmitteln (21 Tage nach Behandlung; 2012).

Fig. 2 Trial from the LWK Niedersachsen, district office Uelzen, location Bokel to compare the efficacy of Proman with partners and competitors (results from 21 days after treatment, 2012).

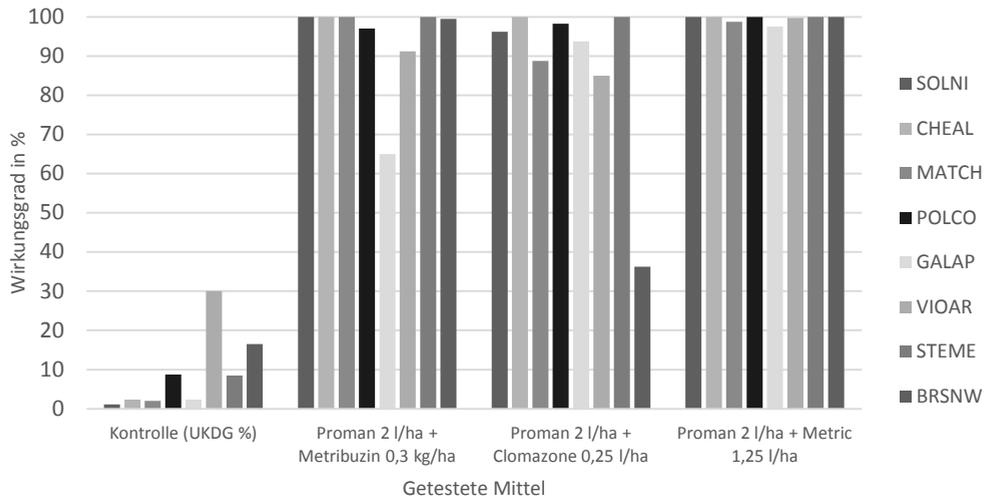


Abb. 3 Versuch der LWK Niedersachsen, Bezirksstelle Braunschweig, am Standort Langwedel zum Wirkungsgrad von Proman mit Partnern (2013).

Fig. 3 Trial from the LWK Niedersachsen, district office Braunschweig, location Langwedel on the efficacy of Proman with partners (2013).

Zur Absicherung der Aussagen bezüglich Kulturverträglichkeit wurden ebenfalls orientierende Versuche angelegt (Abb. 4). Insbesondere in den Verarbeitungssorten sind Metribuzinempfindliche Sorten präsent. Die folgende Zusammenfassung zeigt die gute Eignung von Proman in einem breiten Sortenspektrum. Es sind keine Unverträglichkeiten bekannt.

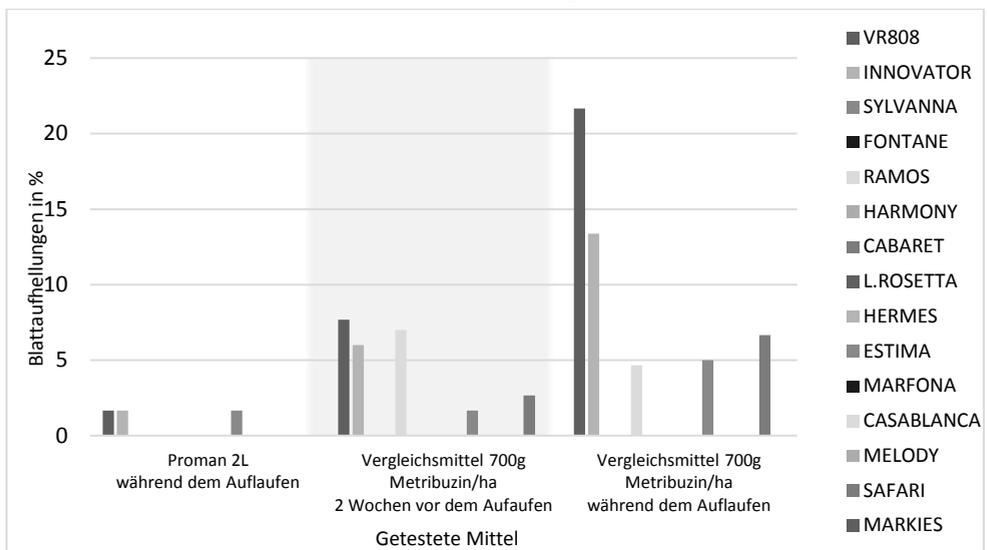


Abb. 4 Versuch in Pembrokeshire, UK, zur Kulturverträglichkeit von Proman in Kartoffeln (2012).

Fig. 4 Trial from Pembrokeshire, UK, on selectivity of Proman in potatoes (2012).

Diskussion

Die durchgeführten Versuche zeigen, dass Proman mit seinem bewährten Wirkstoff Metobromouron für die Unkrautbekämpfung im Kartoffelanbau sehr gut geeignet ist. Das breite Wirkungsspektrum macht es zu einem universellen Herbizid in Kartoffeln und trägt zur Lösung der aktuellen Unkrautproblematik gegen die wichtigen Unkräuter in der Kultur bei. Nur bei einigen wenigen Unkräutern müssen eventuelle Lücken durch das Zumischen von relevanten Partnern geschlossen werden. Dadurch besteht mit Proman in Kombinationen eine sehr gute Möglichkeit zur Entwicklung flexibler Unkrautbekämpfungsstrategien. Zu diesem Zweck ist der Einsatz verschiedener Mischpartner ohne Begrenzung und eventuelle Mischbarkeitsprobleme möglich. Hierfür ist in der Teilmengenkombination die Dosierung von Proman mit 2 bzw. 2,5 Litern je Hektar plus eine Teilmenge des entsprechenden Mischpartners vorgesehen. Auch in Bezug auf die Auswahl Promans für die verschiedenen am Markt befindlichen Kartoffelsorten gibt es derzeit kein Anzeichen für eine Einschränkung, was als sehr universelle Einsatzmöglichkeit gilt. Die Verträglichkeitsversuche beweisen auch, dass die Zeitspanne des Einsatzes im Voraufbau bis zum Stadium kurz vor den Aufbau eine flexible Einsatzterminierung erlaubt, sofern der passende Mischpartner dieses zulässt. Die technischen Eigenschaften von Metobromuron in Bezug auf die Wasserlöslichkeit und die Dauerwirkung sind ebenfalls als günstig einzustufen, womit es sich auch für die Voraufbaupositionierung empfiehlt. Aus diesen verschiedenen genannten Eigenschaften kann das Produkt deshalb berechtigt als „Multi-Flex-Herbizid“ bezeichnet werden.

Permit – Ein neues Herbizid zur Bekämpfung von *Cyperus esculentus* in Mais

Permit – A new herbicide for control of Cyperus esculentus in maize

Albert Günnigmann*, Daniel Becker

Cheminova Deutschland GmbH & Co. KG, Stader Elbstraße, D-21683 Stade
*Korrespondierender Autor, albert.guennigmann@cheminova.com



DOI 10.5073/jka.2016.452.046

Zusammenfassung

Permit mit dem Wirkstoff Halosulfuron (750 g/kg WG) ist ein neues Maisherbizid. Die Annex I Listung liegt seit Oktober 2013 vor. Bei der Kontrolle des schwer bekämpfbaren Erdmandelgrases (*Cyperus esculentus*) nimmt Permit eine Sonderstellung ein. Erdmandelgras ist ein invasiver Neophyt aus der Familie der *Cyperaceae* (Sauergräser). Spezifische Gräserherbizide, die zur Bekämpfung von *Poaceae* (Süßgräser) eingesetzt werden, haben gegen *Cyperaceae* eine Wirkungslücke. Die Vermehrung erfolgt rasant und in Deutschland ausschließlich über Wurzelknollen (Mandeln) im Boden. Die Befallsflächen haben in Deutschland in den letzten Jahren stark zugenommen, betroffen ist vor allem Niedersachsen. Permit wurde mit Aufwandmengen von 30-50 g/ha als Einmalbehandlung sowie im Splittingverfahren in insgesamt 7 Versuchen zur Bekämpfung von Erdmandelgras in Mais getestet. Entscheidend für den Bekämpfungserfolg war der Applikationstermin. Hohe Wirkungsgrade wurden mit 30-50 g/ha Permit als Soloanwendung zu BBCH 16 des Mais erzielt (Wirkungsgrade 94-98%), sowie durch das Splittingverfahren im 4- und 6-Blattstadium des Mais (Wirkungsgrade 94-99%). Da Erdmandelgras in Mais häufig in mehreren Wellen aufläuft, bietet das Splittingverfahren teilweise eine höhere Wirkungssicherheit. Permit bietet damit neue Möglichkeiten, Erdmandelgras wirkungsvoll in Mais zu bekämpfen und schließt damit eine entscheidende Wirkungslücke der zurzeit verfügbaren Maisherbizide.

Stichwörter: Anwendungstermin, Aufwandmengen, *Cyperaceae*, *Cyperus esculentus*, Halosulfuron, Splitting

Abstract

Permit, containing the active ingredient halosulfuron (750 g/kg WG) is a new herbicide in maize. It is listed in Annex I since October 2013. Permit plays a special role when dealing with the hard to control weed yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*). Yellow nutsedge is an invasive plant belonging to the family *Cyperaceae* (sedges). Specific graminicides used to control *Poaceae* (sweet grasses) are not effective against *Cyperaceae*. Propagation is rapid and occurs exclusively via tubers formed in the soil. Affected areas in Germany grow rapidly, especially in Lower-Saxony. Application rates from 30-50 g/ha Permit were tested in solo or split application in 7 trials to control *Cyperus esculentus* in maize. Application timing proved critical for successful control. High levels of control were achieved with 30-50 g/ha Permit with single applications at BBCH 16 (efficacy 94-98%) as well as with split applications at BBCH 14 and 16 of the crop (efficacy 94-99%). Because yellow nutsedge often emerges in multiple waves, the split application provides more reliable control. Permit offers new opportunities to effectively control *Cyperus esculentus* in maize and thus closes an important gap in the weed spectrum of currently available maize herbicides.

Keywords: Application rate, application timing, *Cyperaceae*, *Cyperus esculentus*, halosulfuron, split application

Einleitung

Permit ist ein neues systemisches Herbizid mit 750 g/kg Halosulfuron, formuliert als wasserlösliches Granulat. Die Annex I - Listung für Halosulfuron liegt seit Oktober 2013 vor. Halosulfuron gehört zu den Sulfonylharnstoffen und wirkt als ALS-Hemmer. Die Wirkstoffaufnahme erfolgt hauptsächlich über das Blatt. Das Herbizid besitzt Wirkungsstärken gegen *Matricaria*-Species (Kamille-Arten), *Bidens*-Species (Zweizahn-Arten), *Ambrosia* (Ambrosie) und *Cyperus esculentus* (Erdmandelgras). Bei der Kontrolle des schwer bekämpfbaren Erdmandelgrases nimmt Permit eine Sonderstellung ein.

Das Erdmandelgras, *Cyperus esculentus*, kommt ursprünglich aus den Subtropen. In den letzten Jahren hat es sich auch vermehrt in Regionen mit kühlerem Klima ausgebreitet. Erste Befallsherde wurden in Deutschland vor ca. 40 Jahren entlang der niederländischen Grenze festgestellt. Die einkeimblättrige, ausdauernde Pflanze vermehrt sich unter nordeuropäischen Bedingungen fast

ausschließlich über die Wurzelknöllchen (Mandeln) im Boden (KELLER et al., 2015). Eine Verbreitung über Samen ist zwar grundsätzlich möglich, jedoch erfolgt die Keimung nur bei optimaler Feuchtigkeit (LAPHAM und DRENNAN, 1990) und spielt unter lokalen Praxisbedingungen keine bedeutende Rolle (HUFSCHMID, 2014). Bei Bodentemperaturen von über 9 °C Grad treiben die Wurzelknöllchen im Frühjahr aus. Erdmandelgras läuft dabei vielfach in Wellen auf. Aus den keimenden Mandeln wächst zunächst ein Rhizom, das unmittelbar unter der Bodenoberfläche eine Verdickung (Basalzwiebel) bildet. Aus dieser Verdickung entstehen oberirdische Triebe mit langen, gelblich-grünen Blättern. Später erscheint ein scharfer dreikantiger, ca. 30 bis 70 cm hoher blatt- und knotenloser Stängel. Am oberen Ende erscheint der Blütenstand, der sich aus goldgelben Blütenährchen zusammensetzt. Im Herbst sterben die oberirdischen Pflanzenteile ab. Schon im Frühsommer setzt die Bildung neuer Knöllchen ein und dauert bis zu den ersten Frösten. Aus einer Mutterknolle (0,5 – 15 mm) können im Laufe einer Vegetationsperiode mehrere Hundert neue Knöllchen entstehen. Die Mandeln haben im Boden eine Lebensdauer von ca. fünf bis sechs Jahren. Die meisten Knöllchen werden in der obersten Bodenschicht (0 – 20 cm) gebildet (KELLER et al., 2015) und sind relativ unempfindlich gegen Frost. Erst bei Temperaturen um -7 °C stirbt die Hälfte der Knöllchen innerhalb von 48 Stunden ab (STOLLER und WAX, 1973).

Die Befallsflächen mit Erdmandelgras haben in Deutschland in den letzten Jahren stark zugenommen. Insgesamt wird das bundesweite Auftreten von *Cyperus esculentus* auf 8000 – 9000 ha geschätzt, betroffen ist hauptsächlich Niedersachsen mit einer Befallsfläche von ca. 7000 ha. Vor allem in den Regionen zwischen Uelzen-Dannenberg, Osnabrück-Damme und Oldenburg-Cloppenburg wird das äußerst hartnäckige Unkraut zunehmend zu einem Problem. Grund dafür ist unter anderem die veränderte Bewirtschaftung. Durch den überbetrieblichen Maschineneinsatz und zunehmende Lohnarbeiten wurden die Vermehrungsorgane (Mandeln) auf mehr und mehr Flächen verschleppt. Der geringe Bekanntheitsgrad dieses Unkrauts erschwert eine frühzeitige Erkennung. In der Vergangenheit gab es in Mais keine Möglichkeiten, *Cyperus esculentus*, wirkungsvoll zu bekämpfen. Spezifische Gräserherbizide, die zur Bekämpfung von Süßgräsern eingesetzt werden, zeigen gegen Sauergräser keine ausreichende Wirkung. In aktuellen Versuchen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen wurden mit den ACCase-Hemmern nur Wirkungsgrade von 20 – 30 % gegen *Cyperus esculentus* erzielt. Mit dem Herbizid Permit kann diese Wirkungslücke effektiv geschlossen werden.

Material und Methoden

Im Zeitraum von 2013 – 2015 wurde Permit zur Bekämpfung von *Cyperus esculentus* in Mais gemäß den GEP-Grundsätzen und EPPO-Standards in insgesamt sieben Versuchen geprüft. Versuchsansteller war in allen Versuchen die Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Für die Prüfung wurden Standorte mit einem hohen Besatz (Deckungsgrade von 14 bis 83 %) mit Erdmandelgras gewählt. Zumeist wurde das für Erdmandelgras charakteristische Auflaufverhalten in Wellen beobachtet. Neben Erdmandelgras traten an den Standorten auch relevante Schädelpflanzen wie Gemeine Hühnerhirse und Weißer Gänsefuß auf. Da Permit gegen diese Unkräuter eine Wirkungslücke besitzt, wurde in allen Permit-Varianten im Zweiblattstadium des Mais (T1: BBCH 12) eine Vorlage mit 3,0 l/ha Successor T (300 g/l Pethoxamid, 187,5 g/l Terbutylazin) plus 0,75 l/ha Callisto (100 g/l Mesotrione) appliziert, um vor allem die Konkurrenzkraft dieser Unkräuter auszuschalten. Diese Maßnahme ermöglichte die exakte Bonitur auf Erdmandelgras und stellt zugleich eine effektive Gesamtstrategie für die Praxis dar. Um auch den Einfluss dieser Vorlage auf *Cyperus esculentus* festzustellen, wurde in allen Versuchen auch eine Variante mit solo Vorlage getestet. Aufgrund der spezifischen Morphologie des Erdmandelgrases, mit seiner sehr aufrechten Blattstellung, wurde in alle Varianten mit Permit das Netz- und Haftmittel Herbaspread mit 0,3 l/ha zugesetzt.

Im ersten Jahr der Untersuchung war die zentrale Frage, ob sich Permit zur Bekämpfung von *Cyperus esculentus* eignet. In diesen Versuchen wurde Permit mit 50 g/ha eingesetzt, entweder im Splittingverfahren (erste Spritzung mit 25 g/ha in Tankmischung mit Successor T plus Callisto in

BBCH 12-13 des Mais, zweite Anwendung mit 25 g/ha Permit BBCH 14-15 des Mais) oder als Einfachbehandlung zum ersten oder zweiten Termin (BBCH 14-15 oder BBCH 16-18). Im zweiten und dritten Versuchsjahr wurden die Möglichkeiten zur Reduktion der Aufwandmenge überprüft. Nach Vorlage von Successor T plus Callisto in BBCH 12 des Mais erfolgte die Anwendung von 30-50 g/ha Permit entweder im Splittingverfahren (BBCH 14-15 und BBCH 16-18 des Mais) oder als Einfachbehandlung. Eine Übersicht der geprüften Varianten findet sich in Tabelle 1.

Tab. 1 Übersicht der Versuche mit Permit zur Bekämpfung von Erdmandelgras im Mais 2013-2015. In allen Varianten wurde eine Vorlage von 3 l/ha Successor T + 0,75 l/ha Callisto zur Kontrolle von Gemeiner Hühnerhirse und dikotylen Unkräutern appliziert. Permit wurde immer in Tankmischung mit dem Netzmittel Herbaspread angewendet.

Tab. 1 Overview of trials with Permit to control yellow nutsedge in maize in 2013-2015. In each treatment 3 l/ha Successor T + 0.75 l/ha Callisto were applied to control millets and dicot weeds. All treatments containing Permit were sprayed in tank mix with the wetting agent Herbaspread.

| Jahr | Prüfstelle(n) | Varianten | | |
|------------------------------|---------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| | | T1 (BBCH 12-13) | T2 (BBCH 14-15) | T3 (BBCH 16-18) |
| 2013 | Uelzen | Vorlage | - | - |
| | | Vorlage | 0,050 kg/ha Permit | - |
| | | Vorlage + 0,025 kg/ha Permit | 0,025 kg/ha Permit | - |
| | | Vorlage + 0,05 kg/ha Permit | - | - |
| | Oldenburg | Vorlage | - | - |
| | | Vorlage | - | 0,050 kg/ha Permit |
| Vorlage + 0,025 kg/ha Permit | | - | 0,025 kg/ha Permit | |
| 2014 | Uelzen | Vorlage | - | - |
| | | Vorlage | - | 0,050 kg/ha Permit |
| | Osnabrück | Vorlage | - | 0,040 kg/ha Permit |
| | | Vorlage | 0,025 kg/ha Permit | 0,025 kg/ha Permit |
| | | Vorlage | 0,020 kg/ha Permit | 0,020 kg/ha Permit |
| 2015 | Uelzen | Vorlage | - | - |
| | | Vorlage | 0,030 kg/ha Permit | - |
| | Oldenburg | Vorlage | - | 0,030 kg/ha Permit |
| | | Vorlage | 0,020 kg/ha Permit | 0,020 kg/ha Permit |
| | | Vorlage | 0,015 kg/ha Permit | 0,015 kg/ha Permit |

Die Durchführung der Versuche erfolgte auf praxisüblich bewirtschafteten Flächen. Als Bodenart dominierte lehmiger Sand bzw. sandiger Lehm, vielfach mit feinkrümeliger Bodenstruktur. An einem Standort war der Boden humos und grobschollig. Alle Versuche wurden als randomisierte Blockanlage mit 4 Wiederholungen und 18 – 15 m² Parzellengröße angelegt. Die Ausbringung der Herbizide erfolgte mit einem Parzellenspritzgerät und einer Wassermenge von 300 l/ha. Der Spritzdruck variierte je nach Versuchsstandort zwischen 2,5 – 3,5 bar. Die Bewertung der Unkrautwirkung und Kulturverträglichkeit erfolgte nach der EPPO-Richtlinie 1/50 (3). Nach 45 – 64 Tagen erfolgte die Endbonitur auf *Cyperus esculentus*.

Ergebnisse

Wirksamkeit von 50 g/ha Permit gegen *Cyperus esculentus* – Ergebnisse aus 2013

Im ersten Jahr wurde Permit in zwei Versuchen auf Wirksamkeit gegen Erdmandelgras in Mais überprüft (Tab. 2). Der Besatz mit *Cyperus esculentus* war mit durchschnittlich 54 % extrem hoch in der unbehandelten Kontrolle. Die Endbonitur erfolgte 52 – 64 Tage nach der Abschlussbehandlung mit Permit. Mit 3,0 l/ha Successor T plus 0,75 l/ha Callisto wurden Gemeine Hühnerhirse und dikotyle Unkräuter sicher erfasst, gegen Erdmandelgras wurde nur ein Wirkungsgrad von 34 % erreicht. Die Wirkungsgrade der Soloanwendung mit 50 g/ha korrelierten

mit dem Anwendungstermin. Bei der frühen Applikation am Standort im Raum Uelzen, angewendet BBCH 12-13 des Mais, wurde nur ein Wirkungsgrad von 60 % gegen *Cyperus esculentus* erzielt. Im 4-Blattstadium des Maises betrug der Wirkungsgrad an diesem Standort 85 %. Bei dem Versuch in der Nähe von Oldenburg wurde mit 98 % eine sichere Wirkung gegen Erdmandelgras erzielt, die Nachbehandlung mit 50 g/ha Permit erfolgte hier bei BBCH 16 der Kultur. Auch mit der Splittinganwendung (2 x 25 g/ha Permit) wurden hohe Wirkungsgrade von 96 % (94 – 98) erreicht. Vergleichbare Varianten ohne Halosulfuron hatten nur eine Teilwirkung gegen *Cyperus esculentus*. Die beste Vergleichsvariante hatte einen Wirkungsgrad von 74 %. Phytotoxizität wurde in keiner Variante festgestellt.

Tab. 2 Versuchsergebnisse 2013: Wirksamkeit gegen Erdmandelgras von 50 g/ha Permit als Einzelgabe und 2 x 25 g/ha Permit im Splitting.

Tab. 2 *Trials results 2013: Efficacy against yellow nutsedge of 50 g/ha Permit in single and 2 x 25 g/ha Permit in split application.*

| Variante | Standort | | Mittelwert |
|---|----------------------------|-------------------------------|---------------|
| | Uelzen (Nachlage zu T2) | Oldenburg (Nachlage zu T3) | |
| Unbehandelt (%-Deckungsgrad) | (25) | (83) | (54) |
| T1: Vorlage ¹ (solo) | 35 | 33 | 34 |
| T1: Vorlage ¹ T2/3: 0,050 kg/ha Permit (+FHS) | 85 | 98 | 92 |
| T1: Vorlage ¹ + 0,025 kg/ha Permit (+FHS) T2/3: 0,025 kg/ha Permit (+FHS) | 94 | 98 | 96 |
| T1: Vorlage ¹ + 0,050 kg/ha Permit (+FHS) | 60 | n.a. | 60 |

¹ = Vorlage von 3 l/ha Successor T + 0,75 l/ha Callisto

Wirksamkeit von 40 - 50 g/ha Permit gegen *Cyperus esculentus* – Ergebnisse aus 2014

Im zweiten Versuchsjahr wurde das Prüfmittel mit 40 g/ha und 50 g/ha zur Nachbehandlung gegen *Cyperus esculentus* getestet. Die Anwendung erfolgte entweder im Splittingverfahren BBCH 14-15 und BBCH 16-18 des Mais, oder als Einfachbehandlung BBCH 16-18 der Kultur. 3,0 l/ha Successor T plus 0,75 l/ha Callisto waren mit 27 % fast wirkungslos gegen Erdmandelgras. Mit der Nachbehandlung von 40 – 50 g/ha Permit wurden Wirkungsgrade von 94 – 96 % erzielt. Dosisbezogene Effekte wurden dabei nicht festgestellt. Phytotoxische Effekte gab es nicht.

Tab. 3 Versuchsergebnisse 2014: Wirksamkeit gegen Erdmandelgras von 40-50 g/ha Permit als Einzelgabe und 2 x 20-25 g/ha Permit im Splitting.

Tab. 3 Trials results 2014: Efficacy against yellow nutsedge of 40-50 g/ha Permit in single application and 2 x 20-25 g/ha Permit in split application.

| Variante | Standort | | Mittelwert |
|---|----------|-----------|---------------|
| | Uelzen | Osnabrück | |
| Unbehandelt (%-Deckungsgrad) | (41) | (14) | (28) |
| T1: Vorlage ¹ (solo) | 8 | 41 | 25 |
| T1: Vorlage ¹ T3: 0,050 kg/ha Permit (+FHS) | 92 | 100 | 96 |
| T1: Vorlage ¹ T3: 0,040 kg/ha Permit (+FHS) | 88 | 100 | 94 |
| T1: Vorlage ¹ T2: 0,025 kg/ha Permit (+FHS) T3: 0,025 kg/ha Permit (+FHS) | 88 | 100 | 94 |
| T1: Vorlage ¹ T2: 0,020 kg/ha Permit (+FHS) T3: 0,020 kg/ha Permit (+FHS) | 89 | 100 | 95 |

¹ = Vorlage von 3 l/ha Successor T + 0,75 l/ha Callisto

Wirksamkeit von 30 - 40 g/ha Permit gegen *Cyperus esculentus* – Ergebnisse aus 2015

Im Jahr 2015 wurde Permit auf drei Standorten mit 30 – 40 g/ha im Splittingverfahren (BBCH 14-15 war die erste Applikation, BBCH 16-18 die zweite Anwendung) sowie mit 30 g/ha als Einfachbehandlung (BBCH 14-15 oder BBCH 16-18 des Maises) auf Wirksamkeit gegen *Cyperus esculentus* getestet (Tab. 4). In der unbehandelten Kontrolle war der Besatz mit Erdmandelgras extrem hoch, der durchschnittliche Deckungsgrad mit Erdmandelgras betrug 46 %. Die Wirkung von Successor T plus Callisto war mit 15 % ungenügend. Mit der Nachbehandlung von 2 x 15 g/ha bzw. 2 x 20 g/ha Permit im Splittingverfahren wurde eine sichere Wirkung gegen Erdmandelgras erzielt. Der Wirkungsgrad der Einfachbehandlung mit 30 g/ha Permit war vom Anwendungstermin abhängig. Im Stadium BBCH 14-15 des Maises wurde nur eine befriedigende Wirkung erzielt, die spätere Anwendung im 6-Blattstadium des Maises zeigte dagegen eine sichere Wirkung.

Tab. 4 Versuchsergebnisse 2015: Wirksamkeit gegen Erdmandelgras von 30 g/ha Permit als Einzelgabe und 2 x 15-20 g/ha Permit im Splitting.

Tab. 4 *Trial results 2015: Efficacy against yellow nutsedge of 30 g/ha Permit in single application and 2 x 15-20 g/ha Permit in split application.*

| Variante | Standort | | | Mittelwert |
|--|----------|-----------|-----------|-------------|
| | Uelzen | Osnabrück | Oldenburg | |
| Unbehandelt (%-Deckungsgrad) | (21) | (61) | (56) | (46) |
| T1: Vorlage¹ (solo) | 0 | 28 | 18 | 15 |
| T1: Vorlage¹ T2: 0,030 kg/ha Permit (+FHS) | 83 | 95 | 95 | 91 |
| T1: Vorlage¹ T3: 0,030 kg/ha Permit (+FHS) | 97 | 98 | 98 | 98 |
| T1: Vorlage¹ T2: 0,020 kg/ha Permit (+FHS) T3: 0,020 kg/ha Permit (+FHS) | 99 | 99 | 98 | 99 |
| T1: Vorlage¹ T2: 0,015 kg/ha Permit (+FHS) T3: 0,015 kg/ha Permit (+FHS) | 99 | 99 | 98 | 99 |

¹ = Vorlage von 3 l/ha Successor T + 0,75 l/ha Callisto

Diskussion

Permit wurde mit Aufwandmengen zwischen 30 – 50 g/ha als Einzelbehandlung sowie im Splittingverfahren zur Bekämpfung von *Cyperus esculentus* in Mais getestet. Die Applikation erfolgte immer mit 0,3 l/ha Herbaspread als Additiv. Entscheidend für den Bekämpfungserfolg war der Zeitpunkt der Anwendung. Der Applikationstermin hatte auf die Wirksamkeit einen deutlich größeren Einfluss als die Aufwandmenge.

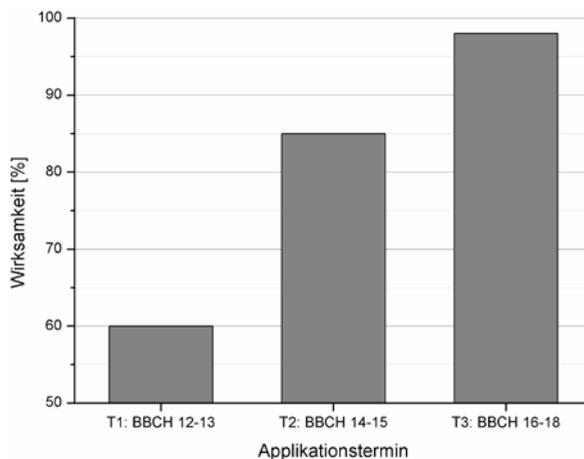


Abb. 1 Versuchsergebnisse 2013: Einfluss des Applikationstermins auf die Wirksamkeit von 50 g/ha Permit gegen Erdmandelgras.

Fig. 1 *Trial results 2013: Influence of application timing on the efficacy of 50 g/ha Permit against yellow nutsedge.*

Erdmandelgras läuft in Mais vielfach in mehreren Wellen auf. Zu frühe Soloanwendungen korrelierten mit schlechten Wirkungsgraden. Im Jahr 2013 wurde mit 50 g/ha Permit im 2-

Blattstadium des Mais nur ein Wirkungsgrad von 60 % erzielt. Mit der gleichem Aufwandmenge wurde in BBCH 14-15 schon ein Wirkungsgrad von 85 % und BBCH 16-18 von 98 % erreicht (Abb. 1).

Die Wirkungsabhängigkeit vom Applikationstermin wurde auch im Jahr 2015 klar ersichtlich. Mit 30 g/ha Permit BBCH 14-15 des Mais wurde ein Abtötungserfolg von 91 % erzielt, BBCH 16-18 betrug der Wirkungsgrad im Durchschnitt von drei Versuchen 98 % bei einem Deckungsgrad von 46 % mit Erdmandelgras in der unbehandelten Kontrolle (Abb. 2).

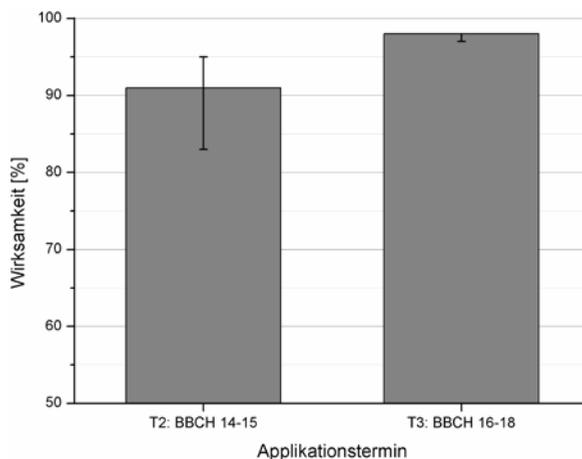


Abb. 2 Versuchsergebnisse 2015: Einfluss des Applikationstermins auf die Wirksamkeit von 30 g/ha Permit gegen Erdmandelgras.

Fig. 2 Trial results 2013: Influence of application timing on the efficacy of 30 g/ha Permit against yellow nutsedge.

Bei den in Einzelanwendung getesteten Aufwandmengen von 30, 40 und 50 g/ha Permit zeigten sich keine dosisabhängigen Effekte (Abb. 3).

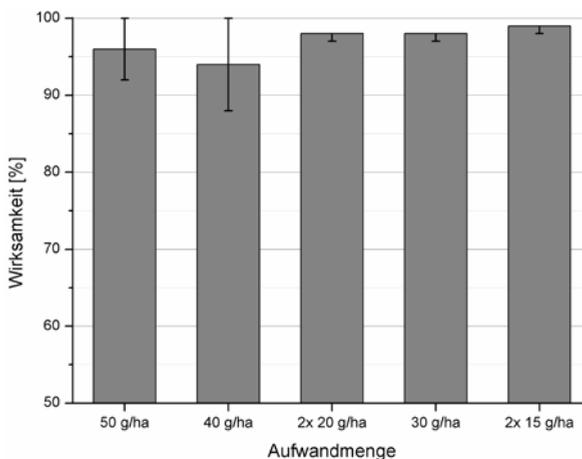


Abb. 3 Wirksamkeit unterschiedlicher Aufwandmengen von Permit gegen Erdmandelgras (Ergebnisse 2013-2015).

Fig. 3 Efficacy of different dose rates of Permit against yellow nutsedge (results 2013-2015).

Eine sichere Wirkung gegen *Cyperus esculentus* wird durch das Splittingverfahren erreicht. Mit der Splittinganwendung von 30 - 50 g/ha Permit in BBCH 14 und BBCH 16 des Maises variierten die durchschnittlichen Wirkungsgrade zwischen 94 % (im Jahr 2014) und 99 % im Jahr 2015 (Tab. 3 und Tab. 4). Durch das Splittingverfahren wird das in Wellen auflaufende Erdmandelgras sicher erfasst. Die Anwendung mit Permit bewirkte keine Phytotoxizität. In den gezeigten Versuchen erzielte Permit gegen das schwer bekämpfbare Erdmandelgrassehr gute Bekämpfungserfolge.

Literatur

- BOHREN, C., R. AZEVEDO und J. WIRTH, 2014: Die biologische Wirksamkeit von Maleinsäurehydrazid auf Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.). Julius-Kühn-Archiv **443**, 133-140.
- HUFSCHMID, T., 2014: Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) – Erkennen – Vorbeugen – Bekämpfen. – Merkblatt von Landwirtschaftlichem Zentrum Liebegg, Kantonaler Pflanzenschutzdienst, Kanton Aargau. 1 – 2 S.
- KELLER, M., J. KRAUSS, J. NEUWEILER und R. TOTAL, 2014: Use of the crop maize to reduce yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) pressure in highly infested fields in Switzerland. Julius-Kühn-Archiv **443**, 114-121.
- KELLER, M., R. TOTAL, C. BOHREN und BAUR, B., 2015: Problem Erdmandelgras: früh erkennen und nachhaltig bekämpfen. Agroscope, 1-5.
- LAPHAM, J., D.S.H. DRENNAN, 1990: The Fate of Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus*) Seed and Seedlings in Soil. Weed Sci. **38**, 125-128.
- STOLLER, E.W., L.M. WAX, 1973: Yellow Nutsedge Shoot Emergence and Tuber Longevity. Weed Sci. **21** (1), 76-81.

Milestone – a selective herbicide for the control of important grasses and broad-leaved weeds in winter oilseed rape

Milestone – ein selektives Herbizid zur Bekämpfung wichtiger Ungräser und Unkräuter in Winterraps

Agnes Zotz*, Ulrich Bernhard, Anke Koops, Xavier de Gaujac

Dow AgroSciences GmbH, Truderinger Strasse 15, 81677 München, Germany

*Corresponding author, azotz@dow.com



DOI 10.5073/jka.2016.452.047

Abstract

Milestone™ herbicide contains the active substance propyzamide (500 g/L) and aminopyralid (5.3 g a.e./L) and is formulated as a suspension concentrate (SC). Registration for Milestone for the use in winter oilseed rape was granted in Germany in July 2014.

The active substance propyzamide is well known from the product Kerb™ FLO (containing 500 g/L propyzamide, suspension concentrate, SC) which is widely used in winter oilseed rape (WITTRÖCK et al., 2008). Aminopyralid is formulated in the commercial product Runway (clopyralid + picloram + aminopyralid). Milestone is applied with a use rate of 1.5 L/ha as a post-emergence herbicide from growth stage BBCH 14 of the crop at the beginning of November until February. Kerb FLO is applied with a use rate of 1.875 L/ha at the same timing.

The efficacy of Milestone and Kerb FLO was tested in randomised and replicated plot trials in Germany, France and the United Kingdom. Milestone and Kerb FLO showed comparable and very high control levels against monocotyledonous species such as *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, *Bromus* species and volunteer cereals. Milestone shows a broader spectrum of activity vs. Kerb FLO against dicotyledonous weeds such as *Matricaria chamomilla*, *Papaver rhoeas* and *Centaurea cyanus*. The use of Milestone in dense crops (as the situation was in autumn 2014 for many areas in Germany) shows very high efficacy levels as well. The comparison of various application timings between end of October until beginning of December confirms the application date early November for best results.

Milestone controls herbicide-resistant weed populations and can be considered an important part of a resistance management program not only in winter oilseed rape but as a component of an integrated weed management strategy in cropping systems.

Keywords: Aminopyralid, Kerb FLO, Milestone, propyzamide, winter oilseed rape

Zusammenfassung

Milestone™¹ enthält die beiden herbiziden Wirkstoffe Propyzamid (500 g/l) und Aminopyralid (5,3 g a.e./l) und ist als Suspensionskonzentrat (SC) formuliert. Die Zulassung in Deutschland für die Anwendung von Milestone in Winterraps wurde im Juli 2014 erteilt.

Der Wirkstoff Propyzamid ist aus dem Produkt Kerb FLO™¹ (400 g/l Propyzamid, Suspensionskonzentrat, SC) im Winterraps bekannt (WITTRÖCK et al., 2008). Aminopyralid ist in dem Produkt Runway (Clopyralid + Picloram + Aminopyralid) enthalten.

Mit einer Aufwandmenge von 1,5 l/ha erfolgt die Anwendung von Milestone im Nachauflauf in Winterraps ab Entwicklungsstadium BBCH 14 der Kultur von Anfang November bis Februar. Kerb FLO wird mit 1,875 l/ha ebenfalls zu diesem Termin eingesetzt.

Die Wirkung von Milestone und Kerb FLO wurde in Parzellenversuchen in Deutschland, Frankreich und Großbritannien geprüft. Milestone und Kerb FLO zeigten in den Versuchen vergleichbare und sehr gute Wirkungsgrade gegen monokotyle Arten wie *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, *Bromus*-Arten oder Ausfallgetreide. Im Vergleich zu Kerb FLO weist Milestone jedoch ein wesentlich breiteres Wirkungsspektrum gegen dikotyle Unkräuter wie etwa Kamille-Arten, Klatschmohn oder Kornblume auf. Auch eine Anwendung des Produktes in überwachsenen Rapsbeständen (wie im Herbst 2014 häufig zu beobachten) zeigt sehr hohe und sichere Wirkungsgrade. Ein Vergleich unterschiedlicher Applikationstermine zwischen Ende Oktober und Anfang Dezember bestätigt den optimalen Anwendungstermin Anfang November.

^{TM1} Trademark of the Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow

Milestone erfasst auch resistente Unkrautpopulationen auf Problemstandorten und ist damit ein wichtiger Baustein für ein erfolgreiches Anti-Resistenzmanagement, nicht nur im Raps, sondern im Rahmen der gesamten ackerbaulichen Fruchtfolge.

Stichwörter: Aminopyralid, Kerb FLO, Milestone, Propyzamid, Winterraps

Introduction

Milestone is a selective herbicide for the control of mono- and dicotyledonous weeds in winter oilseed rape. The product contains 500 g/L propyzamide and 5.3 g/L acid equivalent of aminopyralid and is formulated as a suspension concentrate (SC) (Tab.1). The use rate of 1.5 L/ha Milestone delivers 750 g a.i./ha propyzamide and 8 g a.i./ha aminopyralid. Propyzamide acts mainly through root uptake, aminopyralid is taken up through both leaves and roots.

Tab. 1 Characteristics of the active ingredients in Milestone.

Tab. 1 Charakteristika der Wirkstoffe in Milestone.

| Active ingredient | Chemical family | Mode of action | HRAC-group |
|-------------------|--------------------------|-----------------------------|------------|
| Propyzamide | benzamide | inhibition of cell division | K1 |
| Aminopyralid | pyridine carboxylic acid | Synthetic Auxin | O |

The application timing of Milestone is between November and February, but for best results Milestone is applied at the beginning of November as post-emergence treatment from crop development stage BBCH 14 onwards. In field trials conducted during the development program of the product, Milestone proved excellent crop selectivity in a wide range of winter oilseed rape varieties.

The active propyzamide in the product Milestone belongs to the HRAC-group K1, the active aminopyralid to the HRAC-group O. Milestone has a very low risk of developing resistance and no reduced sensitivity levels of grasses (KLINGENHAGEN, 2013) or broad leaf weeds have been observed for both actives. Furthermore Milestone provides reliable control of resistant biotypes of blackgrass (*Alopecurus myosuroides*), *Bromus* spp., *Apera spica-venti* as well as ALS resistant *Matricaria* spp. types (BERNHARD et al., 2014).

Materials and Methods

Development trials with Milestone, as a single application at 1.5 L/ha, were conducted in Germany, France and the United Kingdom by the Dow AgroSciences internal field research and development department and by contract research organisations in accordance with GEP guidelines. Most of the trials followed a randomized complete block design with 4 replicates. An efficacy comparison was made to Kerb FLO, which was applied at 1.875 L/ha, delivering 750 g ai/ha of the active substance propyzamide. The weed control was rated visually as a percentage.

In a testing program set up in autumn 2014, the direct comparison of different application timings on the efficacy of Milestone was made. Milestone was applied at 1.5 L/ha in winter oilseed rape once either at an early timing (timing A) or a late timing (timing B). Applications for timing A were carried out between October 25th and November 7th 2014, applications for timing B between November 22nd and December 5th 2014. Applications were carried out with spray volumes of 200 L/ha. The winter oilseed rape development stage ranged from BBCH 18-30. Due to favourable weather conditions in autumn 2014, the winter oilseed rape had developed dense crops with lots of leaf biomass and almost full ground coverage at both application timings A and B. Plant growth continued well into the autumn 2014.

Results

In the trials carried out during the development program in winter oilseed rape, Milestone and Kerb FLO showed very high control levels against monocotyledonous species such as *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti* and *Lolium* spp. as well as volunteer cereals. Milestone provided >98% control, Kerb FLO provided >95% control. In addition to very good (>90%) control of annual grasses, Milestone provided very good control of annual dicotyledonous weeds such as *Matricaria* spp., *Papaver rhoeas*, *Centaurea cyanus*, *Stellaria media* and *Viola arvensis* (Tab.2).

Tab. 2 Milestone and Kerb FLO – efficacy spectrum when applied once in winter oilseed rape between end of October and February.

Tab. 2 Milestone und Kerb FLO – Wirkungsspektrum und Wirkungsvergleich bei einmaliger Anwendung in Winterraps zwischen Ende Oktober und Februar.

| Weed species | Weed code | Number of trials | Efficacy of Milestone at 1.5 L/ha | Efficacy of Kerb FLO at 1.875 L/ha |
|-------------------------------|-----------|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Volunteer cereals | NNNGA | 10 | 98 | 95 |
| <i>Alopecurus myosuroides</i> | ALOMY | 15 | 98 | 96 |
| <i>Apera spica-venti</i> | APESV | 3 | 100 | 100 |
| <i>Lolium multiflorum</i> | LOLMU | 4 | 98 | 98 |
| <i>Matricaria</i> spp. | MATSS | 15 | 98 | 28 |
| <i>Papaver rhoeas</i> | PAPRH | 12 | 94 | 27 |
| <i>Centaurea cyanus</i> | CENCY | 4 | 94 | 29 |
| <i>Stellaria media</i> | STEME | 5 | 93 | 92 |
| <i>Viola arvensis</i> | VIOAR | 9 | 91 | 66 |

The impact of different application timings on the efficacy of Milestone was tested in a trial program initiated in autumn 2014. Milestone was applied once with 1.5 L/ha in winter oilseed rape either at an early timing (timing A: application between Oct 25th - Nov 7th 2014) or a late timing (timing B: application between Nov 22nd - Dec 5th 2014).

For both application timings, Milestone showed a very high level of efficacy against *Bromus* spp. and *Matricaria* spp. Against *Alopecurus myosuroides*, Milestone showed superior efficacy at the early application timing A (98% control) vs. the later application timing B (89% control) (Tab. 3).

Tab. 3 Efficacy of Milestone (1.5 L/ha) when applied once at timing A resp. B.

Tab. 3 Wirkung von Milestone (1,5 L/ha) bei einmaliger Anwendung zu Anwendungstermin A bzw. B.

| Weed species | Weed code | Number of trials | Efficacy of Milestone 1,5 L/ha applied at Timing A (Oct 25 th – Nov 7 th 2014) | Efficacy of Milestone 1,5 L/ha applied at Timing B (Nov 22 nd – Dec 5 th 2014) |
|-------------------------------|-----------|------------------|--|--|
| <i>Alopecurus myosuroides</i> | ALOMY | 1 | 98 | 89 |
| <i>Bromus</i> spp. | BROSS | 2 | 96 | 97 |
| <i>Matricaria</i> spp. | MATSS | 2 | 99 | 99 |

Discussion

During the development phase of Milestone, an efficacy comparison between Milestone (containing 500 g/L propyzamide and 5.3 g a.i./L aminopyralid) and Kerb FLO (containing 400 g/L propyzamide) was made. Milestone and Kerb FLO showed comparable and very high control levels against monocotyledonous species such as *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, *Bromus* species and volunteer cereals. In comparison with Kerb FLO, the combination of the two actives propyzamide and aminopyralid (Milestone) exhibited increased spectrum of activity against dicotyledonous weeds such as *Matricaria* spp., *Papaver rhoeas* and *Centaurea cyanus*.

In a trial program initiated in autumn 2014, the use of Milestone in dense stands of winter oilseed rape with almost complete ground coverage (as the situation was in autumn 2014 in many areas in Germany) provided very high efficacy levels against *Bromus* spp. and *Matricaria* spp.. Against *Alopecurus myosuroides* an early application timing beginning of November proved slightly superior control to later application timing towards end of November through early December. The comparison of application timings confirmed that the application date in early November of Milestone provide maximum control of grass and broad leaf weeds.

References

- BERNHARD, U., A. KOOPS and X. DE GAUJAC, 2014: Milestone - ein neues selektives Herbizid zur Bekämpfung wichtiger mono- und dikotyle Unkräuter in Winterraps. – 59th German plant protection conference, Sept. 23-26, 2014, Freiburg Germany. Julius Kühn-Archiv **447**, 554-555.
- KLINGENHAGEN, G., 2013: Ackerfuchsschwanz: Schonen Sie ihn nicht! Top agrar **1/2013**, 88-92.
- WITTROCK, A., T. HENTSCH and J. BONIN, 2008: Kerb® Flo - a new, user-friendly propyzamide formulation active against hard-to-control grasses and broad-leaved weeds in many crops. Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue **XXI**, 665-669.

DuPont™ Debut® DuoActive (DPX-R3D76): Ein neues Produkt für optimierte Herbizidprogramme in Rüben

DuPont™ Debut® DuoActive (DPX-R3D76): A new product for optimized herbicide programs in beets

Christian Helinski*, Hans Günther Drobny, Andreas Förtsch

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

*Korrespondierender Autor, christian.helinski@dupont.com



DOI 10.5073/jka.2016.452.048

Zusammenfassung

DuPont™ Debut® DuoActive (Triflursulfuron-methyl 71 g/kg, Lenacil 714 g/kg) ist ein neues Herbizid zur Kontrolle dikotyler Unkräuter in Zucker- und Futterrüben. Mit der Kombination eines blatt- mit einem bodenaktiven Wirkstoff werden sowohl typische Leitunkräuter als auch schwierig kontrollierbare Unkräuter wie z.B. Ausfallraps (*Brassica napus*), Knötericharten (*Polygonum* ssp.), Hundspetersilie (*Aethusa cynapium*) und Klettenlabkraut (*Galium aparine*) erfolgreich kontrolliert. Debut® DuoActive ist ein ausgezeichnete Partner für Standardtankmischungen auf Basis von Phen-/Desmedipham, Ethofumesat und Metamitron. Eingebunden in ein Herbizidprogramm hilft Debut® DuoActive die Effizienz von Standardmischungen deutlich zu verbessern und die Notwendigkeit von Nachbehandlungen zu vermindern. Beantragt ist die Anwendung in der Futter- und Zuckerrübe (BBCH 10 - 39) mit einer Aufwandmenge von 210 g/ha (+ 0,1 % (v/v) DuPont™ Trend®).

Stichwörter: Debut® DuoActive, Lenacil, Triflursulfuron-methyl, Zuckerrübe

Abstract

DuPont™ Debut® DuoActive (triflursulfuron-methyl 71 g/kg, Lenacil 714 g/kg) is a new herbicide for the control of broadleaf weeds in fodder and sugar beets. The combination of a leaf with a soil active ingredient controls successfully typical broadleaf weeds as well as hard to control weeds like volunteer oilseed rape (*Brassica napus*), knotweeds (*Polygonum* ssp.), fool's parsley (*Aethusa cynapium*) and cleavers (*Galium aparine*). Debut® DuoActive is an excellent partner for standard tankmixes based on the active ingredients Phen-/desmedipham, ethofumesate and metamitron. As part of a herbicide program Debut® DuoActive helps to improve significantly the efficiency of standard herbicide tankmixes and reduces the necessity of possible subsequent treatment. Registration is applied for use in fodder and sugar beet (BBCH 10-39) with a use rate of 210 g/ha (+ 0.1 % (v/v) DuPont™ Trend®).

Keywords: Debut® DuoActive, lenacil, triflursulfuron-methyl, sugar beet

Einleitung

Die Zuckerrübe zeichnet sich durch eine geringe Konkurrenzfähigkeit gegenüber den mit ihr auflaufenden Unkrautarten aus. Ohne entsprechende Kontrolle der Unkräuter kommt es zu bedeutsamen Ertragsverlusten, die einen ökonomisch sinnvollen Zuckerrübenanbau in Frage stellen. Neben der Kontrolle von typischen Leitunkräutern wie Weißem Gänsefuß (*Chenopodium album*) und Kamille-Arten (*Matricaria* ssp.), stellen weitere schwieriger zu kontrollierende Unkräuter wie z.B. Ausfallraps (*Brassica napus*), Knöterich-Arten (*Polygonum* ssp.), Hundspetersilie (*Aethusa cynapium*) und Klettenlabkraut (*Galium aparine*) ein weiteres Bekämpfungsziel in der Zuckerrübe dar (VASEL et al., 2012). Herbizidprogramme basierend auf den Wirkstoffen Phenmedipham, Desmedipham und Metamitron stoßen oft an ihre Grenzen, um einen zufriedenstellenden Wirkungsgrad auf alle Unkrautarten zu erzielen.

Material und Methoden

Das im Zulassungsverfahren befindliche Debut® DuoActive (DPX-R3D76) enthält die beiden Wirkstoffe Triflursulfuron-methyl (71 g/kg) und Lenacil (714 g/kg) und ist formuliert als wasserdispergierbares Granulat (WG). Bei dem Sulfonylharnstoff Triflursulfuron-methyl handelt es sich um einen Acetolactatsynthase (ALS) – Hemmer (HRAC Gruppe B), der hauptsächlich über das Blatt aufgenommen wird (WITTENBACH et al., 1994). Der zweite im Produkt enthaltene Wirkstoff Lenacil ist ein Vertreter der chemischen Gruppe der Uracile, und besitzt den primären

Wirkmechanismus der Hemmung des Photosystems II (HRAC-Gruppe C2). Aufgenommen wird der Wirkstoff Lenacil zum überwiegenden Teil über die Wurzel (DROBNY und KRUSE, 2010). Durch die Kombination dieser Wirkstoffe zeichnet sich Debut®DuoActive durch eine Blatt- und Bodenwirkung auf Zielunkräuter aus. Die Zulassung von Debut®DuoActive ist für BBCH 10-39 der Zucker- und Futterrübe beantragt, wobei das Produkt dreimal mit einer maximalen Aufwandmenge von 210 g/ha (+ 0,1 % (v/v) DuPont™ Trend®) eingesetzt werden kann.

Während der Produktentwicklung wurde Debut®DuoActive (2013 und 2014) in Feldversuchen innerhalb der maritimen EPPO Zone an 40 Standorten in Belgien, Deutschland, Großbritannien, den Niederlanden und Tschechien getestet. Die Versuche wurden mit am Markt vertretenen Rübensorten und auf Standorten mit einer im Zuckerrübenanbau typischen Verunkrautung angelegt. Dem Produkt Debut®DuoActive wurde in diesen Versuchen eine Variante mit Debut® gegenübergestellt. Um den zusätzlichen Effekt durch den Wirkstoff Lenacil in Debut®DuoActive beurteilen zu können, wurden beide Produkte mit der vollen Aufwandmenge eingesetzt, um eine vergleichbare Wirkstoffmenge von Triflursulfuron-methyl auszubringen. Beide Produkte wurden mit einem Netzmittel DuPont™Trend ausgebracht.

Zur Untersuchung der Kulturverträglichkeit wurden in der maritimen EPPO Zone Selektivitätsversuche (n = 23) angelegt, um potentielle negative Effekte auf die Rübenernte auszuschließen. Dazu wurde Debut®DuoActive in der einfachen und doppelten Aufwandmenge im Vergleich zu einem praxisüblichen Vergleichsmittel auf Basis von Phen- und Desmedipham sowie Ethofumesat eingesetzt.

Ergänzend zu diesen Versuchen wurden 2014 und 2015 Praxisversuche in Deutschland (n = 14) angelegt, um den Einbindung von Debut®DuoActive in Herbizidprogrammen zu untersuchen. Dabei wurden Standardtankmischungen mit Tankmischungen plus Debut®DuoActive gegenübergestellt. Als Tankmischpartner wurden in Deutschland praxisübliche Produkte auf Basis von Phen-/Desmedipham, Ethofumesat und Metamitron gewählt.

Ergebnisse

Wirkungsspektrum

In der Zusammenfassung der Versuchsergebnisse der maritimen Zone (Abb. 1) wird erkenntlich, dass Debut®DuoActive auf eine Vielzahl der in der Zuckerrübe vorkommenden typischen Unkrautarten wesentlich höhere Wirkungsgrade als Debut® erzielt. Besonders bei Vertretern aus der Familie der Knöterichgewächse (*Polygonaceae*) und Gänsefußgewächse (*Chenopodioideae*) konnte die Wirksamkeit durch den Lenacil Anteil gesteigert werden. Allerdings ist die Gesamtwirkung gegen Weißen Gänsefuß mit 75 % als nicht ausreichend für eine nachhaltige Kontrolle im Bestand.

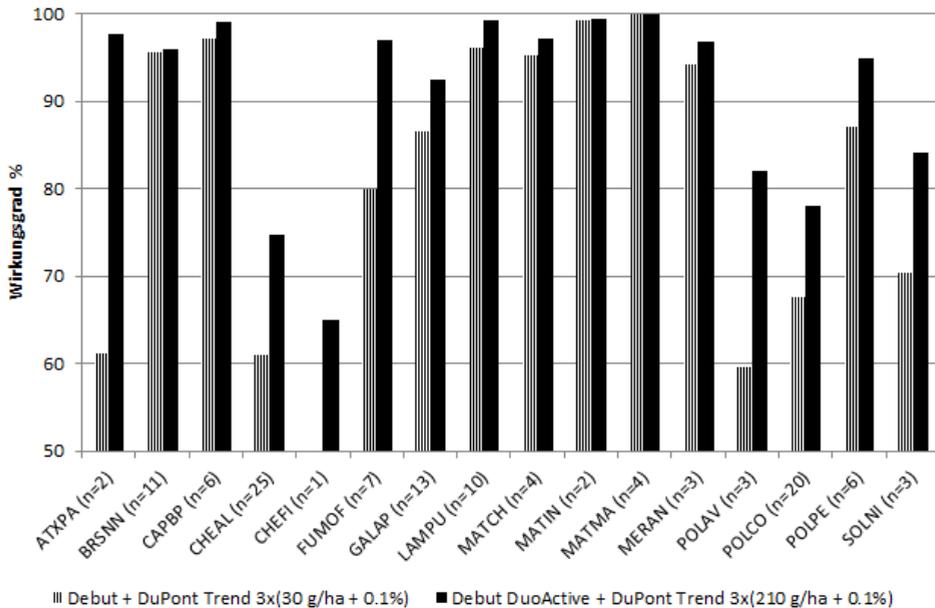


Abb. 1 Wirksamkeit von Debut®DuoActive (DPX-R3D76) im Vergleich zu Debut® (n = Anzahl der Versuchsergebnisse).

Fig. 1 Efficacy of Debut®DuoActive (DPX-R3D76) compared to Debut® (n= number of results).

Praxisversuche

In den Praxisfeldversuchen wurden drei Anwendungen (NAK 1-3) bestehend aus einer Tankmischung mit den Standardherbiziden Belvedere®¹Extra + Goltix®¹Titan verglichen mit Varianten ergänzt um Debut®DuoActive.

Es zeigte sich (Abb. 2), dass durch die Einbindung von Debut®DuoActive die Gesamtwirkung der Spritzfolgen weiter gesteigert werden konnte. So konnten die Wirkungsgrade bei Ausfallraps (*Brassica napus*), Windenknöterich (*Polygonum convolvulus*), Weißen Gänsefuß (*Chenopodium album*) und Bingelkraut (*Mercurialis annua*) bei Einbindung von Debut®DuoActive verbessert werden.

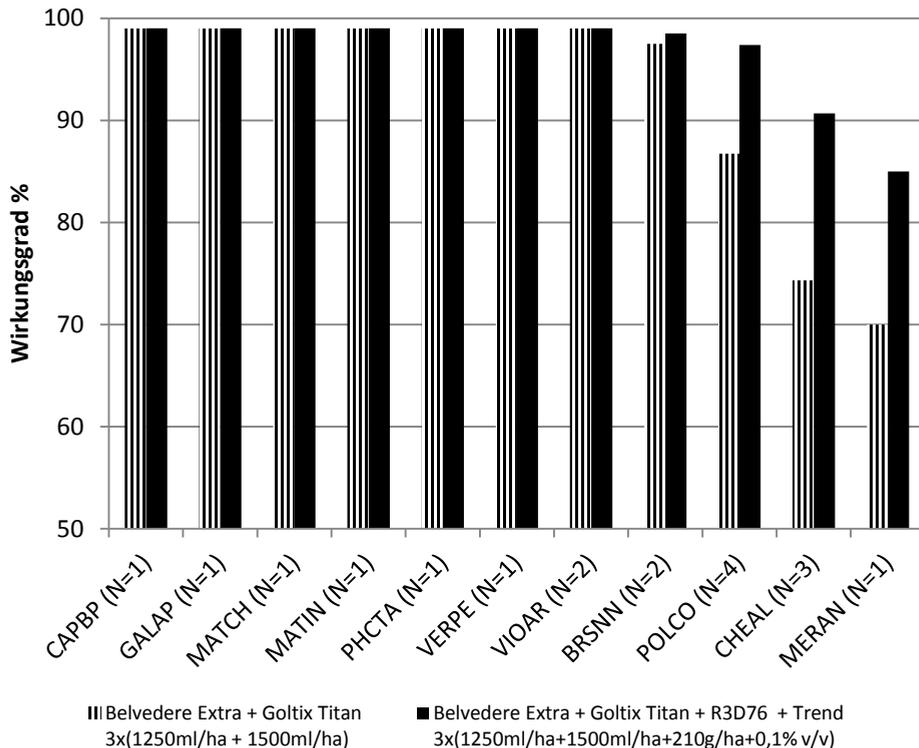


Abb. 2 Vergleich der Wirksamkeit einer Tankmischung ohne und mit Debut®DuoActive (DPX-R3D76).

Fig. 2 Comparison of a tankmix with and without Debut®DuoActive (DPX-R3D76).

Selektivität

In den zur Kulturverträglichkeit durchgeführten Versuchen wurden nach den Behandlungen wiederholte Bonituren zur Erfassung eventueller Schädigungen der Kulturpflanze wie Nekrosen, Chlorosen und Wuchsdepression durchgeführt. Nur in einer Minderheit der Versuche wurden Symptome beobachtet, die sich zum Teil auch beim Referenzprodukt im vergleichbaren Umfang zeigten. Dies lässt darauf schließen, dass die Beeinträchtigung der Pflanzen durch die Herbizidapplikationen im Allgemeinen und nicht speziell durch Tankmischungen mit Debut®DuoActive verursacht wurde. Bis zum Reihenschluss der Zuckerrübe hatten sich die beobachteten Symptome zurückgebildet.

Bei der Analyse der Ernteergebnisse konnte keine statistisch signifikante Beeinträchtigung des Ertrags, selbst bei Einsatz der doppelten Aufwandmenge des Produkts beobachtet werden.

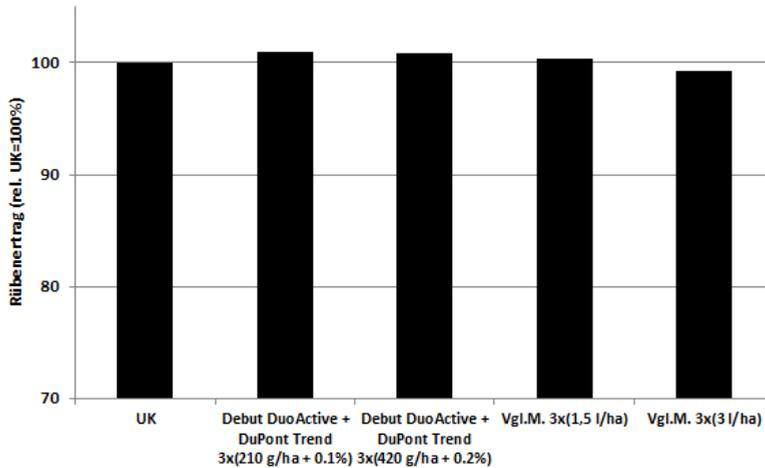


Abb. 3 Rübenenertrag (rel.) mit normaler und doppelter Aufwandmenge Debut®DuoActive (DPX-R3D76) im Vergleich zur Unbehandelten Kontrolle (= 100 %) und Vergleichspräparat (Phen-, Desmedipham und Ethofumesat).

Fig. 3 Yield at single and double application rate of Debut®DuoActive (DPX-R3D76) compared with untreated control and reference product (phen-, desmedipham and ethofumesate).

Ebenso wie bei der Erntemenge konnte beim Zuckergehalt kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Aufwandmengen der eingesetzten Produkte festgestellt werden (Abb. 4).

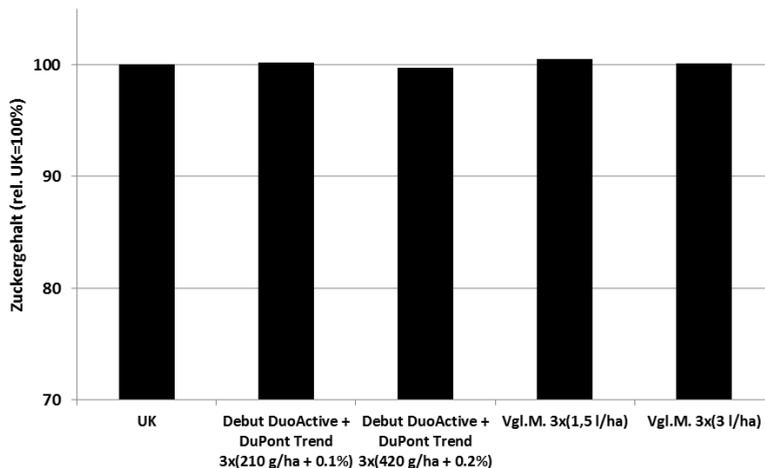


Abb. 4 Zuckergehalt (rel.) der Rüben bei Behandlung mit normaler und doppelter Aufwandmenge Debut®DuoActive (DPX-R3D76) im Vergleich zur Unbehandelten Kontrolle (= 100 %) und Vergleichspräparat (Phen-, Desmedipham und Ethofumesat).

Fig. 4 Sugar content of the beets at single and double application rate of Debut®DuoActive (DPX-R3D76) compared with untreated control and reference product (phen-, desmedipham and ethofumesate).

Diskussion

Durch die Kombination der Wirkstoffe Triflusaluron-methyl mit Lenacil in einem Produkt wird ein neues Herbizid zur Kontrolle eines breiten Spektrums an Unkräutern in der Zuckerrübe zur Verfügung stehen. Durch seine Blatt- und Bodenwirkung werden Leitunkräuter und die als „problematisch“ zu bekämpfenden Unkräuter, wie Kreuziferen, Knöteriche, Bingelkraut u.v.m. erfolgreich bekämpft. Debut®DuoActive ist ein ausgezeichnete Partner für Standardtankmischungen auf Basis von Phen/-Desmedipham, Ethofumesat und Metamitron.

Die Kulturverträglichkeit von Debut®DuoActive kann als gut bezeichnet werden. Die gelegentlich bei Herbizidbehandlungen auftretenden Symptome an Rübenblättern verwachsen sich und haben keinen negativen Einfluss auf den Ertrag der Rüben bzw. deren Zuckergehalt. Entscheidenden Einfluss auf die Verträglichkeit einer Herbizidbehandlung in der Rübe haben die Umweltbedingungen, die den Stoffwechsel der Zuckerrübe beeinflussen können und damit z.B. die Metabolisierung des ebenfalls von der Rübe aufgenommen Wirkstoffs verlangsamen können.

Mit der Kombination von Wirkstoffen mit unterschiedlichen Wirkmechanismen (HRAC-Wirkgruppen B und C1) in einem Produkt wird ein vorbeugendes Resistenzmanagement erreicht. Die Selektion resistenter Unkräuter wird verhindert bzw. verlangsamt.

Literatur

- DROBNY, H.G. und M. KRUSE, 2010: Venzar®(Lenacil 500 g/l SC) – ein bewährtes Herbizid in Zuckerrüben in Deutschland. wieder verfügbar. Julius-Kühn-Archiv **428**, 298.
- VASEL, E.-H., E. LADEWIG und B. MÄRLÄNDER, 2012: Weed composition and herbicide use strategies in sugar beet cultivation in Germany. Unkrautzusammensetzung und Herbizidstrategien im Zuckerrübenanbau in Deutschland. Journal für Kulturpflanzen **64** (4), 112–125.
- WITTENBACH, V.A., M.K. KOEPPE, F.T. LICHTNER, W.T. ZIMMERMANN und R.W. REISER, 1994: Basis of Selectivity of Triflusaluron Methyl in Sugar Beets (*Beta vulgaris*). Pesticide Biochemistry And Physiology **49**, 72-81.

®: E.I. du Pont de Nemours and Company

®: Belvedere®Extra & Goltix®Titan®1 Warenzeichen ADAMA Unternehmensgruppe

Cossack Star – ein neues Herbizid zur Bekämpfung von Ungräsern und Unkräutern in Getreide

Cossack Star – a new herbicide in cereals with efficacy against grasses and dicots

Dirk Kerlen*, Peter Naunheim

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

*Korrespondierender Autor, dirk.kerlen@bayer.com



DOI 10.5073/jka.2016.452.049

Zusammenfassung

Cossack Star (Mesosulfuron-methyl; Iodosulfuron-methyl-sodium; Thien carbazole-methyl; Mefenpyr-diethyl) ist ein neues Getreideherbizid zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*), Weidelgras-Arten (*Lolium spec.*), Flughafer (*Avena fatua*), Gemeinem Windhalm (*Apera spica-venti* L.), Einjährigem Rispengras (*Poa annua* L.) und einjährig zweikeimblättrigen Unkräutern. Das Produkt kann zur Frühjahrsapplikation in den Kulturen Winterweichweizen (*Triticum aestivum* L.), Wintertriticale (*Triticale*), Winterroggen (*Secale cereale* L.), Winterhartweizen (*Triticum durum* DESF.) und Dinkel (*Triticum spelta* L.) eingesetzt werden.

Der Beitrag befasst sich mit der Auswertung mehrjähriger Versuche hinsichtlich der Wirkung von Cossack Star im Nachauflaufeinsatz im Frühjahr.

Stichwörter: *Alopecurus myosuroides*, *Avena fatua*, Cossack, Gräser-Herbizid, *Lolium spec.*, Mesosulfuron-methyl, Thien carbazole-methyl

Abstract

Cossack Star (mesosulfuron-methyl; iodosulfuron-methyl-sodium; thien carbazole-methyl; mefenpyr-diethyl) is a new cereal herbicide to control blackgrass (*Alopecurus myosuroides*), ryegrass (*Lolium spec.*), wild oat (*Avena fatua*), loose silky-bentgrass (*Apera spica-venti* L.), annual meadow-grass (*Poa annua* L.) and dicot weeds. Cossack Star can be used in winter wheat, winter triticale, winter rye, winter durum wheat and spelt.

The publication is based on efficacy trials from two years of spring application with Cossack Star.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, *Avena fatua*, cereal herbicide, Cossack, *Lolium spec.*, mesosulfuron-methyl, thien carbazole-methyl

Einleitung

Cossack Star ist die Weiterentwicklung von Cossack (Mesosulfuron-methyl + Iodosulfuron-methyl-sodium + Mefenpyr-diethyl), das bereits seit Jahren in mehreren Ländern Europas zur Bekämpfung von Gräsern und einjährig zweikeimblättrigen Unkräutern in Getreide zugelassen ist. Cossack Star enthält zusätzlich den Wirkstoff Thien carbazole-methyl, der sowohl auf Gräser als auch auf einjährig zweikeimblättrige Unkrauter wirkt. Es zeigt gegenüber dem Vorgängerprodukt eine stärkere Wirkung gegen Ungräser und ein breiteres Spektrum gegen Unkräuter.

Cossack Star ist als wasserdispergierbares Granulat (WG) formuliert und enthält die Wirkstoffe Mesosulfuron-methyl 45 g/kg, Iodosulfuron-methyl-sodium 45 g/kg, Thien carbazole-methyl 37,5 g/kg und den Safener Mefenpyr-diethyl 135 g/kg. Die Aufnahme der Wirkstoffe findet hauptsächlich über das Blatt statt. Daher sollten zum Zeitpunkt der Applikation die meisten Ungräser bzw. Unkräuter schon aufgelaufen sein. Der Wirkungsschwerpunkt von Cossack Star liegt in der Bekämpfung der Ungräser Acker-Fuchsschwanz, Weidelgras-Arten, Flughafer, Gemeiner Windhalm und Einjähriges Rispengras sowie in der Bekämpfung von einjährig zweikeimblättrigen Unkräutern. Die Zulassung für das Produkt Cossack Star wird für den Deutschland zur Anwendung im Nachauflauf Frühjahr in Winterweichweizen, Winterroggen, Wintertriticale, Winterhartweizen und Dinkel beantragt. Die Anwendungsgebiete können der Tabelle 1 entnommen werden. Die Anwendung von Cossack Star erfolgt in Kombination mit dem Additiv Biopower (Fettalkoholethersulfat, Natriumsalz). Dadurch wird die Wirkung insbesondere gegen Ungräser

abgesichert. Anhand nachstehender Versuchsergebnisse soll der Einsatz von Cossack Star in der Frühjahrsanwendung diskutiert werden.

Tab. 1 Anwendungsgebiete von Cossack Star mit beantragter Zulassung.

Tab. 1 *Fields of use of Cossack Star with submitted registration.*

| |
|---|
| Anwendung 001 Wirkung von Cossack Star gegen: |
| <ul style="list-style-type: none">• Acker-Fuchsschwanz (ALOMY), Gemeiner Windhalm (APESV), Einjähriges Rispengras (POAAN), Weidelgras-Arten (LOLSS), Flughafer (AVEFA)• Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter (TTTDS) in Winterweichweizen, Winterroggen, Wintertriticale, Winterhartweizen und Dinkel nach einmaliger Applikation von 0,2 kg/ha im Nachauflauf Frühjahr, BBCH Kultur 13 - 32 |

Material und Methoden

Cossack Star wird seit dem Frühjahr 2013 in Feldversuchen in Europa getestet. Der Schwerpunkt der angelegten Wirkungsversuche lag in der Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz, Weidelgras-Arten, Flughafer, Gemeinem Windhalm, Einjährigem Rispengras und einjährig zweikeimblättrigen Unkräuter.

Die Versuche wurden auf Praxisflächen angelegt. Die Durchführung der Versuche erfolgte nach EPPO-Vorgaben, im Speziellen kam die Richtlinie PP 1/93 (3) „Efficacy evaluation of herbicides“ zur Anwendung (EPPO-Guideline PP1/93 (3), 2007).

Alle Versuche wurden in Form von randomisierten Blockanlagen mit einer Parzellengröße von mindestens 12,5 m² mit drei bzw. vier Wiederholungen durchgeführt. Die Applikationen erfolgten entsprechend der geprüften Indikationen im Nachauflauf zur Frühjahrsapplikation mit einem Kulturstadium BBCH 13 bis BBCH 32 des Wintergetreides. Bonitiert wurde nach EPPO-Vorgaben sowohl die Wirkung auf Unkräuter und Ungräser als auch die Selektivität in der Kultur. Zur Blüte der Ungräser (BBCH 61-69) wurde eine abschließende Bonitur hinsichtlich der Ungraswirkung durchgeführt.

Ergebnisse

Wirkung von 0,2 kg/ha Cossack Star gegen Ungräser und Unkräuter

In den Jahren 2013 und 2014 wurde zur Frühjahrsapplikation in 17 Versuchen im Winterweichweizen die Leistung von Cossack Star gegen Acker-Fuchsschwanz bei der Anwendung von 0,2 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower bewertet. Das Vergleichsmittel ATLANTIS WG (VGM1) wurde mit 0,3 kg/ha + 0,6 l/ha Biopower bzw. in 2 Fällen auch mit 0,5 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower zum gleichen Termin angewandt. Wie der Abbildung 1 zu entnehmen ist, wurde die Anwendung im Kulturstadium BBCH 25 bis BBCH 31 bei einem durchschnittlichen Befall von 262 Ähren/m² durchgeführt. Cossack Star erreichte ein Wirkungsgrad von durchschnittlich 98 % bei einer sehr stetigen Wirkung. Die Schwankungsbreite lag zwischen 83,3 % und 100 % Wirkung gegen Acker-Fuchsschwanz. Das Vergleichsmittel konnte hier einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 99,4 % mit einer Schwankungsbreite zwischen 80 % und 100 % Wirkung gegen Acker-Fuchsschwanz erreichen.

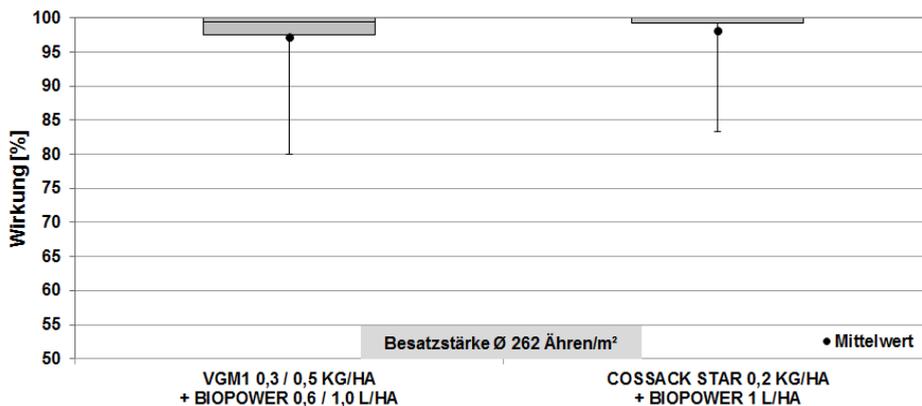


Abb. 1 Acker-Fuchsschwanzleistung von Cossack Star auf sensitiven Standorten im Nachauflaufeinsatz Frühjahr in Winterweizen (n = 17; TRZAW BBCH 25 bis BBCH 31; Deutschland [13] und Belgien [4]; Saison 2013 bis 2014).

Fig. 1 Efficacy of Cossack Star against sensitive blackgrass in post-emergence application in spring application in winter wheat (n=17; TRZAW BBCH 25 to BBCH 31; Germany [13] and Belgium [4]; season 2013 to 2014).

In den Windhalm-Wirkungsversuchen der Jahre 2013 und 2014 konnten sowohl Cossack Star, das mit 0,2 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower eingesetzt wurde, als auch das Vergleichsmittel mit einer Aufwandmenge von 0,3 kg/ha + 0,6 l/ha Biopower bzw. 0,5 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower (2 Versuche) mit einer durchschnittlichen Wirkung von 98 % (Cossack Star) bzw. 97 % (Atlantis WG) überzeugen. In nur einem Versuch lagen die Wirkungen beider Produkte bei dem Minimum von 78 % (Cossack Star) und 69 % (Atlantis WG). In den 12 durchgeführten Versuchen wurde eine durchschnittliche Besatzstärke von 294 Rispen/m² bonitiert und der Einsatzzeitraum beider Produkte war im Kulturstadium BBCH 23 bis BBCH 31 des Winterweichweizens.

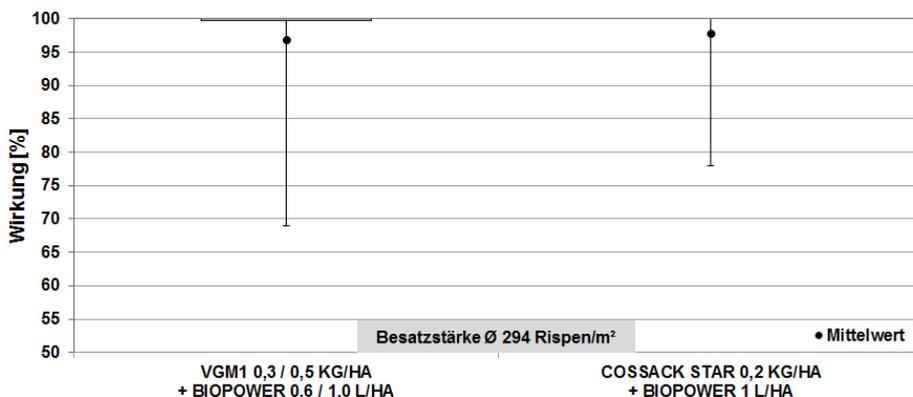


Abb. 2 Leistung von Cossack Star gegen Gemeinen Windhalm im Nachauflaufeinsatz Frühjahr in Winterweizen (n = 12; TRZAW BBCH 23 bis BBCH 31; Deutschland [6], Österreich [4] und Belgien [2]; Saison 2013 bis 2014).

Fig. 2 Efficacy of Cossack Star against silky-bentgrass in post-emergence application in spring application in winter wheat (n=12; TRZAW BBCH 23 to BBCH 31; Germany [6], Austria [4] and Belgium [2]; season 2013 to 2014).

Cossack Star wurde mit einer Aufwandmenge 0,2 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower in 9 Versuchen gegen das Einjährige Rispengras getestet (Abb. 3). Die Anwendung fand ebenfalls im Entwicklungsstadium des Winterweichweizens von BBCH 25 bis BBCH 31 statt. Bei einer

Befallsstärke von durchschnittlich 105 Rispen/m² wurde Cossack Star mit durchschnittlich 97 % Wirkung gegen das Einjährige Rispengras bonitiert. Das Vergleichsmittel erreichte eine durchschnittliche Wirkung von 84 %. Das Minimum der Wirkung von Cossack Star mit 91 % gegen das Einjährige Rispengras lag im Vergleich zum Standard wesentlich höher.

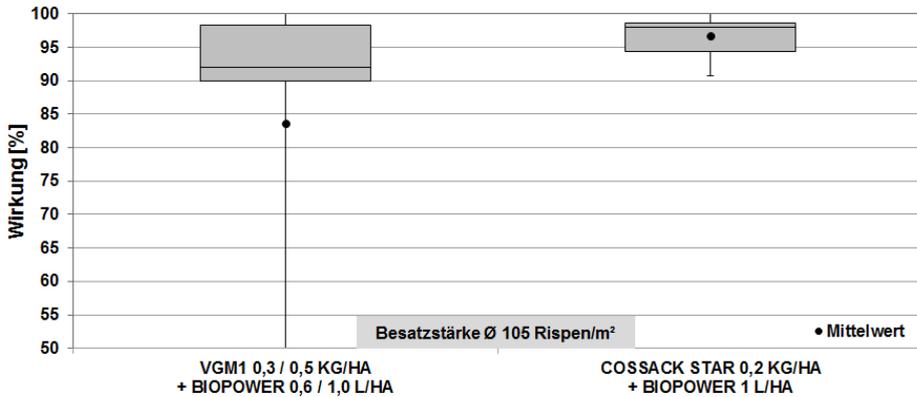


Abb. 3 Leistung von Cossack Star gegen Einjähriges Rispengras im Nachauflaufeinsatz Frühjahr im Winterweizen (n = 9; TRZAW BBCH 25 bis BBCH 31; Deutschland [6] und Österreich [3]; Saison 2013 bis 2014).

Fig. 3 Efficacy of Cossack Star against silky-bentgrass in post-emergence application in spring application (n=9; TRZAW BBCH 25 to BBCH 31; Germany [6] and Austria [3]; season 2013 to 2014).

Auch bei der Anwendung von Cossack Star (0,2 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower) gegen Weidelgras-Arten wurde in den 4 deutschen Versuchen der Jahre 2014 die Wirkung gegen Deutsches Weidelgras bewertet (Abb. 4). Die Applikation erfolgte im Kulturstadium BBCH 29 bis BBCH 32; die Besatzstärke lag bei durchschnittlich 550 Ähren/m². Cossack Star erreichte eine durchschnittliche Wirksamkeit von 93 % gegen das Deutsche Weidelgras. Der Standard (VGM1) lag auf dem gleichen Niveau. Die Schwankungsbreite von Cossack Star (93 % bis 100 %) war ähnlich wie die des Standards (89 % bis 100 %).

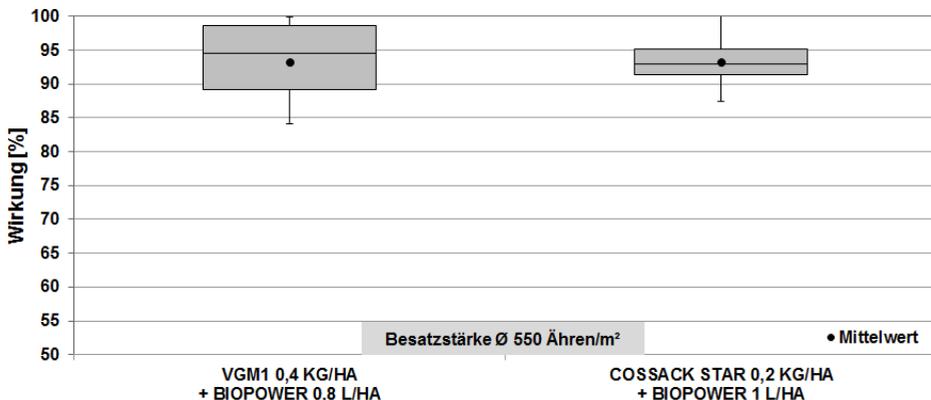


Abb. 4 Leistung von Cossack Star gegen Deutsches Weidelgras im Nachauflaufeinsatz Frühjahr im Winterweizen (n = 4; TRZAW BBCH 29 bis BBCH 32; Deutschland; Saison 2014).

Fig. 4 Efficacy of Cossack Star against perennial ryegrass in post-emergence application in spring in winter wheat (n=4; TRZAW BBCH 29 to BBCH 32; Germany; season 2014).

In oben dargestellten 41 Versuchen aus den Jahren 2013 und 2014 mit Schwerpunkt der Bewertung hinsichtlich der Wirkung von Cossack Star (0,2 kg/ha + 1,0 l/ha Biopower) gegen Ungräser wurden auch die einjährig zweikeimblättrigen Unkräuter bewertet. In Abbildung 5 wurden alle Unkräuter mit 2 oder mehr Nennungen aufgetragen. Auch hier wurde Cossack Star mit dem Standard ATLANTIS WG (VGM1) verglichen. In der rechten y-Koordinate wurde der durchschnittliche Unkrautdeckungsgrad (rautierte Säulen) in % aufgetragen. Die Bewertung der Unkräuter fand in einem Zeitraum von 29 bis 54 Tagen nach Applikation statt. Cossack Star konnte bei folgenden Unkräutern gute bis sehr gute Wirksamkeit (größer, gleich 90 %) erreichen: Ausfallraps (*Brassica napus* L. ssp. *napus*; BRSNW; n = 3), Gemeines Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris* (L.) *MEDICUS*; CAPBP; n = 5), Kletten-Labkraut (*Galium aparine* L.; GALAP; n = 18), Schlitzblättriger Storchschnabel (*Geranium dissectum* L.; GERDI; n = 3), Purpurrote Taubnessel (*Lamium purpureum* L.; LAMPU; n = 5), Echte Kamille (*Matricaria chamomilla* L.; MATCH; n = 7), Duftlose Kamille (*Matricaria inodora* L.; MATIN; n=2), Acker-Vergissmeinnicht (*Myosotis arvensis* (L.) *HILL*; MYOAR; n = 2), Klatsch-Mohn (*Papaver rhoeas*; PAPRH; n = 7), Winden-Knöterich (*Polygonum convolvulus* L.; POLCO; n = 2), Vogel-Sternmiere (*Stellaria media* (L.) *VILL*; STEME; n = 10), Feld-Ehrenpreis (*Veronica arvensis* L.; VERAR; n = 2), Efeublättriger Ehrenpreis (*Veronica hederifolia* (L.); VERHE; n = 7), Persischer Ehrenpreis (*Veronica persica* *POIRET*; VERPE; n = 7) und Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*; VIOAR; n = 13).

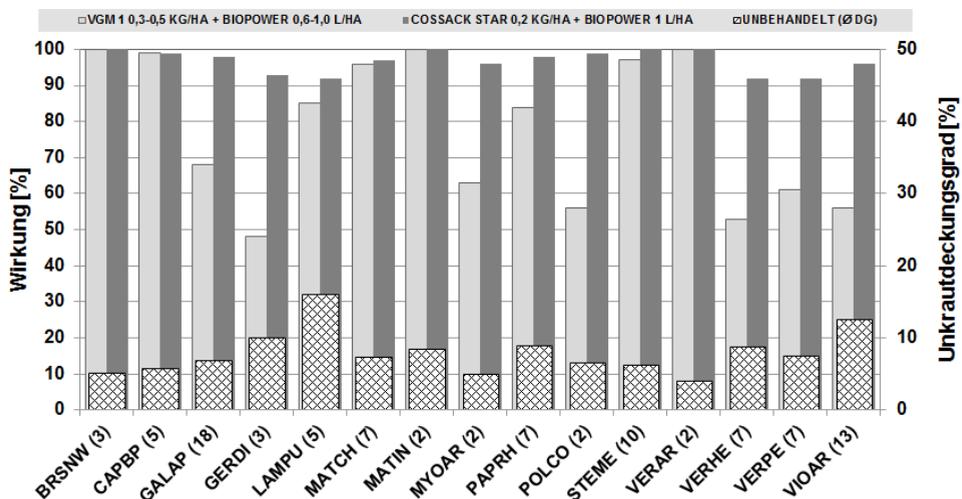


Abb. 5 Leistung von Cossack Star gegen Dikotyle im Nachauflaufensatz Frühjahr im Winterweizen. Bonitur 29 bis 54 Tage nach Applikation (n = 41; TRZAW BBCH 23 bis BBCH 32; Deutschland [29], Österreich [5], Belgien [7]; Saison 2013 bis 2014).

Fig. 5 Efficacy of Cossack Star against dicots in post-emergence application in spring in winter wheat. Assessment 29 to 54 days after application (n=41; TRZAW BBCH 23 to BBCH 32; Germany [29], Austria [5], Belgium [7]; season 2013 to 2014).

Diskussion

Cossack Star konnte in den dargestellten Versuchen seine Vorzüglichkeit bei der Bekämpfung von Ungräsern wie Acker-Fuchsschwanz, Gemeinem Windhalm, Einjährigem Rispengras und Weidelgras-Arten unter Beweis stellen. Bei den einjährig zweikeimblättrigen Unkräutern stellte Cossack Star seine Stärke mit einem breitem Spektrum unter Beweis.

Cossack Star sollte immer gemeinsam mit dem Additiv Biopower ausgebracht werden, um gute Wirksamkeiten zu erreichen. In der Anwendung von 0,2 kg/ha Cossack Star in Kombination mit 1,0 l/ha Biopower konnten Wirksamkeiten gegen sensitiven Acker-Fuchsschwanz mit 98 %

Wirkung erreicht werden und somit das Wirkungsniveau des Standard übertroffen werden. In Vergesellschaftung mit Gemeinem Windhalm (APESV), Einjährigem Rispengras (POAAN) oder Deutschem Weidelgras (LOLPE) werden diese mit durchschnittlich 98 % (APESV), 97 % (POAAN) und 93 % Wirkung bei LOLPE erfasst.

Im Vergleich zum Standard ATLANTIS WG (VGM1) zeigte Cossack Star bei der Aufwandmenge 0,2 kg/ha bessere Wirksamkeiten gegenüber den geprüften Ungräsern und bei fast allen einjährig zweikeimblättrigen Unkräutern. Dabei ist festzustellen, dass auch schwer bekämpfbare Unkräuter wie Ehrenpreis-Arten, Acker-Stiefmütterchen und Storchschnabel-Arten sehr gut bekämpft werden.

Als Fazit der dargestellten Versuche zeigt sich das Potential von Cossack Star, das einen neuen Standard zur Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern, im besonderen Acker-Fuchsschwanz in der Nachauflauf-Anwendung im Frühjahr in Wintergetreide setzen kann.

Literatur

- EPPO-GUIDELINE PP 1/93 (3), 2007: Efficacy evaluation of herbicides, European and Mediterranean Plant Protection Organization.
HEAP, I., 2013: International Survey of Herbicide Resistant Weeds, Accessed Thursday, October 24, 2013.

Sektion 6: Herbizidresistenz – Management

Section 6: Herbicide resistance management

Verbreitung und effektive Kontrolle von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) im Hinblick auf die Resistenzentwicklung – Auswertung der Ringversuche der Bundesländer Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen von 2000 bis 2014

*Spread and control of blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) according to an increasing occurrence of resistance - Evaluation of field trials in the federal states Brandenburg, Hessen, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia in the years 2000 - 2014*

Ewa Meinschmidt^{1*}, Christine Tümmler², Katrin Ewert³, Heiko Schmalstieg⁴, Elke Bergmann⁵

¹Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen

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

³Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Apoldaer Straße 4, 07774 Dornburg-Camburg

⁴Pflanzenschutzamt Berlin, Mohriner Allee 137, 12347 Berlin

⁵Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg

*Korrespondierende Autorin, ewa.meinschmidt@smul.sachsen.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.050

Zusammenfassung

Der Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) nimmt regional sowohl in der Verbreitung als auch in der Befallsstärke in den Bundesländern Brandenburg, Hessen, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen zu. In den letzten Jahren mehren sich die Resistenznachweise bei Acker-Fuchsschwanz gegenüber ALS-Hemmern und ACCase-Hemmern in einigen ostdeutschen Bundesländern und Hessen.

Es wurde ermittelt, mit welchen dikotylen Unkräutern der Acker-Fuchsschwanz am häufigsten vergesellschaftet vorkommt. Im gemeinsamen Versuchsprogramm von 2000 bis 2014 erfolgte die Prüfung der Leistungsfähigkeit verschiedener Herbizidbehandlungen. Insgesamt konnten 191 Versuche in die Auswertung einbezogen werden. Anhand der HRAC-Einstufung wurden Herbizid-Kombinationen gebildet, die entsprechend einer nachgewiesenen Resistenzsituation des Standortes zur Problemlösung beitragen können. Es wurden unterschiedliche Behandlungstermine sowie Einmal- und Mehrfachbehandlungen von Herbiziden und Tankmischungen getestet. Es erfolgte die Ermittlung des Einflusses der Besatzdichte von Acker-Fuchsschwanz auf die Wirksamkeit.

Die im Herbst einmal applizierten bodenwirksamen Herbizide erzielten keine ausreichenden Wirkungsgrade gegenüber Acker-Fuchsschwanz (besonders bei stärkerem Besatz > 500 Scheinähren/m²). Eine sichere Bekämpfung ist durch die Kombination eines Bodenherbizides mit einem blattaktiven Partner möglich. Im Vergleich der Behandlungsverfahren waren Spritzfolgen wirkungssicherer als Einmalbehandlungen. Um einer weiteren Ausbreitung der Resistenzen entgegenzuwirken sind Wirkstoffgruppenwechsel und die Erzielung hoher Wirkungsgrade der Herbizidvarianten neben den ackerbaulichen Maßnahmen wie Aussaattermin, Einsatz des Pfluges und Fruchtfolge von hoher Priorität.

Stichwörter: Anti-Resistenzstrategie, Herbizidresistenz, Herbizidwirksamkeit, HRAC-Gruppe, Stetigkeit der Unkräuter

Abstract

An increasing occurrence of blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) with high densities has been reported for Brandenburg, Hessen, Saxony-Anhalt, Saxony and Thuringia. In recent years, an increasing resistance to blackgrass especially to ALS inhibitors and partially to ACCase inhibitors has been reported for some eastern federal states and Hessen, too.

It was determined to what extent dicotyledonous weeds are associated with blackgrass. The efficacy of different herbicide applications was tested in field trials between 2000 and 2014. A total of 191 trials have been included in the analysis of blackgrass. Using the HRAC-classification of herbicides tested, combinations of herbicides were used which might contribute to solve problems specifically linked to the detected resistance situation of the site. The study aimed to identify the right timing of the herbicide applications as well as applications as single or serial treatments and the use of herbicide at reduced doses according to the intensity of blackgrass.

In autumn, single applications of soil active herbicides were not effective enough, especially at a high density of more than 500 heads of blackgrass per m². The mixtures of soil active herbicides with leave active herbicides applied in autumn achieved very good control. The herbicide sequences were more effective than single applications. In order to counteract further spread of herbicide resistance, the right choice of the mode of action and highly efficacious herbicide treatments are the methods of choice, of course in addition to non-chemical controlling measures such as delayed autumn drilling, ploughing and crop rotation.

Keywords: Anti-resistance management, frequency of weeds, herbicide efficacy, herbicide resistance, HRAC group

Einleitung

Getreidebetonte Fruchtfolgen, pfluglose Bodenbearbeitung, Vorverlegung des Saattermins und einseitiger Herbizideinsatz sind Gründe für das verstärkte Auftreten von Ungräsern. KAMPE (1976) und KRÜCKEN (1976) berichten, dass für Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Wintergerste und Winterweizen besonders gute Entwicklungsbedingungen gegeben sind. Der „lichthungrige“ Acker-Fuchsschwanz keimt vorwiegend im Herbst (HOLM et al., 1997) und bevorzugt nährstoffreiche Böden (COLBACH et al., 2002; ANDERSSON und AKERBLOM ESBEY, 2009). Nach MOSS (1987), KÖTTER (1991) und MACHEFER et al. (1998) lassen sich die auf den Besatz mit Acker-Fuchsschwanz basierenden Ertragsverluste deutlich besser mit einer Herbstbehandlung ausgleichen als durch Maßnahmen im Frühjahr.

Acker-Fuchsschwanz gehört in den vier östlichen Bundesländern nur regional zu den Problemungräsern; er nimmt aber sowohl in der Verbreitung als auch in der Befallsstärke zu. In einigen Gebieten, insbesondere auf tonhaltigen humosen Böden, z.B. im Oderbruch (Land Brandenburg), sind Dichten von mehreren hundert Ähren je m² (einzelne Standorte bis zu 1500 Ähren/m²) zu verzeichnen. Auf solchen Standorten ist im Herbst die Befahrbarkeit häufig nicht gegeben, sodass die Maßnahmen zur Bekämpfung des Acker-Fuchsschwanzes erst im Frühjahr mit blattaktiven Herbiziden aus resistenzgefährdeten Wirkstoffgruppen erfolgen. Im Jahr 2015 wurden in Westsachsen Standorte mit über 1000 Pflanzen/m² registriert.

In mehreren Regionen Europas wurden in den letzten 30 Jahren verstärkt resistente Populationen von Acker-Fuchsschwanz nachgewiesen. In England sind vorwiegend Resistenzen gegenüber ACCase-Hemmern, gefolgt von Resistenz gegen ALS-Hemmer auffällig (MOSS et al., 2007). Eine Zunahme der Verdachtsflächen sowie der bestätigten ACCase- und ALS-Resistenzen ist auch in Frankreich (DÉLYE et al., 2007 und 2011) und Deutschland (PETERSEN, 2014; RAFFEL et al., 2014) zu beobachten. Der erste Nachweis einer multiplen Resistenz bei Acker-Fuchsschwanz gegenüber ACCase-Hemmern und PSII-Hemmern erfolgte in Deutschland im Jahr 1983. 2001 gelang der Resistenznachweis gegenüber ALS-Hemmern (HEAP, 2015). 2010 wurde eine multiple Resistenz gegenüber den Wirkstoffen Pinoxaden, Fenoxaprop, Mesosulfuron-Methyl, Chlortoluron und Isoproturon sowie erstmalig gegenüber Flufenacet registriert (HEAP, 2015).

Seit 2009 wird in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen aus der landwirtschaftlichen Praxis immer öfter über eine reduzierte Wirkung von Herbiziden gegenüber dem Acker-Fuchsschwanz berichtet. Die Pflanzenschutzdienste der Länder ließen im Rahmen der Ursachenermittlung erste Untersuchungen auf den Resistenzstatus durchführen. Im bundesdeutschen Vergleich ist die Anzahl der nachgewiesenen Herbizidresistenzen in diesen vier Ländern z.T. noch relativ gering (PETERSEN, 2014). Eine der Ursachen für die später auftretenden Resistenzen ist die noch bis Mitte der neunziger Jahre praktizierte vielgliedrige Fruchtfolge. In Verbindung mit einer Zunahme des Anteils an Winterungen und einer allgemein früheren Aussaat

findet der Acker-Fuchsschwanz optimale Entwicklungsbedingungen. Nach Einschätzung der Pflanzenschutzdienste werden im Mittel der Jahre ca. 60 – 70 % der Getreideflächen im Herbst gegen Ungräser und dikotyle Unkräuter behandelt.

Material und Methoden

Resistenzuntersuchungen

In den vier ostdeutschen Bundesländern wurden von den Pflanzenschutzdiensten seit 2010 Verdachtsproben von Acker-Fuchsschwanz-Standorten mit Minderwirkungen gegenüber Herbiziden auf ihren Resistenzstatus untersucht. Die Biotests und molekulargenetischen Analysen erfolgten in zertifizierten Laboren der Firmen PlantaLyf und EpiLogic.

Stetigkeit der mit Acker-Fuchsschwanz vergesellschafteten Unkrautarten

Um aus der Vielzahl der Herbizide die geeigneten Wirkstoffe gegen das Spektrum der häufigsten Unkrautarten auswählen zu können, sind Aussagen über deren Stetigkeit notwendig. Es wurden die unbehandelten Kontrollen der Streulageversuche der Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen von 2000 bis 2015 zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz herangezogen. Dabei wurden bei der Auswertung nur Versuche berücksichtigt, bei welchen Acker-Fuchsschwanz in Vergesellschaftung mit anderen Unkrautarten bonitiert wurde. Insgesamt konnten 191 Versuche in die Auswertung einbezogen werden. Es 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 % erreichten.

Versuchsdurchführung

Im Rahmen eines gemeinsamen Versuchsprogramms der Bundesländer Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen wurden in den Jahren von 2000 bis 2014 Herbizidvarianten in Wintergetreide auf die Wirksamkeit gegenüber Acker-Fuchsschwanz und den wichtigsten dikotylen Leitunkräutern geprüft. Durch eine gezielte Auswertung der Versuchsergebnisse sollten die Herbizide bzw. herbiziden Tankmischungen mit den höchsten Wirkungsgraden gegenüber Acker-Fuchsschwanz, entsprechend ihrer Eingruppierung nach HRAC, ermittelt werden. Nur in Ausnahmefällen wurden die Versuche auf Standorten mit resistenten Biotypen durchgeführt. Die Bodenarten der Versuchsstandorte differierten von IS, SL, sL, L bis LT. Der Einsatz der Herbizide erfolgte im Nachauflauf als Herbst- und/oder Frühjahrsbehandlung sowie als Einmalanwendung oder Spritzfolge. Mit den entsprechenden Behandlungen sollten sowohl Acker-Fuchsschwanz 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 4 bzw. 3 Wiederholungen und einer Parzellengröße von ca. 20 m² angelegt. Ihre Durchführung erfolgte gemäß EPPO Richtlinie PP1/93 (3). In den Abschlussbonituren kurz vor der Ernte wurden die Acker-Fuchsschwanzähren/m² gezählt und mit den Werten der unbehandelten Kontrolle verglichen. Der Besatz schwankte zwischen 1 bis 3080 Ähren/m². Der durchschnittliche Besatz betrug 413 Ähren/m².

Zur Ermittlung des Einflusses der Acker-Fuchsschwanz-Besatzdichte auf die herbizide Wirksamkeit, wurden die Wirkungsgrade der Varianten drei Klassen zugeordnet, dabei wurde eine Einteilung der Besatzdichten von 1 bis 100, von 101 bis 500 und über 500 Ähren/m² vorgenommen. Es erfolgte eine Zusammenfassung der Versuchsvarianten zu Behandlungskonzepten entsprechend der HRAC-Einstufung sowie des Anwendungszeitpunktes. Weiterhin wurden herbizidgleiche Varianten mit verschiedenen Aufwandmengen ebenso zusammengefasst wie Soloapplikation des gräserwirksamen Herbizides und Tankmischungen mit verschiedenen Partnern zur Bekämpfung dikotyler Begleitunkräuter.

Die Darstellung der Wirkungsgrade erfolgte mit Hilfe von Boxplots. Der waagerechte Strich innerhalb der Boxen markiert den Median. Die größten Ausreißer (Minimum) wurden als Kreuze (Min. Outlier) gekennzeichnet. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die ausgewählten Herbizide und herbiziden Tankmischungen (Abb. 4 bis 8).

Tab. 1 Auswahl der geprüften Herbizidvarianten gegen Acker-Fuchsschwanz.

Tab. 1 Rates of herbicide used for the control of blackgrass.

| Herbizid bzw. Tankmischung | AWM (l bzw. kg/ha) | Wirkstoffe (g/ha) | HRAC- Gruppe |
|---|-----------------------|--|-----------------|
| Bodenwirkstoffe (HRAC: C, F, K, N), NA Herbst | | | |
| Cadou SC | 0,5 | 250 Flufenacet | K3 |
| Picona | 2,0 | 640 Pendimethalin; 32 Picolinafen | K1; F1 |
| Herold SC | 0,5 - 0,6 | 100 - 120 Diflufenican; 200 - 240 Flufenacet | F1; K3 |
| Boxer | 2,0 - 3,0 | 1600 - 2400 Prosulfocarb | N |
| Herold SC | 0,5 | 100 Diflufenican; 200 Flufenacet | F1; K3 |
| Lentipur 700 | 1,0 | 700 Chlortoluron | C2 |
| Bacara Forte | 0,8 | 96 Diflufenican; 96 Flufenacet; 96 Flurtamone | F1; F1; K3 |
| Cadou SC | 0,4 | 200 Flufenacet | K3 |
| Malibu | 4,0 | 1200 Pendimethalin; 240 Flufenacet | K1; K3 |
| Herold SC | 0,3 | 60 Diflufenican; 120 Flufenacet | F1; K3 |
| Malibu | 4,0 | 1200 Pendimethalin; 240 Flufenacet | K1; K3 |
| ALS-Hemmer + Bodenherbizide (HRAC: F, K, N), NA Herbst | | | |
| Ciral | 0,025 | 4 Metsulfuron; 7,7 Flupyrulfuron | B |
| Boxer | 2,0-3,0 | 1600 - 2400 Prosulfocarb | N |
| Lexus | 0,02 | 9,3 Flupyrulfuron | B |
| Herold SC | 0,4 | 80 Diflufenican; 160 Flufenacet | F1; K3 |
| Lexus | 0,015 - 0,02 | 6,9 - 9,3 Flupyrulfuron | B |
| Malibu | 3,0 | 900 Pendimethalin; 180 Flufenacet | K1; K3 |
| Lexus | 0,02 | 9,3 Flupyrulfuron | B |
| Stomp SC* / Stomp Aqua | 2,5 / 2,2 | 1000 Pendimethalin | K1 |
| Lexus | 0,02 | 9,3 Flupyrulfuron | B |
| Picona | 2,5 - 3,0 | 800 - 960 Pendimethalin; 40 - 48 Picolinafen | K1; F1 |
| Atlantis OD / Atlantis WG + FHS | 0,9/ 0,3 | 1,8 Iodosulfuron; 9 Mesosulfuron | B |
| Herold SC | 0,4 | 80 Diflufenican; 160 Flufenacet | F1; K3 |
| Atlantis OD | 0,9 | 1,8 Iodosulfuron; 9 Mesosulfuron | B |
| Stomp Aqua | 2,2 | 1000 Pendimethalin | K1 |
| Corello** | 3,5 | 1099 Pendimethalin; 18,9 Pyroxsulam | K1; B |
| Dash (FHS) | 1,2 | | |
| ACCCase-Hemmer + Bodenherbizide (HRAC: C, F, K), NA Herbst | | | |
| Traxos | 1,2 | 26,4 Clodinafop; 30 Pinoxaden | A |
| Malibu | 3,0 | 900 Pendimethalin; 180 Flufenacet | K1; K3 |
| Topik 100 | 0,3 | 30 Clodinafop | A |
| Herold SC | 0,4 | 80 Diflufenican; 160 Flufenacet | F1; K3 |
| Topik 100 | 0,3 | 30 Clodinafop | A |
| Stomp SC* | 2,5 | 1000 Pendimethalin | K1 |
| Ralon Super | 0,8 - 1,0 | 51 - 64 Fenoxaprop | A |
| Lentipur 700 | 2,5 - 3,0 | 1750 - 2100 Chlortoluron | C2 |
| Ralon Super | 0,8 | 51 Fenoxaprop | A |
| Stomp Aqua; | 2,0 | 910 Pendimethalin | K1 |
| Axial 50 | 0,9 | 45 Pinoxaden | A |
| Lentipur 700 | 2,5 | 1750 Chlortoluron | C2 |
| Axial 50 | 0,9 | 45 Pinoxaden | A |
| Fenikan | 1,5 | 750 Isoproturon; 94,5 Diflufenican | C2; F1 |

| Herbizid bzw. Tankmischung | AWM (l bzw. kg/ha) | Wirkstoffe (g/ha) | HRAC- Gruppe |
|---|-------------------------------|--|-------------------------|
| Axial 50 | 0,9 | 45 Pinoxaden | A |
| Herold SC | 0,4 – 0,6 | 80 - 120 Diflufenican; 160 - 240 Flufenacet | F1; K3 |
| Axial 50 | 0,9 | 45 Pinoxaden | A |
| Bacara Forte | 0,8 – 1,0 | 96 - 120 Diflufenican; 96 - 120 Flufenacet, 96 - 120 Flurtamone | F1; F1 K3 |
| Axial 50 | 0,9 | 45 Pinoxaden | A |
| Stomp Aqua | 2,0 | 910 Pendimethalin | K1 |
| ACCCase-Hemmer im Frühjahr | | | |
| Topik 100 (+ Partner Dikotyle) | 0,4 – 0,6 | 40 – 60 Clodinafop | A |
| Topik 100 | 0,4 | 40 Clodinafop | A |
| Ciral | 0,0125 – 0,025 | 2 Metsulfuron; 3,8 Flupyr sulfuron | B |
| Traxos (+ Partner Dikotyle) | 1,2 | 26,4 Clodinafop; 30 Pinoxaden | A |
| Axial 50 | 1,2 | 60 Pinoxaden | A |
| Ralon Super (+ Partner Dikotyle) | 1,2 | 76,3 Fenoxaprop | A |
| ALS-Hemmer im Frühjahr | | | |
| Broadway | 0,22 | 15 Pyroxulam; 5 Florasulam | B |
| Broadway-Netzmittel | 1,0 | | |
| Attribut (+ Partner Dikotyle) | 0,1 | 66,3 Propoxycarbazone | B |
| Atlantis WG + FHS (+ Partner Dikotyle) | 0,3+0,6 | 1,8 Iodosulfuron; 8,7 Mesosulfuron | B |
| Atlantis OD (+ Husar OD) | 0,9 – 1,0 (0,08) | 1,8 - 2 Iodosulfuron; 9 - 10 Mesosulfuron 7,4 Iodosulfuron | B B |
| Atlantis OD | 0,9 | 1,8 Iodosulfuron; 9 Mesosulfuron | B |
| Ciral | 0,0125 | 2 Metsulfuron; 3,8 Flupyr sulfuron | B |
| Sequenzapplikationen Herbst/ Frühjahr | | | |
| Herold SC; | 0,4 | 100 Diflufenican; 200 Flufenacet | F1; K3 |
| Ralon Super | 0,8 – 1,0 | 51 – 64 Fenoxaprop | A |
| Herold SC; | 0,4 – 0,6 | 80 - 120 Diflufenican; 160 - 240 Flufenacet | F1; K3 |
| Axial 50 | 1,2 | 60 Pinoxaden | A |
| Herold SC; | 0,6 | 120 Diflufenican; 240 Flufenacet | F1; K3 |
| Atlantis OD | 0,9 | 1,8 Iodosulfuron; 9 Mesosulfuron | B |

AWM: Aufwandmenge; * Ende der Zulassung: 30.06.2009; ** Produkt noch nicht zugelassen

Ergebnisse

Bisher ermittelte Resistenzen in den vier Bundesländern

Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der Resistenzuntersuchungen von 2010 bis 2014. In Brandenburg wurden im Mittel der Jahre 2011 – 2014 bei ca. 1/3 der von Verdachtsflächen beprobten Acker-Fuchsschwanzbiotypen Resistenzen festgestellt. Es dominierte die Resistenz gegen ALS-Hemmer. Bezüglich dieser Wirkmechanismusgruppe war primär der Wirkstoff Flupyr sulfuron betroffen. Als Resistenzmechanismus lagen sowohl Wirkortresistenzen (target-site-resistance, TSR) an der Position Pro197 als auch metabolische Resistenzen (non-target-site resistance, NTSR) vor. Die TSR gegenüber ACCCase-Inhibitoren beruhten auf Mutationen an den Positionen Trp/Cys2027 und Ile/Asn2041, die zu Minderwirkungen der Wirkstoffe Pinoxaden und Clodinafop führten. Es wurden sowohl Kreuzresistenzen als auch multiple Resistenzen ermittelt. Für zwei Biotypen lagen im Ergebnis der Untersuchungen multiple Resistenzen vor, die auf TSR gegen ALS-Hemmer und ACCCase-Hemmer zurückzuführen waren.

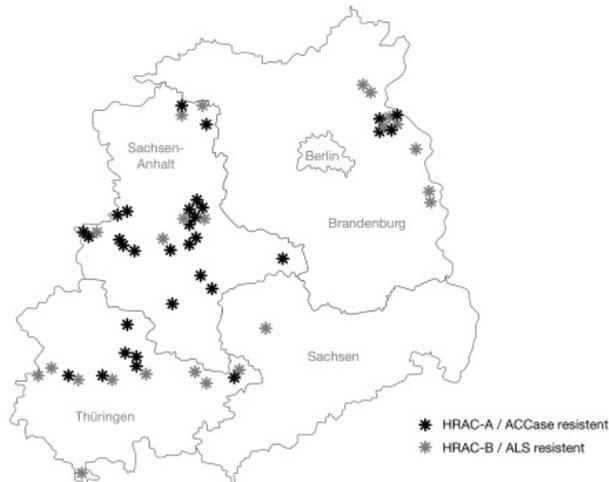


Abb. 1 Standorte mit nachgewiesenen ALS- und ACCase-Resistenzen bei Acker-Fuchsschwanz in den vier Bundesländern (Stand 2010-2014), ohne Isoproturon und Chlortoluron.

Fig. 1 Locations with confirmed cases of herbicide resistance of blackgrass in four federal states in Germany (2010-2014), without isoproturon and chlortoluron.

In Sachsen-Anhalt hat die Resistenz gegen ACCase-Hemmer mit einem Anteil von ca. 60 %, gefolgt von der Resistenz gegen ALS-Hemmer mit ca. 40 %, eine größere Bedeutung. Es konnten neben NTSR an einigen untersuchten Biotypen auch TSR gegen ACCase-Hemmer verschiedener Mutationstypen (Ile/Leu1781, Trp/Cys2027, Asp/Gyl2078) nachgewiesen werden, die in unterschiedlicher Frequenz auftraten. Zudem erfolgte bei vereinzelt Biotypen der Nachweis einer TSR gegen ALS-Hemmer. Es wurden sowohl multiple Resistenzen gegen ACCase-Hemmer als auch eine Kombination aus TSR ACCase- und NTSR ALS-Resistenz nachgewiesen.

In Thüringen sind etwa gleich viele ALS- und ACCase-Resistenzen bekannt. Es konnten einzelne Biotypen mit multiplen Resistenzen gegenüber Wirkstoffen der HRAC-Klassen A und B ermittelt werden.

Sachsen bildet eine Ausnahme, da bisher nur ein Einzelfall von ALS-Resistenz im Landkreis Leipzig gegenüber Flupyr-sulfuron nachgewiesen wurde.

Stetigkeit der mit Acker-Fuchsschwanz vergesellschafteten Unkrautarten

Die Abbildung 2 gibt einen Überblick über die mit Acker-Fuchsschwanz vergesellschafteten Unkrautarten im Zeitraum von 2000 bis 2015. Die Verbreitung der Arten in den vier Bundesländern unterscheidet sich abhängig vom Standort z.T. erheblich.

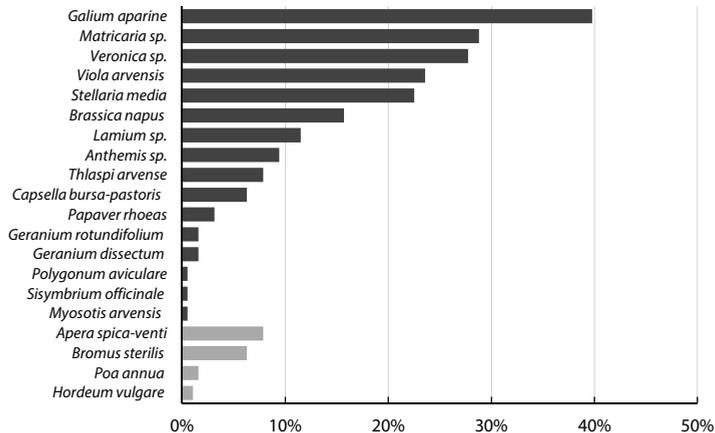


Abb. 2 Stetigkeit (%) der Unkrautarten, die mit Acker-Fuchsschwanz vergesellschaftet auf den 191 Standorten auftraten. Schwarz: zweikeimblättrige, grau: einkeimblättrige Unkräuter, Feldversuche 2000-2015.

Fig. 2 Frequency (%) of weeds associated with blackgrass on 191 trial sites, black: dicot weeds, gray: monocot weeds, field trials 2000-2015.

Galium aparine wurde auf 40 % der Acker-Fuchsschwanz-Versuchsstandorte in den vier Bundesländern nachgewiesen. Die brandenburgischen Versuche konzentrieren sich auf die Region Oderbruch, die geprägt ist von fruchtbaren tonhaltigen bindigen Böden mit Neigung zur Staunässe. *G. aparine* wurde dort mit fast 80 %, in Sachsen und Sachsen-Anhalt mit nur rund 20 % registriert. Auf jedem dritten Standort in den vier Bundesländern traten Kamille- und Ehrenpreisarten auf. *Stellaria media* und *Viola arvensis* wurden auf rund 25 % der Standorte gefunden. In Sachsen kommen diese Arten auf 40 % der Standorte vor. *Brassica napus* ist in den vier Bundesländern mit einer Stetigkeit von 16 % zu verzeichnen. In Sachsen kommt diese Art schon auf jeder dritten Fläche vor. Rund auf jedem zehnten Versuchsstandort der vier Bundesländer wurden *Anthemis* spp., *Lamium* spp., *Thlaspi arvense* und *Capsella bursa-pastoris* registriert. In Thüringen zeigt gegenwärtig *Anthriscus caucalis* eine Stetigkeit von 30 %. Von den einkeimblättrigen Unkrautarten wurden *Apera spica-venti* mit 8 %, gefolgt von *Bromus sterilis* mit 6 % und *Poa annua* mit 2 % auf den Versuchsstandorten nachgewiesen. *A. spica-venti* und *B. sterilis* sind in den vier Bundesländern unterschiedlich stark mit Acker-Fuchsschwanz vergesellschaftet. Im Land Brandenburg zeigten diese Arten die höchsten Stetigkeiten von über 20 % bzw. 30 %. Das vermehrte Auftreten von Ungräsern, insbesondere der Trepse, ist kausal auf die praktizierte pfluglose Bodenbearbeitung zurückzuführen.

Einfluss der Besatzdichte von Acker-Fuchsschwanz auf die herbizide Wirksamkeit

Abbildung 3 stellt einen Vergleich der Wirkungsgrade der verschiedenen Behandlungskonzepte in Abhängigkeit von der Besatzdichte des Acker-Fuchsschwanzes dar. Es wird deutlich, dass der Einsatz von Bodenherbiziden im Herbst, besonders bei einem mittleren (100 – 500 Ähren/m²) bis hohen Besatz (> 500 Ähren/m²) mit Acker-Fuchsschwanz, meist nicht ausreicht. Sehr hohe Wirkungsgrade (Median: 98 – 99 %) konnten mit der Herbstapplikation von Kombinationen aus einem bodenwirksamen Herbizid und Wirkstoffen der HRAC-Gruppen B bzw. A sowie mit

herbiziden Wirkstoffen der HRAC Gruppe A im Frühjahr erzielt werden. Nach Applikation von ALS-Hemmern (HRAC: B) im Frühjahr ohne Herbstvorlage konnten ebenfalls hohe Wirkungsgrade erzielt werden, die Streuung der Ergebnisse ist jedoch wesentlich breiter. Bei einem mittleren Besatz mit Acker-Fuchsschwanz wurden durch Spritzfolgen mit einer Vorlage eines bodenwirksamen Herbizides im Herbst und einer Frühjahrsapplikation blattaktiver Wirkstoffe der HRAC Gruppe A oder B für 75 % der Versuchsergebnisse Wirkungsgrade ≥ 97 % erreicht.

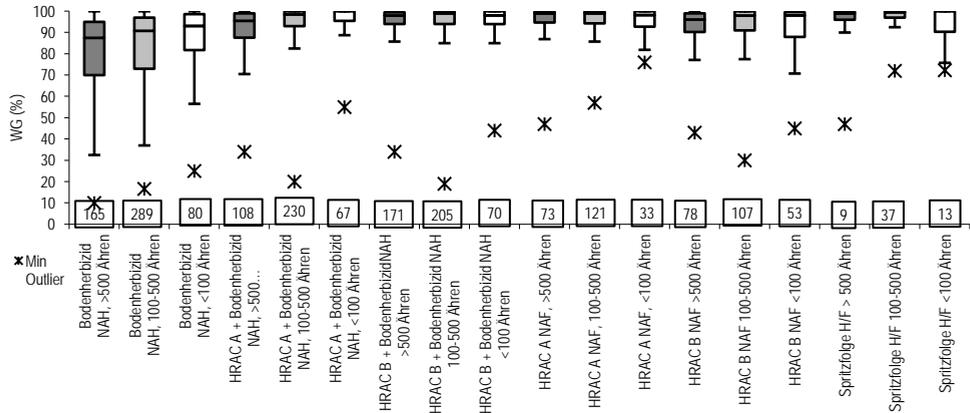


Abb. 3 Wirkung verschiedener Behandlungskonzepte (%) in Abhängigkeit von der Ähren-Besatzdichte von Acker-Fuchsschwanz (Anzahl/m²). Farbe dunkelgrau: > 500, hellgrau: 100 – 500, weiß < 100 Ähren/m², Aufwandmengen in l bzw. kg/ha, Zahl im Kasten = Anzahl der Ergebnisse.

Fig. 3 Efficacy of herbicide treatments (%) for control depending on blackgrass head density (number/m²), darkgray: > 500, gray: 100 – 500, white < 100 heads, application rates in l or kg/ha, figures in square = no. of values.

Im Vergleich ausgewählter Varianten der Herbstapplikation von bodenwirksamen Herbiziden (Abb. 4) wurden mit den Tankmischungen Bacara Forte + Cadou SC sowie Boxer + Herold SC die höchsten Wirkungsgrade erzielt. Der Median der Wirkungsgrade der Variante Boxer + Herold SC beträgt 95 %. Die Kombination von 0,3 l/ha Herold SC mit 4,0 l/ha Malibu erreichte annähernd die gleichen Wirkungsgrade mit ähnlicher Streuung.

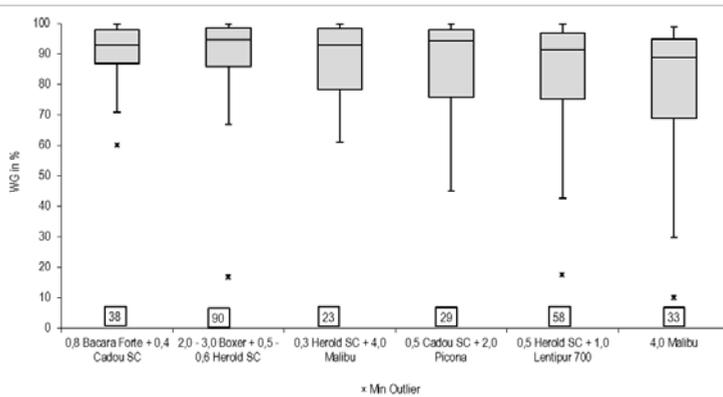


Abb. 4 Wirkung von Herbizidvarianten (%) der HRAC Gruppen C, F, K und N mit ausschließlicher Bodenwirkung bei Herbstapplikation gegen Acker-Fuchsschwanz, Aufwandmengen der Herbizide in l. bzw. kg/ha, Zahl im Kasten = Anzahl der Ergebnisse.

Fig. 4 Efficacy of herbicides (%) of HRAC groups C, F, K and N for autumn application against blackgrass, herbicide use rates in l or kg/ha, figures in square = no. of values.

Die Herbstapplikationen von Kombinationen bodenwirksamer Herbizide der HRAC Gruppen F, K oder N mit graminiziden Wirkstoffen der HRAC Gruppe B (Abb. 5) führten in den dargestellten Varianten zu einer sehr guten Wirkung gegenüber Acker-Fuchsschwanz. Der Median der Wirkungsgrade der vorliegenden Varianten liegt bei mindestens 97 %. Die geringen Streuungen bestätigen die sichere Wirkung dieser Herbizidkombinationen.

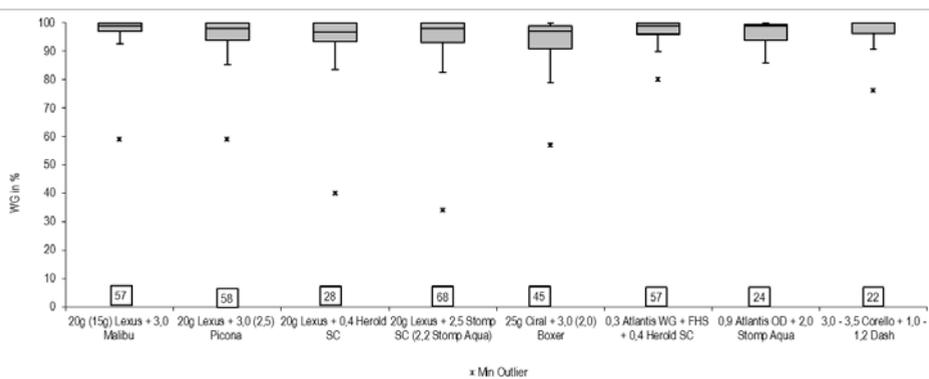


Abb. 5 Wirkung von Herbizidvarianten (%) der HRAC Gruppe B in Tankmischung mit Wirkstoffen der HRAC Gruppen F, K und N bei Herbstapplikation gegen Acker-Fuchsschwanz, Aufwandmengen der Herbizide in l. bzw. kg/ha, Zahl im Kasten = Anzahl der Ergebnisse.

Fig. 5 Efficacy (%) of herbicides of HRAC group B in combination with herbicides of HRAC groups F, K and N for autumn application against blackgrass, herbicide use rates in l or kg/ha, figures in square = no. of values.

Abbildung 6 zeigt die Wirkungsgrade ausgewählter Kombinationen von Herbiziden der HRAC Gruppen C, F und K mit Wirkstoffen der HRAC Gruppe A. Mit der Applikation der Tankmischung 1,2 l/ha Traxos + 3,0 l/ha Malibu konnten in 26 der 30 Versuche Wirkungsgrade > 99 % erzielt werden. Die Wirkung der Tankmischungen mit Fenoxaprop (Ralon Super) unterliegt im Vergleich zu den übrigen eingesetzten Tankmischungen einer größeren Streuung.

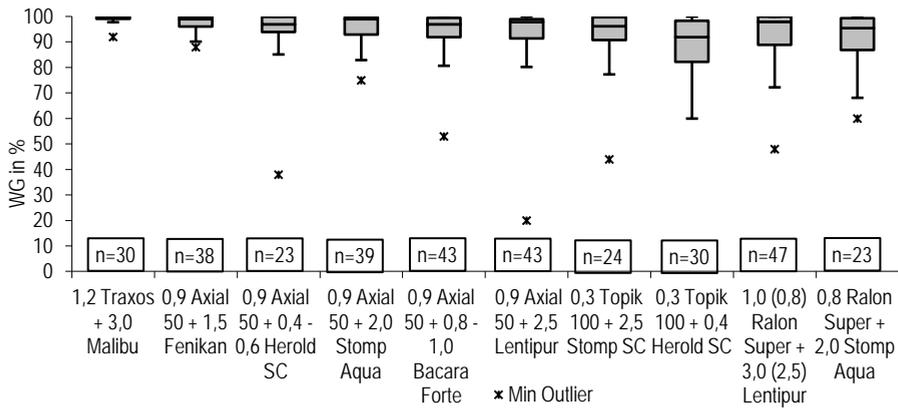


Abb. 6 Wirkung von Herbizidvarianten (%) der HRAC Gruppe A in Tankmischung mit Wirkstoffen der HRAC Gruppen C, F und K bei Herbstapplikation gegen Acker-Fuchsschwanz, Aufwandmengen der Herbizide in l bzw. kg/ha, Zahl im Kasten = Anzahl der Ergebnisse.

Fig. 6 Efficacy of herbicides (%) of HRAC group A in combination with herbicides of HRAC groups C, F and K for autumn application against blackgrass, herbicide use rates in l or kg/ha, figures in square = no. of values.

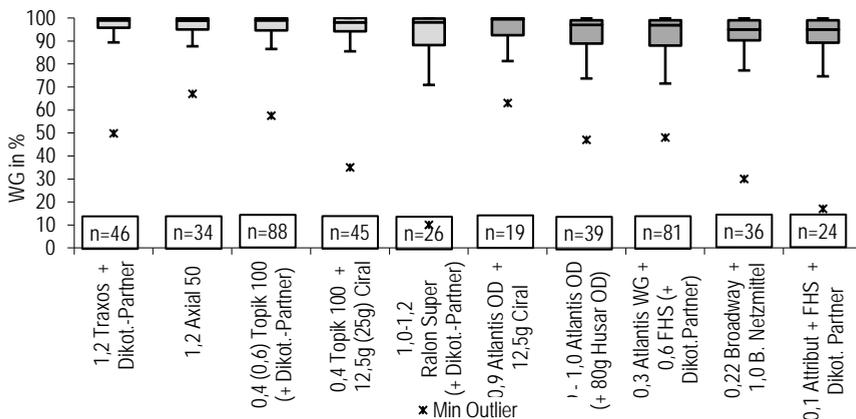


Abb. 7 Wirkung von Herbizidvarianten (%) der HRAC-Gruppe A (Boxplots hellgrau) und B (Boxplots dunkelgrau) bei der Applikation im Frühjahr gegen Acker-Fuchsschwanz, Aufwandmengen der Herbizide in l bzw. kg/ha, Zahl im Kasten = Anzahl der Ergebnisse.

Fig. 7 Efficacy of herbicides (%) of HRAC group A (boxplots lightgray) and B (boxplots darkgray) at spring application against blackgrass, herbicide rates in l or kg/ha, figures in square = no. of values.

Die Abbildung 7 stellt einen Vergleich der Wirkungsgrade verschiedener Herbizide mit HRAC-Einstufung A bzw. B nach Applikation im Frühjahr dar. Der Median aller Varianten liegt zwischen 95 % und 99 %. Inwieweit die als Kreuze dargestellten Ausreißer auf Resistenzen zurückzuführen sind, ist nicht mehr nachvollziehbar. Besonders für die Wirkung der ALS-Hemmer wird deutlich, dass im Vergleich zu einer Herbstanwendung in Kombination mit einem bodenwirksamen Produkt die Frühjahrspannungen zu einer größeren Streubreite der Ergebnisse führen.

Abbildung 8 verdeutlicht die sehr guten Wirkungsgrade von Sequenzapplikationen. Die drei Spritzfolgen mit einer Vorlage von Herold SC im Herbst und einer Anwendung von Ralon Super, Axial 50 bzw. Atlantis OD im Frühjahr zeichnen sich durch hohe Wirkungsgrade mit Medianen von 98 % - 100 % aus. Die breite Streuung der Wirkungsgrade von Ralon Super, die sowohl für die

Herbst- als auch für die Frühjahrsapplikation (Abb. 5 und 6) beobachtet wurde, wird in der Anwendung als Spritzfolge nicht bestätigt.

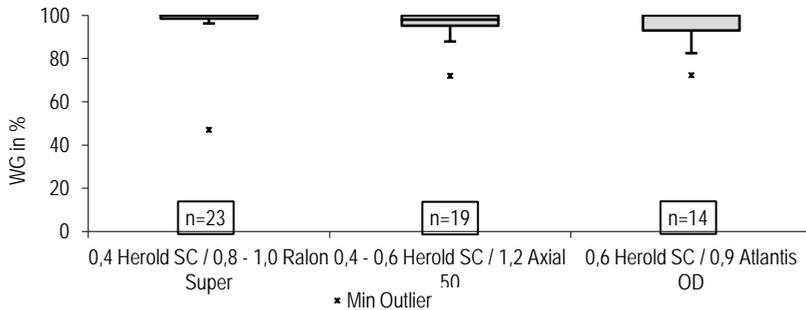


Abb. 8 Wirkung von Sequenzapplikationen (%) eines Bodenherbizides im Herbst und eines blattaktiven Herbizides im Frühjahr gegen Acker-Fuchsschwanz, Aufwandmengen der Herbizide in l bzw. kg/ha, Zahl im Kasten = Anzahl der Ergebnisse.

Fig. 8 Efficacy of herbicide sequences (%) using soil active herbicide (%) in autumn and leave active herbicide in spring against blackgrass, herbicide rates in l or kg/ha, figures in square = number of values.

Einfluss des Behandlungstermines auf die Bekämpfungsleistung und Ertrag

In mehrjährigen Streulageversuchen in Sachsen im Herbst oder im Frühjahr wurde 0,3 kg/ha Atlantis WG + 0,6 l/ha FHS eingesetzt (Abb. 9). Im Vergleich der Herbst- und Frühjahrsbehandlungen beträgt die Differenz zwischen den durchschnittlichen Mehrerträgen zu Unbehandelt 6,7 dt/ha. Die Bekämpfungserfolge unterscheiden sich durch den Herbst- oder Frühjahrseinsatz praktisch nur um wenige Prozente.

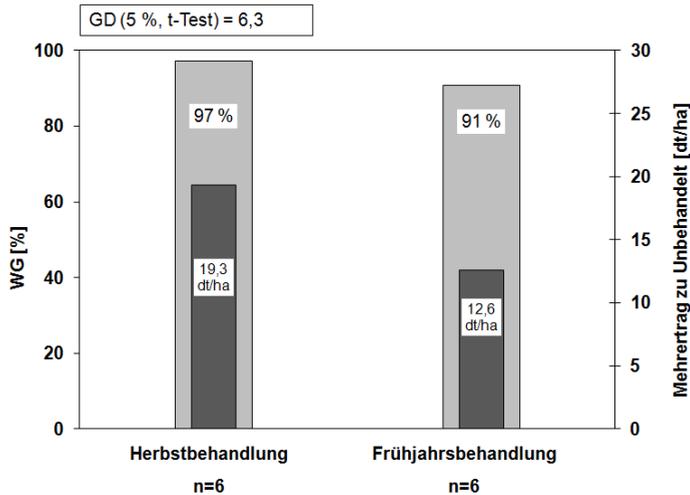


Abb. 9 Einfluss von Herbst- oder Frühjahrsbehandlungen von 0,3 l/ha Atlantis WG + 0,6 l/ha FHS auf die Bekämpfungsleistung und den Ertrag, Winterweizen, Versuchsjahre 2002 -2004, 2006-2007, n = Anzahl der Ergebnisse, Quelle: MEINLSCHMIDT und BÄR (2009).

Fig. 9 Impact of single autumn and spring applications of 0.3 l/ha Atlantis WG + 0.6 l/ha on herbicide efficacy and on crop yield, winter wheat, field trials 2002 -2004, 2006-2007, n = number of values, source: MEINLSCHMIDT and BÄR (2009).

Diskussion

Die Ergebnisse konnten den von GEHRING und THYSSEN (2014) beschriebenen Zusammenhang der Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in Abhängigkeit von dessen Besatzdichte nur zum Teil bestätigen. Insbesondere nach der Anwendung von bodenwirksamen Herbiziden im Herbst nahm die Bekämpfungsleistung mit steigender Besatzdichte immer mehr ab. In den übrigen Behandlungskonzepten wirkte sich die Acker-Fuchsschwanz-Dichte nur unwesentlich auf die Bekämpfungseffektivität aus.

Nach Ausführungen von MEYER (1986) entstehen auf stärker verunkrauteten Flächen bereits bis zum Frühjahr durch Ungraskonkurrenz hohe Ertragseinbußen bei Weizen. Die sächsischen Versuche mit Ertragsermittlung (MEINLSCHMIDT und BÄR, 2009) konnten die Ergebnisse von MEYER (1986) bestätigen. Die relativen Ertragsleistungen bei der Herbst- bzw. Frühjahrsbehandlung lagen bei 149 bzw. 130 %. Selbst durch sichere Bekämpfungsmaßnahmen im Frühjahr können die Ertragseinbußen nicht mehr verhindert werden. Auf Flächen mit starkem Acker-Fuchsschwanzbesatz sollte deshalb eine Bekämpfung bereits im Herbst erfolgen. Im Jahr 2003 konnten zwischen Herbst- und Frühjahrsbehandlungen Unterschiede bei Mehrerträgen (188 bzw. 142 %) und bei den Wirkungsgraden (90 bzw. 48 %) ermittelt werden. Extreme Trockenheit im Frühjahr und eine niedrige relative Luftfeuchte zwischen 30 und 55 % über einen längeren Zeitraum führten zu einer verringerten Wirkstoffaufnahme. Die milden klimatischen Bedingungen im Winter begünstigen das Wachstum von Acker-Fuchsschwanz-Pflanzen, was zu Wirkungsminderungen der Frühjahrsbehandlungen führen kann.

Die Bewertung verschiedener Behandlungskonzepte im Versuchsprogramm zeigt eine Minderwirkung der über den Boden wirkenden Herbizidkombinationen im Vergleich zu Tankmischungen mit blattaktiven Wirkstoffen. Mit Einmalbehandlungen im Herbst konnten nur befriedigende oder nicht mehr ausreichende Wirkungsgrade erzielt werden (Abb. 4). Bei ca. 75 % dieser bodenaktiven Herbizidvarianten wäre in der Praxis eine Nachbehandlung erforderlich, um wirtschaftliche Verluste zu minimieren. Im Vergleich der Behandlungsverfahren erzielten Tank-

mischungen, die über boden- und blattwirksame Wirkstoffe verfügten, auch bei starkem Besatz mit Acker-Fuchsschwanz die besten Bekämpfungsleistungen. Die Ergebnisse bestätigen die Aussagen von MOSS (2007), GEHRING et al. (2012) sowie GEHRING und THYSSEN (2014). Die im Herbst applizierten Tankmischungen von Herbiziden der Gruppe F, K1 und K3 mit den Herbiziden der Gruppe A bzw. B sind in ihrer Bekämpfungsleistung vergleichbar. Die Untersuchungen bestätigen die Feststellung, dass die Wirkungssicherheit durch den Einsatz in Spritzfolgen aus einer Herbstbehandlung und einer Frühjahrsbehandlung im Vergleich zur einmaligen Applikation erhöht wird (Abb. 8).

Der Einsatz der weniger resistenzgefährdeten Wirkstoffe mit den HRAC-Einstufungen K1, K3 und F1 kann der Selektion von resistenten Biotypen weitgehend entgegenwirken. Nach den Einschätzungen der zuständigen Pflanzenschutzdienste der in der Abbildung 1 dargestellten Länder ist gegenwärtig davon auszugehen, dass herbizidresistente Biotypen bzw. Populationen von Acker-Fuchsschwanz auf deutlich unter 1 % der Wintergetreideanbaufläche vorkommen. Zwischen Windhalm und Acker-Fuchsschwanz bestehen bei den bisher nachgewiesenen resistenten Biotypen große Unterschiede bezüglich der Häufigkeit der einzelnen Wirkmechanismen. Während bei Windhalm bisher vorwiegend der Wirkmechanismus der ALS-Hemmer (HRAC-Gruppe B) oder der Photosynthese II (HRAC-Gruppe C) betroffen ist (SCHRÖDER et al., 2012), steht bei Acker-Fuchsschwanz stärker der Wirkmechanismus der ACCase (HRAC-Gruppe A) im Vordergrund. Diese Tendenz kann für Sachsen-Anhalt bestätigt werden. In Thüringen und Brandenburg wurden überwiegend Resistenzen gegenüber Wirkstoffen der HRAC-Einstufung B nachgewiesen. In Sachsen ist zzt. nur ein resistenter Biotyp bekannt. Aufgrund der allgemein geringeren Nachweise von resistenten Biotypen von Acker-Fuchsschwanz in den vier östlichen Bundesländern (MEINLSCHMIDT und TÜMMLER, 2015) im Vergleich zu den westlichen Bundesländern (PETERSEN, 2014) besteht noch die Möglichkeit, durch effektive Antiresistenzstrategien die weitere Selektion dieser Biotypen zumindest hinauszuzögern.

Im Rahmen des Resistenzmanagements sollten die Tankmischungen von boden- und blattaktiven Wirkstoffen mit unterschiedlichem Wirkungsmechanismus im Herbst oder die Spritzfolgen eines bodenaktiven Herbizides im Herbst, gefolgt von einem blattaktiven Herbizid im Frühjahr, zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz favorisiert werden. Auf Standorten, auf welchen bereits resistente Biotypen auftreten, sind diese Maßnahmen nicht zielführend. Eine Resistenzentwicklung bei Acker-Fuchsschwanz kann allein durch ein sachgerechtes Herbizidmanagement nicht verhindert werden (BALGHEIM, 2006 und 2009; JKI, 2008; MEINLSCHMIDT und SCHRÖDER, 2011). Ackerbauliche Maßnahmen, wie vielgliedrige Fruchtfolgen, spätere Saattermine und die Bodenbearbeitung mit Pflugeinsatz (KNAB und HURLE, 1988) müssen in das Anti-Resistenzmanagement integriert werden. Ziel dieser Maßnahmen ist eine Reduzierung der Ungrasdichte und somit auch der Selektionswahrscheinlichkeit von Resistenz durch nachfolgende Herbizideinsätze (PETERSEN, 2015). Nach LUTMAN et al. (2013) reduzierte der Einsatz des Pfluges die Population von Acker-Fuchsschwanz im Durchschnitt um ca. 70 % im Vergleich zur pfluglosen Bodenbearbeitung. Spätere Saattermine im Oktober reduzierten den Acker-Fuchsschwanz-Besatz um ca. 50 %. Beim Anbau konkurrenzstarker Sorten wurde eine Reduktion ährentragender Halme um 22 % erreicht. Da in absehbarer Zeit nicht damit zu rechnen ist, dass neue Wirkstoffgruppen zur Gräserbekämpfung zur Verfügung stehen werden, muss auf Standorten mit einem erhöhten Besatz an resistenten Biotypen, auf denen trotz ackerbaulicher Maßnahmen keine Reduzierung auf ein wirtschaftliches Niveau erreicht werden kann, über einen Verzicht des Anbaus von Winterkulturen über einen längeren Zeitraum nachgedacht werden.

Literatur

- ANDERSSON, L. und L. AKERBLOM ESPEBY, 2009: Variation in seed dormancy and light sensitivity in *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti*. *Weed Research* **49**, 261-270.
- BALGHEIM, R.: 2006: Ackerfuchsschwanz: Herbizidresistenz verhindern und Wirkstoffe erhalten. *Getreidemagazin* **4**, 228-233.
- BALGHEIM, R., 2009: Ungräser - immer mehr Resistenzen. DLG Mitteilungen. Sonderdruck aus DLG Mitteilungen **9**.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- COLBACH, N., B. CHAUVEL, C. DÜRR und G. RICHARD, 2002: Effect of environmental conditions on *Alopecurus myosuroides* germination. I Effect of temperature and light. *Weed Research* **42**, 210-221.
- DÉLYE, C., Y. MENCHARI, J.P. GUILLEMIN, A. MATĚJČEK, S. MICHEL, C. CAMILLERI und 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. A.C. GARDIN, K. BOUCANSAUD, B. CHAUVEL und C. PETIT, 2011: Non-target-site-based resistance should be the centre of attention for herbicide resistance research: *Alopecurus myosuroides* as an illustration. *Weed Research* **51**, 433-437.
- GEHRING, K. und S. THYSSEN, 2014: Herbizideinsatz gegen schwer bekämpfbaren, herbizidresistenten Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Winterweizen (*Triticum aestivum* L.). *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 311-319.
- GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT und C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2012: Prinzipien einer Anti-Resistenzstrategie bei der Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* aus Sicht des Pflanzenschutzdienstes. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 89-101.
- HEAP, I.M., 2015: International Survey of Herbicide Resistant Weeds. www.weedscience.org. Last Accessed Oktober 25, 2015.
- HOLM, L., J. DOLL, E. HOLM, J. PANCHO und J. HERERGER, 1997: *Alopecurus myosuroides*. In: *World weeds: natural Histories and Distribution*. Chapter 5, pages 29-36. Publisher: John Wiley.
- JKI – JULIUS KÜHN INSTITUT, 2008: JKI-Informationsblatt: Acker-Fuchsschwanz. Herbizidresistenzen vermeiden. Wirkstoffe erhalten. JKI.
- KAMPE, W., 1976: Zur Auflaufdynamik von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) und Windhalm (*Apera spica-venti*) in der Pfalz 1970-1974. *Gesunde Pflanzen* **27**, 133-138.
- KNAB, W. und K. HURLE, 1988: Einfluß der Grundbodenbearbeitung auf Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XI*, 97-108.
- KÖTTER, U., 1991: Zur Biologie von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) und dessen Konkurrenzbeziehungen zu Winterweizen. *Gesunde Pflanzen* **43**, 179-184.
- KRÜCKEN, A., 1976: Ackerfuchsschwanz – noch das gefürchtetste Ackergras? *Gesunde Pflanzen* **12**, 259-264.
- LUTMAN, P.J.W., S. R. MOSS, S. COOK und S.J. WELHAM, 2013: A review of the effects of crop agronomy on the management of *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* **53**, 299-313.
- MACHEFER, G., W. BENZ, M. WEGENER und R. TRAPP, 1998: Zusammenfassung zwischen Ackerfuchsschwanzbekämpfung und Ertragsleistung in Wintergetreide. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVI*, 345-349.
- MEYER, J., 1986: Ackerfuchsschwanzbekämpfung in Wintergetreide in der schleswig-holsteinischen Marsch. *Gesunde Pflanzen* **10**, 464.
- MEINLSCHMIDT, E. und H. BÄR, 2009: Ackerfuchsschwanzbekämpfung. Ergebnisse des Versuchsprogramms der Länder Brandenburg, Hessen, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen. *Getreidemagazin* **1**, 26-29.
- MEINLSCHMIDT, E. und G. SCHRÖDER, 2011: Damit es nicht soweit kommt – Herbizidresistenzen. *DlZ Agrarmagazin Pflanzenbau* **2**, 2-5.
- MEINLSCHMIDT, E. und C. TÜMMLER, 2015: Das Prinzip der Vorbeugung. *DLG Mitteilungen* **9**, 50-53.
- MITTNACHT, A. und A. KEMMER, 2000: Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) und Klettenlabkraut (*Galium aparine* L.) in Wintergetreide. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVII*, 439-446.
- MOSS, S.R., 1987: Competition between black-grass (*Alopecurus myosuroides*) and winter wheat. *Proceedings of the British Crop Protection Conference* **2**, 367-374.
- MOSS, S. R., S.A.M. PERRYMAN und L. V. TATNELL, 2007: Managing herbicide-resistant blackgrass (*Alopecurus myosuroides*): theory and practice. *Weed Technology* **21**, 300-309.
- PETERSEN, J., 2014: Einfluss von Sequenzbehandlungen auf die Herbizidresistenzentwicklung bei *Alopecurus myosuroides*. *Julius-Kühn-Archiv* **447**, 102.
- PETERSEN, J., 2015: Einfluss von Sequenzbehandlungen auf die Herbizidresistenzentwicklung bei Ackerfuchsschwanz. *Getreidemagazin* **4**, 17-21.
- RAFFEL, H., I. MEINERS und C. KRATO, 2014: Aktuelle Situation zur Herbizidresistenz bei Ungräsern und Konsequenzen für die Praxis. *Julius-Kühn-Archiv* **447**, 133.
- SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, R. BALGHEIM, E. BERGMANN und K. GÖSSNER, 2012: Effektive Kontrolle von Windhalm (*Apera spica-venti*) in Wintergetreide durch Nutzung von Herbizidbehandlungen mit hohen Wirkungsgraden – Ergebnisse der Ringversuche der Bundesländer Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen von 2001-2011. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 301-312.

Entwicklung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) unter verschiedenen Herbizidbehandlungssystemen und Bodenbearbeitungsverfahren

Development of black-grass (Alopecurus myosuroides) in regard to different herbicide systems and soil management treatments

Klaus Gehring^{*}, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz,
Lange Point 10, 85354 Freising-Weißenstephan

^{*}Korrespondierender Autor, klaus.gehring@lfl.bayern.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.051

Zusammenfassung

Am Standort Pettenbrunn, nördlich von Freising, wurde im Jahr 2011 ein Dauerversuch in einer Winterweizen-Monokultur zur Überprüfung der Populations- und Resistenzdynamik bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) begonnen. Als Prüfvarianten wurden vier unterschiedliche Herbizidregime und zwei verschiedene Bodenbearbeitungsverfahren durchgeführt. Die beiden Bodenbearbeitungsverfahren unterschieden sich durch eine wendende bzw. nicht-wendende Grundbodenbearbeitung. Als Erhebungen wurde die Besatzdichte an Acker-Fuchsschwanzpflanzen und Acker-Fuchsschwanzähren in den Behandlungsflächen und in unbehandelten Kontrollflächen festgestellt. Außerdem wurde anhand von Samenproben aus unbehandelten Kontrollflächen ein Biotest zur Überprüfung der Herbizidresistenz durchgeführt. Die Ergebnisse der Besatzdichteerhebungen und der Resistenzuntersuchungen werden für den Versuchszeitraum 2011 bis 2015 dargestellt und auf der Basis einer Rangfolgeanalyse statistisch bewertet. Hinsichtlich der Entwicklung der Besatzdichte von Acker-Fuchsschwanz hatte die Art der Bodenbearbeitung einen signifikanten Einfluss. Die untersuchten Herbizidregime hatten lediglich auf den Besatz mit ährentragenden Halmen in der behandelten Fläche einen signifikanten Einfluss. In der Faktorkombination verursachte das Bodenbearbeitungsverfahren signifikante Unterschiede in der Besatzdichte. Innerhalb der nicht wendenden Bodenbearbeitung traten zusätzlich Differenzierungen zwischen den Herbizidregimen auf. Die Resistenzuntersuchungen zeigten einen signifikanten Einfluss des Bodenbearbeitungsverfahrens, während zwischen den Herbizidregimen keine Differenzierung auftrat. In der Faktorkombination aus Bodenbearbeitung und Herbizidregime traten spezifische Differenzierungen auf. Für die im Resistenztest geprüften Herbizide traten signifikante Differenzierungen zwischen den einzelnen Wirkstoffen und Wirkmechanismusgruppen auf. Die Ergebnisse zeigen eine Entwicklung der Populationsdynamik und Herbizidresistenz im Zusammenhang mit den Prüffaktoren, die offensichtlich noch nicht abgeschlossen ist und noch weiter untersucht werden muss.

Stichwörter: Besatzdichte, Dauerversuch, Herbizidresistenz

Abstract

In 2011, a long-term field trial started in a winter wheat monoculture at Pettenbrunn, north of Freising, to examine the population and resistance dynamic of black-grass (*Alopecurus myosuroides*). Four different herbicide regimes and two different tillage methods were used as test factors. The two tillage methods were differentiated by a ploughing vs. non-ploughing primary soil tillage treatment. For the purpose of surveying of black-grass, the density of black-grass plants and seed heads in the treatment areas and in untreated control plots was assessed. In addition, a biotest to examine the herbicide resistance status was carried out using seed samples from untreated control areas. The results of the plant density survey and the resistance examinations are presented for the experiment period 2011 to 2015 and evaluated statistically on the basis of a ranking analysis. With regard to the development of the plant density of black-grass, the type of tillage had a significant influence. The herbicide regimes tested had a significant influence only on the number of seed heads in the treated area. In the factor combination, the method of tillage caused significant differences in plant density. In addition, there were also differences between the herbicide regimes within the non-ploughed plots. The resistance examinations showed a significant influence of the tillage method, while no differentiation emerged between the herbicide regimes. Specific differentiation occurred in the factor combination of tillage and herbicide regime. For the herbicides tested for resistance, significant differentiation occurred between the individual active ingredients and mode of action groups. The results show a development of the population dynamic and herbicide resistance in connection with the test factors, which are obviously not concluded and which must be further examined.

Keywords: Herbicide resistance, long-term trial, plant density

Einleitung

Acker-Fuchsschwanz zählt zu den wichtigsten Leitunggräsern im Ackerbau in Bayern. Die Befallsflächen und Besatzdichten haben sich zunehmend weiterentwickelt. Als weitere Problematik erschwert die Entwicklung von herbizidresistenten Populationen die Möglichkeiten der chemischen Regulierung.

Fruchtfolgen werden im Ackerbau primär nach wirtschaftlichen Aspekten bzw. dem Marktleistungspotenzial der einzelnen Kulturen gestaltet. Für die Anbaupraxis sind daher das Bodenbearbeitungsverfahren und die Ausgestaltung der Herbizidbehandlung die wesentlichen Faktoren für eine nachhaltige Regulierung von Acker-Fuchsschwanz.

Um den Einfluss von alternativen Bodenbearbeitungsverfahren und Herbizidbehandlungskonzepten auf die Entwicklung von Acker-Fuchsschwanz unter bayerischen Standortbedingungen zu untersuchen, wurde 2011 ein Dauerversuch am Standort Pettenbrunn im Landkreis Freising gestartet. Nach vier Vegetationsperioden in einer Winterweizen-Monokultur besteht die Möglichkeit zur Analyse des Einflusses der Prüffaktoren auf die Entwicklung von Acker-Fuchsschwanz. Die nachfolgende Auswertung kann als Zwischenbilanz betrachtet werden, da insbesondere in Bezug auf die Resistenzdynamik noch Entwicklungspotenzial besteht.

Material und Methoden

Feldversuch

Der Versuchsstandort in der Gemarkung Pettenbrunn (4478682.5 RW, 5365741.25 HW) im Landkreis Freising liegt auf einer Meereshöhe von 485 m ü. NN. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 815 mm, die Jahresmitteltemperatur liegt bei 7,7 °C. Der Boden am Standort im Tertiären Hügelland ist eine Parabraunerde aus Lößlehm (17 % Ton, 79 % Schluff, 1,8 % C_{org}, 6,6 pH_{CAL}, 18 mg/kg P₂O₅, 29 mg/kg K₂O). Der Versuch wurde mit der Aussaat von Winterweizen im Jahr 2011 gestartet und seitdem als Winterweizen-Monokultur fortgeführt. Die Aussaat erfolgte im Zeitraum von Ende September bis Anfang Oktober. Es wurden für die Region empfohlene Sorten verwendet. Die Aussaat erfolgte in der sorten- und saatezeit-spezifischen Saatstärke mit einer Kreisselege-Sämaschinenkombination. Der Besatz mit Acker-Fuchsschwanz lag im Frühjahr 2012 im Mittel bei 380 Pfl./m² in den Parzellen mit wendender Bodenbearbeitung und bei durchschnittlich 790 Pfl./m² in den Parzellen mit nicht-wendender Bodenbearbeitung. Die Resistenzuntersuchung der Ausgangspopulation zeigte eine verminderte Sensitivität gegenüber Flupyrsulfuron (Resistenzklasse: 1, nach Moss et al., 1999) und eine verminderte Sensitivität bis mittlere Resistenz gegenüber ACCase-Inhibitoren (Resistenzklasse – Pinoxaden: 1, Clodinafop: 2, Fenoxaprop-P: 3).

Der Versuch wurde zweifaktoriell mit den Prüffaktoren Bodenbearbeitung und Herbizidmanagement auf Großparzellen mit jeweils 360 m² ohne Wiederholung angelegt. Die vier untersuchten Herbizidbehandlungsverfahren bestanden aus Anwendungen im Sinne der guten fachlichen Praxis zur gezielten Vermeidung der Resistenzentwicklung (GFP), aus Standardbehandlungen mit einer möglichst günstigen Kosteneffizienz (Std.) und aus zwei Verfahren mit bevorzugter Anwendung von Herbiziden aus der Gruppe der ACCase-Inhibitoren (HRAC: A) bzw. ALS-Inhibitoren (HRAC: B). Je Großparzelle wurden vier bzw. fünf unbehandelte Kontrollflächen mit einer Größe von jeweils 4,5 m² angelegt. Die Position der Kontrollflächen wechselte von Jahr zu Jahr. Sie dienten für die Erhebung der Besatzdichte und für die Samenprobenahme zur Resistenzuntersuchung.

Tab. 1 Prüfvarianten des Dauerversuchs.

Tab. 1 Test variables of the long-term trial.

| Faktor, Bezeichnung | Beschreibung |
|-------------------------------------|--|
| 1 Bodenbearbeitungsverfahren | |
| 1.1 Pflug | Grundbodenbearbeitung wendend (Pflugfurche) |
| 1.2 Grubber | Grundbodenbearbeitung nicht wendend (tief-mischend mit Grubber) |
| 2 Herbizidmanagement | |
| 2.1 GfP | Herbizidauswahl und Wirkstoffeinsatz nach guter fachlicher Praxis (GfP) zur Vermeidung von Resistenzentwicklungen und unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Schadschwellen |
| 2.2 Std. | Anwendung von Standardbehandlungen mit einer möglichst günstigen Kosteneffizienz und sicherer Bekämpfungsleistung |
| 2.3 ALS | Regelmäßige Anwendung von ALS-Inhibitoren |
| 2.4 ACC | Regelmäßige Anwendung von ACCase-Inhibitoren |

Die Herbizidbehandlungen erfolgten regelmäßig als Nachauflaufbehandlungen im Herbst. Falls die Herbstbehandlungen keine ausreichende Bekämpfungsleistung erzielten, erfolgte eine weitere Spritzfolgebehandlung im Frühjahr. Die Herbizidbehandlungen wurden mit einer handgeführten, selbstfahrenden Pressluftparzellenspritze (Fabrikat Schachtner) mit einer Fahrgeschwindigkeit von 3,9 km/h, einem Arbeitsdruck von 2,0 bar und einer Wasseraufwandmenge von 300 l/ha mit AIRMIX® 11003 Luftinjektordüsen ausgebracht. Als Erhebungen wurden anhand repräsentativer Stichproben (10-20 Auszählungen mit dem Göttinger-Zählrahmen je Erhebung und Variante) die Besatzdichte mit Acker-Fuchsschwanzpflanzen und Acker-Fuchsschwanzähren festgestellt. Die Auszählung der Pflanzendichte erfolgte zum Vegetationsende im Herbst in unbehandelten Kontrollflächen der einzelnen Versuchsvarianten und im Frühjahr nach Vegetationsbeginn in den Kontroll- und Behandlungsflächen. Die Fuchsschwanzährendichte wurde zum Vegetationshöhepunkt in den Kontroll- und Behandlungsflächen ausgezählt. Die Ergebnisse wurden mit Hilfe der Anwendung UNISTAT® 6.5 for Windows™ (UNISTAT LIMITED, 2015) einer Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse zur Überprüfung von signifikanten Unterschieden unterzogen.

Resistenztest

Die Herbizidresistenz von Samenmischproben aus unbehandelten Kontrollflächen der Versuchsvarianten des Feldversuches wurde in einem Biotest unter kontrollierten Umweltbedingungen untersucht. Die Samenproben wurden mit einem Saugluft-Stufensichter (Fab. Pelz, Typ 2) aufbereitet. Anschließend wurde die Keimfähigkeit nach ISTA-Methode ermittelt. Die Aussaat erfolgte flächig mit einem Mikrolöffel auf Pflanztopfträgerplatten (10 Töpfe mit 4,5 cm Durchmesser). Die Saatstärke wurde so eingestellt, dass nach der Korngröße und Keimfähigkeit der jeweiligen Herkünfte ein relativ gleichmäßiger Pflanzenbestand im Vergleich aller im Test befindlichen Prüfherkünfte erreicht wurde. Als Substrat wurde ein natürlicher Mineralboden vom Standort Freising verwendet (Parabraunerde aus Lößlehm, 2,8 % OS, 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 Befeuchtung erfolgte durch regelmäßiges Gießen und im Anstauverfahren zur gleichmäßigen Durchfeuchtung der Pflanztöpfe. Im Laufe der Anzuchtperiode wurde eine einmalige Düngemaßnahme mit Flüssigdünger (Wuxal® 8-8-6, 100 ml/10l Gießwasser) mit der Bewässerung vorgenommen. Die Anzucht bis zur Herbizidbehandlung fand in einer Starklichtklimakammer (Typ York® 520284) statt. Bei einer Tag-Nacht-Phase von 12:12 Stunden wurde die Temperatur in einem Bereich von 20 °C am Tag bzw. 12 °C in der Nachtperiode und die Lichtintensität in der Tagesperiode auf 70000 Lux (Lampen Typ

Phillips® MT400LE/U, Weißlicht mit tageslichtähnlichem Vollspektrum, 400 µmol PAR/m²·s) geregelt. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde auf konstant 85 % gehalten.

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 (Tab. 2). Hierfür wurde eine linearangetriebene Laborspritzbahn (Fab. Schachtner) verwendet. Die Applikationskabine war mit Flachstrahldüsen vom Typ TeeJet® 8001EVS ausgestattet. Bei einem Spritzdruck von 2,5 bar und einer Geschwindigkeit von 2,0 km/h betrug die Wasseraufwandmenge 200 l/ha. Bei den durchgeführten Dosis-Wirkungsversuchen wurde mit 2 bis 3 Konzentrationsstufen der eingesetzten Herbizide gearbeitet. Dabei entsprach eine der geprüften Konzentrationen der zugelassenen Standarddosis des jeweiligen Herbizids. Die Dosierung wurde so gewählt, dass bei der sensitiven Vergleichsherkunft ein mittlerer Wirkungsgrad im Bereich von 85-95 % erzielt wurde. Bei den anwendungsspezifisch variablen Aufwandmengen der Präparate Atlantis OD® (Mesosulfuron + Iodosulfuron), Attribut® (Propoxycarbazone) und Broadway® (Pyroxulam + Florasulam) wurde die in Bayern praxisübliche Aufwandmenge als Standarddosis berücksichtigt. Das in Getreide nicht selektive Graminizid Focus Ultra® (Cycloxydim) wurde als Indikator für Wirkortresistenz verwendet. Die Behandlungen wurden mit vier bis fünf Wiederholungen durchgeführt.

Tab. 2 Im Resistenztest eingesetzte Herbizide.

Tab. 2 *Herbicides used in the resistance test.*

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

*) präparatespezifischer Formulierungshilfsstoff

☑ = Prüfkonzentration angewendet, - = Prüfkonzentration nicht angewendet

BBCH = Skala für das phänologische Pflanzenentwicklungsstadium

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

Für die Bewertung der Herbizidsensitivität wurde eine Resistenzklassifikation verwendet (Moss et al., 1999). 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. Die Vergleichsherkünfte stammen aus einer Mischpopulation des ökologischen Landbaus (sensitiv) und einer multiresistenten Population aus eigener Vermehrung. Feste Wirkungsgrenzen für die einzelnen Klassengrenzen können nicht

definiert werden, weil sich diese aus den Wirkungsgraden der sensitiven und der resistenten Vergleichsherkunft im jeweiligen Test ergeben. Die Wirkungsgrenzen der Resistenzklassen werden proportional in der Wirkungsspanne zwischen der sensitiven und resistenten Vergleichsherkunft eingeteilt. Um eine statistische Verrechnung zu ermöglichen wurden die Resistenzklassen den Stufen 0 bis 5 (sensitiv bis hoch resistent) zugeordnet (Tab. 3). Die Ergebnisse wurde mit Hilfe der Anwendung UNISTAT® 6.5 for Windows™ (UNISTAT LIMITED, 2015) einer Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse zur Überprüfung von signifikanten Unterschieden unterzogen.

Tab. 3 Resistenzklassifikation (nach Moss et al., 1999).

Tab. 3 System for designating resistance (according to Moss et al., 1999).

| Resistenzklassen, numerisch | Resistenzklassen, alphanumerisch | Beschreibung |
|-----------------------------|----------------------------------|---|
| 0 | S | Sensitiv |
| 1 | R? | Resistenzverdacht |
| 2 | RR | Resistenz bestätigt, Herbizidwirkungsverluste möglich |
| 3 | | |
| 4 | RRR | Resistenz bestätigt, Herbizidwirkungsverluste sehr wahrscheinlich |
| 5 | | |

Ergebnisse

Die Besatzdichte von Acker-Fuchsschwanz in Form von Pflanzen pro Quadratmeter reagierte bereits in der ersten Vegetationsperiode 2011/12 auf die unterschiedliche Bodenbearbeitung. Die Pflanzendichte lag mit durchschnittlich 608 Pfl./m² im Herbst 2012 in den Varianten mit nicht-wendender Bodenbearbeitung um den Faktor 2,5 höher als in den Varianten mit Pflug-Bodenbearbeitung. Im Mittel der Versuchsperiode 2011-2015 lag die Pflanzendichte bei Auszählungen im Herbst in den unbehandelten Kontrollen mit nicht-wendender Bodenbearbeitung um den Faktor 2 höher als in Varianten mit wendender Bodenbearbeitung (Tab. 4). Die unterschiedlichen Herbizidregime hatten dagegen keinen signifikanten Einfluss auf die Pflanzendichte. In der Faktorkombination aus Bodenbearbeitung und Herbizidregime traten differenzierte Unterschiede in der Pflanzendichte auf. Die relativ höchste Pflanzendichte von durchschnittlich 775 Pfl./m² trat in der Variante mit ACCase-Inhibitor-Behandlungen und nicht-wendender Bodenbearbeitung auf.

Tab. 4 Acker-Fuchsschwanz-Besatzdichte im Herbst in unbehandelten Kontrollen, 2011-2015.**Tab. 4** *Black-grass density in autumn in untreated control, 2011-2015.*

| Faktor, Faktorkombination | Median | ALOMY (Pfl./m²) Standardabweichung | Signifikanz* |
|--------------------------------------|---------------|--|---------------------|
| Pflug (wendend) | 306 | 122 | a |
| Grubber (nicht-wendend) | 622 | 183 | b |
| GfP | 445 | 214 | n.s. |
| Std. | 503 | 216 | n.s. |
| ALS | 426 | 166 | n.s. |
| ACC | 526 | 269 | n.s. |
| Pflug x GfP | 327 | 133 | a |
| Pflug x Std. | 306 | 175 | a |
| Pflug x ALS | 302 | 144 | a |
| Pflug x ACC | 298 | 68 | a |
| Grubber x GfP | 630 | 201 | bc |
| Grubber x Std. | 648 | 150 | ab |
| Grubber x ALS | 533 | 175 | bc |
| Grubber x ACC | 775 | 113 | c |

) Kruskal-Wallis ANOVA, t-Verteilung, $\alpha = 0,05$

Die Besatzdichte mit Acker-Fuchsschwanzähren wurde in den Behandlungsvarianten ebenfalls signifikant von der Form der Bodenbearbeitung beeinflusst. Die Anzahl an Acker-Fuchsschwanzähren lag in den Varianten mit nicht-wendender im Vergleich zu wendender Bodenbearbeitung um den Faktor 4 höher (Tab. 5).

Tab. 5 Acker-Fuchsschwanz-Ährendichte im Sommer in Behandlungsvarianten, 2012-2015.**Tab. 5** *Black-grass seed head density in summer in treated variations, 2011-2015.*

| Faktor, Faktorkombination | Median | ALOMY (Ähren/m²) Standardabweichung | Signifikanz* |
|--------------------------------------|---------------|---|---------------------|
| Pflug (wendend) | 6 | 36 | a |
| Grubber (nicht-wendend) | 26 | 81 | b |
| GfP | 21 | 13 | ab |
| Std. | 12 | 28 | ab |
| ALS | 3 | 19 | a |
| ACC | 66 | 107 | b |
| Pflug x GfP | 12 | 14 | ab |
| Pflug x Std. | 6 | 9 | ab |
| Pflug x ALS | 2 | 27 | a |
| Pflug x ACC | 9 | 69 | ab |
| Grubber x GfP | 24 | 13 | ab |
| Grubber x Std. | 38 | 33 | bc |
| Grubber x ALS | 5 | 12 | ab |
| Grubber x ACC | 119 | 118 | c |

) Kruskal-Wallis ANOVA, t-Verteilung, $\alpha = 0,05$

Auch die Herbizidregime hatten einen Einfluss auf die Fuchsschwanzährendichte: Die primäre Anwendung von ALS-Inhibitoren erreichte die stärkste Reduktion der Acker-Fuchsschwanzähren, während die Behandlung mit ACCase-Inhibitoren die höchste Fuchsschwanzährendichte aufwies (Tab. 5). Die Faktorkombination aus Bodenbearbeitung und Herbizidregime führte zu einer sehr differenzierten Beeinflussung der Fuchsschwanzährendichte. Die relativ höchste Fuchsschwanzährendichte trat in der Behandlung mit ACCase-Inhibitoren unter nicht-wendender Bodenbearbeitung auf.

Die im Resistenztest festgestellten Resistenzklassen (Moss et al., 1999) waren signifikant von der Art der Bodenbearbeitung abhängig (Tab. 6). Im Mittel über alle geprüften Herbizidregime waren

Varianten mit nicht-wendender Bodenbearbeitung um den Faktor 2 stärker von Herbizidresistenz betroffen als Varianten mit wendender Bodenbearbeitung. Die primäre Behandlung mit ACCase-Inhibitoren war relativ am stärksten von Herbizidresistenz betroffen. Es konnten allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den Herbizidregimen und dem jeweiligen Grad der Herbizidresistenz bestätigt werden. Die zweifaktorielle Analyse zeigte bei der festgestellten Herbizidresistenz eine sehr unterschiedliche Differenzierung zwischen den Behandlungsvarianten. Im Mittel der gesamten Versuchsperiode waren die Behandlungen nach guter fachlicher Praxis und die vorwiegende Anwendung von ACCase-Inhibitoren unter nicht-wendender Bodenbearbeitung am stärksten von Herbizidresistenz betroffen.

Tab. 6 Acker-Fuchsschwanz-Resistenz in unbehandelten Kontrollen, 2012-2014.

Tab. 6 Black-grass resistance status in untreated control, 2011-2014.

| Faktor, | Mittlere Resistenzklasse (0-5, sensitiv – hoch resistent) | |
|-------------------------|---|--------------|
| Faktorkombination | Mittelwert | Signifikanz* |
| Pflug (wendend) | 0,42 | a |
| Grubber (nicht-wendend) | 0,91 | b |
| GfP | 0,65 | n.s. |
| Std. | 0,55 | n.s. |
| ALS | 0,55 | n.s. |
| ACC | 0,90 | n.s. |
| Pflug x GfP | 0,37 | a |
| Pflug x Std. | 0,40 | a |
| Pflug x ALS | 0,33 | a |
| Pflug x ACC | 0,57 | ab |
| Grubber x GfP | 0,93 | b |
| Grubber x Std. | 0,70 | ab |
| Grubber x ALS | 0,77 | ab |
| Grubber x ACC | 1,23 | b |

*) Kruskal-Wallis ANOVA, t-Verteilung, α 0,05

Im Bezug auf die Resistenzklassen der untersuchten Herbizide waren Wirkstoffe aus der Gruppe der ACCase-Inhibitoren (HRAC: A) signifikant am stärksten betroffen (Abb. 1). Gegenüber dem Wirkmechanismus der Zellteilungshemmung (HRAC: K3) bzw. dem geprüften Herbizid Flufenacet traten in der gesamten Versuchsperiode keine Resistenzen auf. Die Wirkmechanismusgruppe K3 wurde daher in Abbildung 1 nicht aufgeführt.

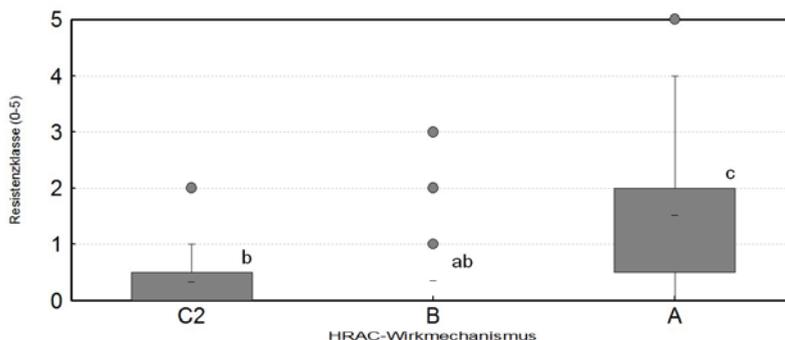


Abb. 1 Herbizidresistenz im Vergleich der betroffenen Wirkmechanismusklassen; unbehandelte Kontrollen, 2012-2014, Signifikanz nach Kruskal-Wallis ANOVA, t-Verteilung, α = 0,05.

Abb. 1 Herbicide resistance in comparison of affected mode of action; untreated control, 2012-2014, significance referred to Kruskal-Wallis ANOVA, t-distribution, α = 0.05.

Diskussion

Der in einer Winterweizen-Monokultur durchgeführte Dauerversuch zeigte bereits in der ersten Vegetationsperiode einen signifikanten und starken Unterschied im Besatz mit Acker-Fuchsschwanzpflanzen zwischen den beiden unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten. Das Verhältnis und die Intensität des Acker-Fuchsschwanz-Besatzes veränderte sich im Laufe der Versuchsperiode nicht wesentlich im Unterschied zwischen der wendenden Bodenbearbeitung mit dem Pflug und der nicht-wendenden, tief-mischenden Bearbeitung mit dem Grubber. Die Ergebnisse bestätigen die relativ hohe Bedeutung des Bodenbearbeitungsverfahrens für ein nachhaltiges Resistenzmanagement (GEHRING et al., 2012). Die Anwendung unterschiedlicher Herbizidregime zeigte dagegen nur einen geringen Einfluss auf die Populations- und Resistenzentwicklung. In der mehrfaktoriellen Analyse traten sehr spezifische Differenzierungen zwischen den Behandlungsvarianten auf. Die dynamischste Populations- und Resistenzentwicklung wurde tendenziell bei der regelmäßigen Anwendung von ACCase-Inhibitoren unter nicht-wendender Bodenbearbeitung festgestellt. Dieser Effekt wurde durch eine relativ hohe Resistenzdynamik bei Herbiziden aus der HRAC-Gruppe A bestätigt. Die bisherigen Ergebnisse bestätigen das relativ hohe Resistenzrisiko von ACCase-Inhibitoren (GEHRING, 2014). Eine mögliche Weiterentwicklung der Acker-Fuchsschwanz-Populationen und deren Resistenzdynamik wird durch die Fortführung des Dauerversuches untersucht.

Literatur

- GEHRING, K., 2014: Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern. Getreidemagazin **19**, 1/2014, 8-14.
- GEHRING, K., 2015: Herbizidresistenz – Bevor es ganz zu spät ist. DLG-Mitteilungen, Sonderheft, Mai 2015, 4-7.
- GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT und C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2012: Prinzipien einer Anti-Resistenzstrategie bei der Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* aus Sicht des Pflanzenschutzdienstes. Julius-Kühn-Archiv **434**, 89-101.
- GEHRING, K., T. FESTNER und S. THYSSEN, 2010: Herbizidresistenz bei *Alopecurus myosuroides* Huds. (Ackerfuchsschwanz) und *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Windhalm) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **428**, 270-271.
- GEHRING, K., T. FESTNER und S. THYSSEN, 2012: Herbizidresistenz bei *Alopecurus myosuroides* Huds. in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **434**, 128-132.
- GEHRING, K. und S. THYSSEN, 2014: Herbizideinsatz gegen schwer bekämpfbaren, herbizidresistenten Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Winterweizen (*Triticum aestivum* L.). Julius-Kühn-Archiv **443**, 311-319.
- MOOS, S.R., J.H. CLARKE, T.N. CULLEY, M.A. READ, P.J. RYAN und M. TURNER, 1999: The occurrence of herbicide-resistant grass-weeds in the United Kingdom and a new system for designation resistance in screening assays. The 1999 Brighton Conference – Weeds, conference proceedings volume I; The British Crop Protection Council, Farnham, S. 179-184.
- UNISTAT LIMITED, 2015: UNISTAT Statistical Package – User's Guide Version 6.5. <http://www.unistat.com>, 1244 S.

Impact of weed control strategies on resistance evolution in *Alopecurus myosuroides* – a long-term field trial

Einfluss von Herbizidstrategien auf die Resistenzentwicklung bei Alopecurus myosuroides – ein Dauerversuch

Lena Ulber*, Dagmar Rissel

Julius Kühn-Institut (JKI), Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Plant Protection in Field Crops and Grassland, Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig, Germany
*Corresponding author, lena.ulber@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.052

Abstract

The impact of various herbicide strategies on populations of *Alopecurus myosuroides* is investigated in a long-term field trial situated in Wendhausen (Germany) since 2009. In the initial years of the field experiment, resistant populations were selected by means of repeated application of the same herbicide active ingredients. For the selection of different resistance profiles, herbicides with actives from different HRAC groups were used. The herbicide actives flupyrsulfuron, isoproturon und fenoxaprop-P were applied for two years on large plots.

In a succeeding field trial starting in 2011, it was investigated if the now existing resistant field populations could be controlled by various herbicide strategies. Eight different strategies consisting of various herbicide combinations were tested. Resistance evolution was investigated by means of plant counts and molecular genetic analysis.

Keywords: Herbicide resistance, long-term field trial, resistance strategy

Zusammenfassung

In einem Dauerfeldversuch wird am Standort Wendhausen (Nähe Braunschweig) seit dem Jahr 2009 der Einfluss unterschiedlicher Herbizidstrategien auf *Alopecurus myosuroides*-Populationen mit unterschiedlichen Resistenzprofilen untersucht. In den ersten Jahren des Versuches wurden auf dem Standort durch jährliche Applikation derselben herbiziden Wirkstoffe entsprechende resistente Populationen selektiert. Dabei wurden zur Selektion unterschiedlicher Resistenzprofile Herbizide aus unterschiedlichen HRAC-Wirkstoffgruppen verwendet. So wurden die herbiziden Wirkstoffe Flupyrsulfuron, Isoproturon und Fenoxaprop-P in gleichbleibenden Großparzellen über einen Zeitraum von zwei Jahren eingesetzt.

Bei dem in 2011 begonnenen Versuch sollte im Anschluss untersucht werden, inwieweit die bestehenden resistenten Populationen mit unterschiedlichen Herbizidstrategien bekämpft werden können. Dabei wurden acht verschiedene Strategien mit unterschiedlichen Herbizidkombinationen getestet. Zudem wurde die Entwicklung der Resistenz anhand von Feldbonituren und molekulargenetischen Analysen untersucht.

Stichwörter: Dauerfeldversuch, Herbizidresistenz, Anti-Resistenzstrategie

Introduction

Herbicide resistance in *Alopecurus myosuroides* is a well-known phenomenon in German arable cropping systems. Due to the low number of selective herbicide active ingredients available for grass weed control in cereals, ACCase and ALS inhibitors are frequently used to control grass weed species such as *A. myosuroides* (Moss et al., 2007). Regarding *A. myosuroides*, winter cereals and ACCase and ALS inhibitors are therefore the crop species and herbicide chemical groups most widely affected by resistance evolution (PETERSEN, 2014). Anti-resistance strategies including the application of soil-active pre-emergence active ingredients such as flufenacet are now widely adopted by farmers but are often only able to retard but not to completely prevent resistance evolution. Once resistance has occurred on a specific field, the main aim of farmers is to reduce the spreading of resistant individuals in the field and to control the resistant populations in order to minimize the negative impact on yield. However, recent studies have shown that resistance evolution on a field cannot be completely reversed by specific control strategies but that increased control efficacy including control of resistant individuals can be achieved by the

adopting of appropriate herbicide strategies including active ingredients not yet affected by resistance (RUMMLAND, 2014).

In this experimental field study, we investigate the effect of different herbicide strategies on *A. myosuroides* populations pre-selected with different active ingredients. Using three different active ingredients, we first pre-selected for distinct reduced herbicide sensitivity in a field *A. myosuroides* population. After a two-year selection period, we tested eight different herbicide strategies (HS) in order to monitor further resistance evolution in the pre-selected *A. myosuroides* populations.

Materials and Methods

Experimental design

A long-term field trial was set up in 2009 at an experimental field in Wendhausen close to Braunschweig, Germany. The site was characterized by a high infestation with *A. myosuroides*. First bioassays prior to the start of the experiments have indicated that the present *A. myosuroides* population may exhibit a reduced sensitivity towards ACCase inhibitors (data not shown). The field was sown with winter wheat each year and early sowing (end of September) was conducted. The initial experimental design consisted of three large neighboring experimental plots (12 x 150 m) treated with three different active ingredients (Tab. 1). The initial herbicide treatments (IHT) were applied in autumn post-emergent each year. The aim of the three IHT was to cause a sensitivity shift in the *A. myosuroides* population present on the field and to select for varying herbicide susceptibility between the plots as a result of the three treatments.

Tab. 1 Initial herbicide treatments (IHT) in the experimental years 2009-2011.

Tab. 1 Herbizidbehandlungen (IHT) in den Versuchsjahren 2009-2011.

| Plot | Herbicide trade name | Active ingredient | Herbicide dose rate |
|------|----------------------|--|------------------------|
| I | Arelon Top | Isoproturon (500 g L ⁻¹) | 3.0 Lha ⁻¹ |
| II | Ralon Super | Fenoxaprop-P-Ethyl (69 g L ⁻¹) | 1.2 L ha ⁻¹ |
| III | Lexus | Flupyrsulfuron-methyl (500 g L ⁻¹) | 20 g ha ⁻¹ |

In 2011, the experimental design characterized by the three IHT plots (I-III) was altered and new treatments consisting of eight different weed control strategies (WCS no. 1-8) were set up transverse to the three initial plots (Fig. 1).

Parts (12 x 50 m) of the former three large IHT plots were maintained in order to further monitor the impact of the three IHT indicated in Table 1 which were further on applied annually post-emergent in autumn. The new eight herbicide treatments (WCS, Tab. 3) were replicated four times (block a-d) with a plot size of 3 x 36 m. Winter wheat was continuously grown on the experimental plots analogous to the previous experimental period in 2009-2011.

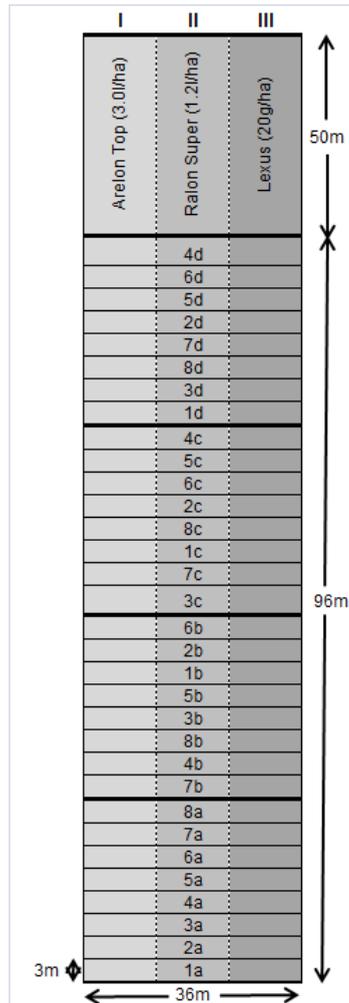


Fig. 1 Experimental set-up in the experimental years 2011-2015.

Abb. 1 Versuchsdesign in den Versuchsjahren 2011-2015.

The aim of the altered experimental design was to use the selective effect of the three IHT (Tab. 1) and to test the effect of the eight WCS on the pre-selected populations of *A. myosuroides*. Nine different herbicides were applied as part of the herbicide strategies (Tab. 2).

The eight tested WCS (Tab. 3) included a control treatment with no herbicide application (WCS 1), two strategies using only active ingredients from HRAC group A or B post-emergent (WCS 3 and 4, respectively), one strategy using both HRAC group A or B actives post-emergent (WCS 3) and several different strategies consisting of varying pre-emergence and a post-emergence applications (WCS 2 and 6-8). Herbicides were applied using an experimental field sprayer (Schachtner) with a width of 3 m calibrated to deliver a volume of 300 L/ha

Tab. 2 Herbicides with concentrations of active ingredients and HRAC groups as used as part of the eight weed control strategies (WCS) in the experimental years 2011-2015.

Tab. 2 *Verwendete Herbizide mit Konzentrationsangaben der Wirkstoffe und der Wirkstoffgruppen in den acht unterschiedlichen Unkrautbekämpfungsstrategien (WCS) in den Versuchsjahren 2011-2015.*

| Herbicide trade name | Active ingredient | HRAC group |
|----------------------|---|------------|
| Atlantis WG | Mesosulfuron-methyl (30 g kg ⁻¹) | B |
| | Iodosulfuron-methyl-natrium (6 g kg ⁻¹) | B |
| | Mefenpyr (90 g kg ⁻¹) | |
| Axial 50 | Pinoxaden (50 g L ⁻¹) | A |
| Bacara Forte | Flufenacet (120 g L ⁻¹) | K3 |
| | Flurtamone (120 g L ⁻¹) | F1 |
| | Diflufenican (120 g L ⁻¹) | F1 |
| Boxer | Prosulfocarb (800 g L ⁻¹) | N |
| Cadou SC | Flufenacet (500 g L ⁻¹) | K3 |
| Herold SC | Flufenacet (400 g L ⁻¹) | K3 |
| | Diflufenican (200 g L ⁻¹) | F1 |
| Ralon Super | Fenoxaprop-P-ethyl (69 g L ⁻¹) | A |
| Lexus | Flupyrulfuron-methyl (500 g L ⁻¹) | B |
| Traxos | Pinoxaden (25 g L ⁻¹) | A |
| | Clodinafop-propargyl (25 g L ⁻¹) | A |

Tab. 3 Weed control strategies (WCS) in the experimental years 2009-2015.

Tab. 3 *Unkrautbekämpfungsstrategien (WCS) in den Versuchsjahren 2009-2015.*

| WCS | Autumn | | Spring |
|-----|--|---------------------------------------|---|
| | Pre-emergent | Post-emergent | Post-emergent |
| 1 | - | - | - |
| 2 | Cadou SC (0.3 L ha ⁻¹) + Bacara Forte (0.75 L ha ⁻¹) | Traxos (1.2 L ha ⁻¹) | - |
| 3 | - | Lexus (20 g ha ⁻¹) + FHS | Atlantis WG (500 g ha ⁻¹) + FHS (1.0 L ha ⁻¹) |
| 4 | - | Ralon Super (1.2 L ha ⁻¹) | Axial 50 (1.2 L ha ⁻¹) |
| 5 | - | Lexus (20 g ha ⁻¹) + FHS | Axial 50 (1.2 L ha ⁻¹) |
| 6 | Boxer (2.5 L ha ⁻¹) + Herold SC (0.6 L ha ⁻¹) | Axial 50 (0.9 L ha ⁻¹) | Axial 50 (1.2 L ha ⁻¹) |
| 7 | Fenikan (2.5 L ha ⁻¹) | - | Traxos (1.2 L ha ⁻¹) |
| 8 | Cadou SC (0.3 L ha ⁻¹) + Bacara Forte (0.75 L ha ⁻¹) | Traxos (1.2 L ha ⁻¹) | Traxos (1.2 L ha ⁻¹) |

Bioassays

In order to monitor any change in sensitivity in *A. myosuroides* as a result of the three IHT treatments (IHT I-III: Isoproturon, fenoxaprop-P-ethyl and flupyrulfuron-methyl, Tab. 1), bioassays with seed samples from the three plots were conducted in different years. In 2010, 2011 and 2015, seed samples from all three plots were taken whereas in 2013 only samples from plots treated with Arelon Top (IHT plot I) and Ralon Super (IHT plot II) were analyzed. *A. myosuroides* seed samples were taken in July when the seeds were fully ripe. Seeds were germinated in petri dishes and transplanted at BBCH 10 into pots containing standardized soil with five plants per pot and four replicates per treatment. At BBCH 12, plants were treated with different herbicides and efficacy was assessed 21 days after treatment. For the seed samples taken in 2010, 2011 and 2015, the herbicide actives Arelon Top, Ralon Super, Lexus and Focus Ultra were tested whereas for the samples taken in 2013, only Arelon Top and Ralon Super were used. Herbicides were applied at the registered dose rates (Tab. 4).

Tab. 4 Herbicides used in the bioassays with content of respective active ingredients and applied dose rates.

Tab. 4 In den Biotesten verwendete Herbizide mit Konzentrationsangaben der Wirkstoffe und der verwendeten Aufwandmengen.

| Herbicide | Active ingredient | Herbicide dose rate |
|-------------|--|------------------------|
| Arelon Top | Isoproturon (500 g L ⁻¹) | 3.0 l ha ⁻¹ |
| Ralon Super | Fenoxaprop-P-ethyl (69 g L ⁻¹) | 1.2 l ha ⁻¹ |
| Lexus | Flupyr-sulfuron-methyl (500 g kg ⁻¹) | 20 g ha ⁻¹ |
| Focus Ultra | Cycloxydim (100 g L ⁻¹) | 2.5 l ha ⁻¹ |

A. myosuroides assessment

Starting in 2011, the occurrence of *A. myosuroides* was assessed in the plots of the eight herbicide strategies only. Plant number of *A. myosuroides* in all plots was assessed once in autumn after the post-emergent herbicide treatment and twice in spring before and after the spring herbicide treatment. Shortly before harvest, the number of *A. myosuroides* heads was additionally counted. Plant and head numbers were counted in quadrats of 0.1 m⁻² and three quadrats were assessed in each plot. For this analysis, only the number of *A. myosuroides* heads will be analysed.

Statistical analysis

Linear mixed-effects models were fitted in R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2007) which, according to the split-plot design, incorporated the following error structure (number of levels indicated in parentheses): Block (4) / WCS (8) / IHT (3). As the study was characterised by a balanced and orthogonal design, maximum likelihood was used within the linear mixed effects models. Block was included as a random block factor to account for environmental heterogeneity on the study site. The response variables tested was *A. myosuroides* head number (m⁻²) at the assessment date before harvest. The appropriateness of the model was checked by plotting standardised residuals against fitted values. Statistically significant effects derived from the model with best fit were further investigated using ANOVA, following the error structure of the linear mixed-effects models and Tukey HSD post hoc tests ($P < 0.05$) on data averaged over the four experimental blocks. Results (significances) of the Tukey HSD post hoc tests are not shown in Table 6-8 due to the high number of factor levels.

Molecular genetic analysis of target-site resistance

In 2014, leave samples for target-site mutation analysis were taken from IHT plots II (Ralon Super) and III (Lexus). Since no survivors were found after application of Arelon Top in the bioassay, no molecular analysis was performed for this treatment. In the following year, bioassay using seed samples from IHT plots II and III were conducted as described above. Survivors from these bioassays that survived 200% herbicide dose were analyzed for potential target-site alterations. For DNA extraction, 0.5 cm of green leaf material was ruptured in a Retch Mill at 30 Hz for 1 min in DNA extraction buffer (100 mM Tris-HCL (pH 9.5), 1 MKCl, 10 mM EDTA). Subsequently, cellular debris was removed by centrifugation and the DNA in the supernatant was precipitated using 100% ethanol. For the leaf samples taken from IHT plot II in the field, target-site mutation analysis for the codon coding for Ile1781 of the ACCase protein was carried out as described by DÉLYE et al. (2002). Since the codon for Ile1781 was not shown to be altered in the leaf samples taken in 2014, this potential mutation site was not analyzed in 2015. Potential mutations in the codons coding for Trp2027, Ile2041, Asp2078 and Gly2096 were determined performing pyrosequencing (Tab. 9). The dCAPS procedure to determine mutations in the codons coding for Pro197 and Trp574 in the ALS protein was performed according to DÉLYE et al. (2008).

Results

Bioassays

The sensitivity analysis of seed samples taken from the three IHT plots showed varying level of resistance toward the tested herbicides (Fig. 2). The efficacy of Arelon Top (isoproturon) was high (> 98%) on all samples tested (Fig. 2 a-c). In contrast, the efficacy of Lexus (flupyrsulfuron) was lower (< 90%) especially on samples taken from IHT plot III continuously treated with Lexus (flupyrsulfuron; Fig. 2c). In addition, the efficacy of Lexus decreased over time especially for samples from IHT plot III where only 6% control was observed for samples taken in 2015. Regarding Ralon Super (fenoxaprop-P), the efficacy was low (0 - 41%) on all samples tested (Fig. 2 a-c). No impact of the sampling year was evident but virtually no control by Ralon Super was observed for the seed sample taken from the IHT plot II (Ralon Super) in 2015 (Fig. 2b)) whereas the control was higher for samples from IHT plots I and III (Fig. 2 a) and 2 c)).

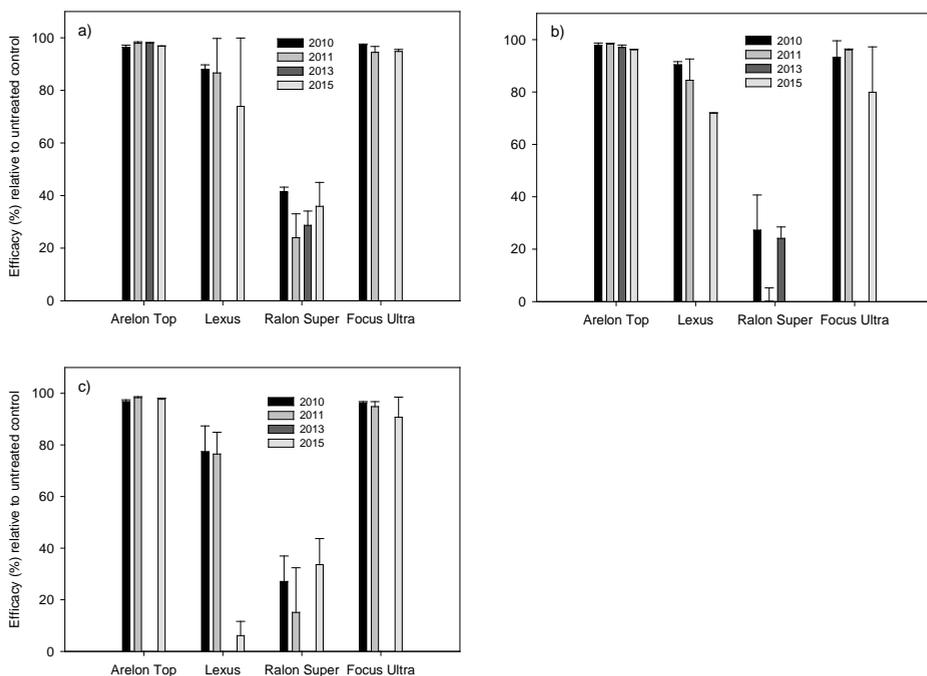


Fig. 2 Results of the bioassay for seed samples derived from IHT plot I (Arelon Top, a), II (Ralon Super, b) and III (Lexus, c).

Abb. 2 Ergebnisse der Biotests mit Samen, die aus den IHT-Parzellen I (Arelon Top, a), II (Ralon Super, b) und III (Lexus, c) stammen.

A. myosuroides head number

The number of *A. myosuroides* heads was significantly influenced by WCS in all three experimental years (Tab. 5). The impact of the three initial herbicide treatments (IHT) was only significant in 2014 and 2015. A significant interaction between the two factors was observed in the experimental years 2013 and 2014.

Tab. 5 Effects of WCS and IHT on *A. myosuroides* head number in winter wheat (linear mixed-effects models).**Tab. 5** Einfluss von WCS und IHT auf die Ährenzahl von *A. myosuroides* in Winterweizen (lineare gemischte Modelle).

| | d.f. | 2013 | | 2014 | | 2015 | |
|------------------|------|--------|---------|--------|----------|--------|----------|
| | | MS | F | MS | F | MS | F |
| WCS | 7 | 225529 | 6.90*** | 634181 | 29.28*** | 405264 | 10.89*** |
| IHT | 2 | 1970 | 0.59 | 21770 | 6.32** | 110545 | 11.00*** |
| WCS x IHT | 14 | 11498 | 3.42*** | 9480 | 2.75** | 16037 | 1.60 |
| Residuals | 28 | 161515 | | 3446 | | 10054 | |

WCS, Weed control strategy (no 1-8; 2011-2015); IHT: Initial herbicide treatment (plot I-II, 2009-2011). Significance levels are *P < 0.05; **P < 0.01; ***P < 0.001; NS, not significant.

In 2013, the impact of IHT was not significant (Tab. 6). Therefore, no significant differences in *A. myosuroides* head number were observed between the three IHT levels. High numbers of *A. myosuroides* heads were observed under WCS 4 (Ralon Super in autumn followed by Axial 50 in spring; 435-489 heads/m²). Number of *A. myosuroides* heads was lowest in response to WCS 3 (Lexus in autumn followed by Atlantis WG in spring, 7-12 heads/m²) across all IHT level.

Tab. 6 Mean number (mean) and corresponding standard error (SE) of *A. myosuroides* head number in 2013.**Tab. 6** Durchschnittliche Anzahl (mean) und Standardfehler (SE) der *A. myosuroides*-Ährenzahl in 2013.

| WCS | Arelon Top (IHT I) | | Ralon Super (IHT II) | | Lexus (IHT III) | |
|----------|--------------------|--------|----------------------|-------|-----------------|--------|
| | mean | SE | mean | SE | mean | SE |
| 1 | 322 | 55.22 | 473 | 48.56 | 270 | 51.14 |
| 2 | 393 | 61.95 | 289 | 16.35 | 338 | 32.04 |
| 3 | 7 | 2.36 | 12 | 7.43 | 10 | 8.86 |
| 4 | 477 | 115.85 | 435 | 85.14 | 489 | 145.03 |
| 5 | 230 | 19.34 | 245 | 26.44 | 327 | 46.51 |
| 6 | 373 | 52.26 | 334 | 39.75 | 357 | 72.77 |
| 7 | 379 | 39.07 | 383 | 45.73 | 453 | 42.52 |
| 8 | 378 | 40.52 | 309 | 43.83 | 359 | 54.15 |

WCS, Weed control strategy (no 1-8; 2011-2015); IHT: Initial herbicide treatment (plot I-II, 2009-2011).

From 2013 to 2014, a strong increase in *A. myosuroides* head number was observed in the control treatment (WCS 1; Tab. 6 and 7). In 2014 and 2015, the impact of the IHT on *A. myosuroides* head number was significant (Tab. 7 and 8) and differences in the effects of the eight WCS were observed between the three IHT levels. Very high numbers of *A. myosuroides* heads were again observed in the control treatment (WCS 1) with no significant differences between the three IHT in 2014 (751-795 heads/m²) and in 2015 (743-821 heads/m²). In 2014, low numbers of *A. myosuroides* heads were counted under WCS 2 (Cadou SC + Bacara Forte in autumn followed by Traxos in spring) with no significant differences between the three IHT in 2014 (23-37 heads/m²). In contrast, *A. myosuroides* head number was higher under 2 in 2015 (293-556 heads/m²) with considerable higher numbers under IHT II and IHT III compared to IHT I (but no statistical difference found; Tab. 8).

Tab. 7 Mean number (mean) and corresponding standard error (SE) of *A. myosuroides* head number in 2014.

Tab. 7 Durchschnittliche Anzahl (mean) und Standardfehler (SE) der *A. myosuroides*-Ährenzahl in 2014.

| WCS | Arelon Top (IHT I) | | Ralon Super (IHT II) | | Lexus (IHT III) | |
|----------|--------------------|-------|----------------------|-------|-----------------|-------|
| | Mean | SE | Mean | SE | Mean | SE |
| 1 | 765 | 33.39 | 751 | 53.47 | 795 | 50.99 |
| 2 | 23 | 10.83 | 30 | 6.56 | 37 | 10.44 |
| 3 | 155 | 69.75 | 77 | 16.04 | 75 | 17.17 |
| 4 | 440 | 56.27 | 512 | 65.23 | 439 | 57.59 |
| 5 | 210 | 52.05 | 217 | 25.86 | 220 | 22.21 |
| 6 | 359 | 87.04 | 376 | 59.00 | 328 | 62.74 |
| 7 | 400 | 33.57 | 450 | 35.35 | 284 | 48.73 |
| 8 | 303 | 56.86 | 459 | 59.10 | 274 | 41.59 |

WCS, Weed control strategy (no 1-8; 2011-2015); IHT: Initial herbicide treatment (plot I-II, 2009-2011).

Differences between the IHT were observed in 2014 for WCS 3 (Lexus in autumn followed by Atlantis WG in spring) with *A. myosuroides* head number being about two times higher under the Arelon Top IHT I (155 heads/m²) compared to the two other IHT (77 and 75 heads/m²). However, this difference was not statistically significant due to the high variation in *A. myosuroides* head number under IHT I (SE = 69.75). In 2015, this difference was less pronounced and not statistically significant.

Tab. 8 Mean number (mean) and corresponding standard error (SE) of *A. myosuroides* head number in 2015.

Tab. 8 Durchschnittliche Anzahl (mean) und Standardfehler (SE) der *A. myosuroides*-Ährenzahl in 2015.

| WCS | Arelon Top (IHT I) | | Ralon Super (IHT II) | | Lexus (IHT III) | |
|----------|--------------------|-------|----------------------|--------|-----------------|--------|
| | Mean | SE | Mean | WCS | Mean | SE |
| 1 | 775 | 18.48 | 821 | 34.26 | 743 | 19.51 |
| 2 | 293 | 38.57 | 531 | 78.66 | 556 | 58.26 |
| 3 | 476 | 43.24 | 434 | 51.94 | 412 | 69.46 |
| 4 | 724 | 99.86 | 860 | 139.58 | 777 | 122.13 |
| 5 | 267 | 77.25 | 378 | 61.65 | 338 | 51.62 |
| 6 | 318 | 77.57 | 391 | 112.33 | 403 | 36.12 |
| 7 | 632 | 95.39 | 793 | 54.00 | 622 | 106.14 |
| 8 | 325 | 59.96 | 539 | 79.65 | 497 | 56.37 |

WCS, Weed control strategy (no 1-8; 2011-2015); IHT: Initial herbicide treatment (plot I-II, 2009-2011).

Analysis of target-site resistance

Molecular genetic analysis did not reveal a significant contribution of target-site mutations to ACCase inhibitor resistance. Among the survivors of the bioassay, only two plants were found to be heterozygous coding a Asp2078Gly substitution (Tab. 9). In contrast, ALS inhibitor resistance could be attributed to alterations in the codons coding for Pro197 and Trp574, respectively. All analyzed plants were carrying mutations in one or both codons known to confer herbicide resistance.

Tab. 9 Target-site mutations determined in the years 2014 and 2015, given in % of the number of analyzed plants.

Tab. 9 In den Jahren 2014 und 2015 bestimmte Wirkortmutationen, angegeben in % der Anzahl der analysierten Pflanzen.

| Year | IHT | ACCase | | | | | ALS | |
|------|-----|--------------|---------|--------------|---------|---------|---------|--------|
| | | Ile1781 | Trp2027 | Ile2041 | Asp2078 | Gly2096 | Pro 197 | Trp574 |
| 2014 | II | 0 | | not analyzed | | | | |
| | III | | | | | | 100 | 77.7 |
| 2015 | II | not analyzed | 0 | 0 | 10,5 | 0 | | |
| | III | | | | | | 18.75 | 87.5 |

Discussion

The results show that none of the eight different weed control strategies (WCS) was able to reduce the density of *A. myosuroides* over the three tested experimental years. In contrast, the efficacy ranking for the eight WCS varies between the years. In 2013, head number was lowest in response to WCS 3 (Lexus in autumn followed by Atlantis WG in spring). In 2014, WCS 2 (Cadou SC + Bacara Forte in autumn followed by Traxos in spring) achieved the highest control efficacy whereas in 2015, the highest control efficacy was observed for WCS 5 consisting of an application of Lexus in autumn followed by Axial in spring. These results are in contrast to other studies which have shown that sequence application of pre-emergence application with active ingredients from less resistance-prone HRAC groups such as K1, K3 and F1 followed by an application of post-emergence actives may provide the highest control efficacy (MOSS et al., 2007; GEHRING et al., 2012; GEHRING and THYSSEN, 2014).

The lowest control efficacy was observed for WCS 4 (Ralon Super in autumn followed by Axial 50 in spring) in all three experimental years. This was most likely due to the high level of resistance to ACCase inhibitors that was present already before the start of the field experiment. Corresponding to that, a low efficacy of Ralon Super was also observed in all conducted bioassays. Analysis of possible resistance mechanism showed, that resistance to ACCase inhibitors was not caused by any of the four tested mutations on the ACCase gene. Therefore, non-target-site resistance mechanisms are a possible cause for the low efficacy of ACCase inhibitors. This conclusion is supported by the high efficacy of Focus Ultra (cycloxydim) in the conducted bioassays. As cycloxydim is not or less metabolised by plants with enhanced metabolism, it can be used as an indicator of non-target-site resistance.

Results of the study show that control of *A. myosuroides* by means of herbicides only is not sufficient on field sites with present herbicide resistance. Therefore, non-chemical measures such as diversified crop rotation, delayed drilling and inversion tillage have to be used in order to reduce the overall infestation of *A. myosuroides* (LUTMAN et al., 2013).

The conducted study presents a long-term field study that was conducted under continuous winter wheat. In situation with resistance level such as those observed in the study, other crop species such as oilseed rape can be grown in which other active ingredients such as propyzamide with a high efficacy against *A. myosuroides* can be applied. In addition, non-selective actives (glyphosate) might be used to reduce high densities of *A. myosuroides*.

References

- DÉLYE, C., A. MATĚJČEK and J. GASQUEZ, 2002: PCR-based detection of resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds) and ryegrass (*Lolium rigidum* Gaud). *Pest Management Science* **58**, 474-478.
- DÉLYE, C. and 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.
- GEHRING, K. and S. THYSSEN, 2014: Herbizideinsatz gegen schwer bekämpfbaren, herbizidresistenten Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Winterweizen (*Triticum aestivum* L.). *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 311-319.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT and C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2012: Prinzipien einer Anti-Resistenzstrategie bei der Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* aus Sicht des Pflanzenschutzdienstes. Julius-Kühn-Archiv **434**, 89-101.
- LUTMAN P.J.W., S.R. MOSS, S. COOK and S.J. WELHAM, 2013: A review of the effects of crop agronomy on the management of *Alopecurus myosuroides*. Weed Research **53**, 299-310.
- MOSS, S.R., S.A.M. PERRYMAN and L.V. TATNELL, 2007: Managing herbicide-resistant blackgrass (*Alopecurus myosuroides*): theory and practice. Weed Technology **21**, 300-309.
- PETERSEN, J., 2014: Einfluss von Sequenzbehandlungen auf die Herbizidresistenzentwicklung bei *Alopecurus myosuroides*. Julius-Kühn Archiv **447**, 102.
- RUMMLAND, J. 2014: Resistance dynamic of *Apera spica-venti* (L.) P.B. under varying herbicide treatments. PhD thesis, Braunschweig, 142 pages.

Einfluss von Imazamox-haltigen Herbiziden auf die Resistenzentwicklung bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in einer Raps-Getreidefruchtfolge

*Impact of imazamox containing herbicides on the development of resistance in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) within an oilseed rape / wheat crop rotation*

Maria Rosenhauer¹, Bernd Sievernich², Jan Petersen^{1*}

¹Fachhochschule Bingen, Fachbereich Life Science and Engineering, Fachrichtung Agrarwirtschaft, Berlinstr. 109, 55144 Bingen, Germany

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

*Korrespondierender Autor, petersen@fh-bingen.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.053

Zusammenfassung

Mit der Einführung von Clearfield-Winterrapsorten wurde der Einsatz von ALS-Inhibitoren (Imazamox) auch im Winterraps möglich. Eine wichtige Frage in diesem Zusammenhang ist, ob durch den erweiterten ALS-Herbizideinsatz in der Fruchtfolge der Selektionsdruck steigt und in der Folge mit vermehrtem Auftreten herbizidresistenter Unkräuter zu rechnen ist. Um dieser Frage nachzugehen, wurde im Herbst 2011 ein Gefäßversuch (30 Gefäße a 350 l, 0,7 m²) unter Freilandbedingungen angelegt. Simuliert wurde eine zweigliedrige Fruchtfolge (Winterweizen/Raps/Winterweizen/Raps). Es wurden drei verschiedene Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte mit charakterisierten Resistenzen und fünf verschiedene Herbizidvarianten in den einzelnen Kulturen über die Fruchtfolge hinsichtlich der Populationsdynamik, der Frequenz von Zielortresistenzen und der Entwicklung der metabolischen Resistenz untersucht.

Es zeigte sich eine Interaktion zwischen Acker-Fuchsschwanz-Herkunft und Herbizidstrategie bei der Zunahme der Acker-Fuchsschwanz-Dichte. Keine Interaktion war bei dem Einsatz von Propyzamid erkennbar. Die Zielortresistenzfrequenz gegenüber ACCase-Inhibitoren nahm bei den entsprechenden Herkünften unabhängig von der Herbizidstrategie im Versuchsablauf stark zu. Hingegen war bei niedrigerer Ausgangsfrequenz von ALS-Zielortresistenz keine Veränderung nachweisbar. Dies war unabhängig vom zusätzlichen Imazamox-Einsatz in den Winterrapsanbauperioden. Beim Vergleich der Resistenzfaktoren von den resistenten Ausgangspopulationen mit den Acker-Fuchsschwanz-Pflanzen nach 4-jährig differenziert behandelte Periode zeigte sich, dass vor allem die Pinoxaden-Resistenz bei allen Herkünften deutlich zunahm. Bei den verschiedenen Acker-Fuchsschwanz-Herkünften wurden gegenüber Imazamox geringfügige Veränderungen in der Sensitivität - Erhöhungen wie auch Abnahmen - festgestellt.

Gegenüber der Ausgangspopulation konnte keine signifikante Erhöhung der Meso- + Iodosulfuronresistenz durch die verschiedenen Behandlungsvarianten beobachtet werden.

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die Integration von imazamoxtoleranten Raps in Getreidefruchtfolgen nicht zwangsläufig eine Verstärkung der Resistenzproblematik bei Acker-Fuchsschwanz ergibt.

Stichwörter: ACCase-Hemmer, ALS-Hemmer, Clearfield-Raps, Herbizidwechsel, Zielortresistenz (TSR)

Abstract

The application of imazamox as an herbicide in oilseed-rape got possible due to the introduction of Clearfield oilseed-rape varieties which are tolerant to ALS inhibitors. The question of this investigation was, if the broader use of ALS-inhibitors increases the selection pressure on herbicide resistant weeds and increases their occurrence in the crop rotation. An outdoor container trial with 30 containers (350 l, 0,7 m²) was performed, starting in autumn 2011. A winter wheat – oilseed-rape rotation was simulated for four years. Three different black-grass biotypes with different resistance pattern and 5 different herbicide programmes were analysed in this study in order to investigate the population dynamics of target-site resistance (TSR) and the development of metabolic resistance.

The trials showed interactions between the black-grass biotype and the herbicide strategy on the increase of the black-grass density. There was no interaction due to the use of propyzamide. The frequency of target-site resistance to ACCase inhibitors increased for the corresponding biotypes independently of the herbicide strategy during the trial period. The low frequency of ALS-TSR at trial start did not change during the trial period, independently of the use of imazamox in the oil-seed rape cultivation. The comparison of the

resistance factors between the original biotypes and the seeds harvested after the four year container trial showed increasing resistances against pinoxaden for all biotypes. Within the different black-grass biotypes there was a slightly decrease as well as an increase in imazamox efficacy observed. There was no significant increase of meso- + iodosulfuron resistance compared to the original biotypes from 2011 caused by different herbicide treatments. The results indicated that the integration of imazamox tolerant oilseed rape in winter wheat crop rotations did not necessarily increase the development of herbicide resistant black-grass.

Keywords: ACCase inhibitor, ALS inhibitor, Clearfield oilseed-rape, herbicide rotation, target-site resistance (TSR)

Einleitung

Imazamox ist in Europa für den Einsatz in Raps mit einer Aufwandmenge von 12,5 bis 35 g a.i./ha zugelassen und gehört zu den ALS-Inhibitoren (HRAC-Klasse B). Die Hauptwirkung wird über die Aufnahme durch das Blatt bewirkt, während die Wirkung über den Boden von geringerer Bedeutung ist. Die Hauptmischpartner sind Metazachlor und Quinmerac. Beide Wirkstoffe ergänzen die Wirksamkeit von Imazamox gegenüber vielen wichtigen Unkräutern im Raps wie beispielsweise *Capsella bursa-pastoris*, *Lepidium draba*, *Bunias orientalis*, *Thlaspi arvense* und *Barbarea vulgaris*. Zusätzlich kontrollieren imazamox-haltige Herbizide auch Ausfallgetreide, so dass es eine Alternative für die Ausfallgetreide Kontrolle durch DIM/FOP (ACCCase-Hemmer, HRAC-Klasse A) gibt. Dies kann den Selektionsdruck durch ACCCase-Hemmer auf die Entwicklung resistenter Acker-Fuchsschwanz-Populationen verringern. Auf der anderen Seite wird es möglich ALS-Hemmer kontinuierlich in Getreide-Raps Fruchtfolgen und Zuckerrüben einzusetzen, was die Selektion auf ALS-resistente Populationen erhöhen kann (PRESTON, 2003; DÉLYE et al., 2007; MARECHAL et al., 2009).

Die vorliegende Studie untersuchte den Einfluss von imazamox-haltigen Herbiziden auf die Entwicklung von Herbizidresistenzen in einer zweigliedrigen Raps-Getreide Fruchtfolge. Anhand eines Gefäßversuchs im Freiland und begleitenden Gewächshausuntersuchungen wurden Veränderungen in der Populationsdichte, im Resistenzmuster und –grad bei drei verschiedenen Acker-Fuchsschwanz-Herkünften verfolgt. Weiter wurden anhand von Blattproben genetische Analysen auf Zielortresistenzen (TSR) durchgeführt, um die Veränderungen in den Frequenzen in Abhängigkeit der Herbizidstrategien zu erfassen.

Material und Methoden

Gefäßversuch im Freiland

Der Gefäßversuch im Freiland umfasste 30 Gefäße (0,7 m²), drei Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte, zwei Wiederholungen und fünf verschiedene Herbizidstrategien. Die drei Herkünfte („102“, „148“ und „201“) stammten von BASF und unterschieden sich bezüglich ihrer phäno- und genotypischen Resistenzmuster. Die Charakterisierung der Herkünfte vor Versuchsbeginn ist in Tabelle 1 dargestellt.

Zu Versuchsbeginn, im Oktober 2011 wurden 8,0 g Acker-Fuchsschwanz-Samen in einem 9:1 Verhältnis von sensitiven und resistenten Samen in die obere Bodenschicht (5–10 cm) jedes Gefäßes eingemischt. Zusätzliche 8,0 g Samengemisch mit gleichem Mischverhältnis wurden in Reihen zwischen die Kultur gesät. Dies diente der Etablierung eines Samenvorrates in jedem Gefäß. Als sensitiver Biotyp wurde der Wildtyp von Herbiseed (UK) verwendet. Die Fruchtfolge in den Gefäßen war eine zweigliedrige Winterweizen/Winterraps-Folge, beginnend mit Winterweizen im Jahr 2011. Die Herbizidmaßnahmen in den jeweiligen Kulturen sind in Tabelle 2 und 3 aufgeführt. Details zu der Applikationstechnik sind in Tabelle 4 dargestellt. Um einen Pollenaustausch zwischen den verschiedenen Gefäßen zu verhindern, wurden in jedem Jahr die Gefäße vor Beginn der Acker-Fuchsschwanz-Blüte bis zur Ernte entsprechend isoliert.

Tab. 1 Charakterisierung der Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte aus dem Gefäßversuch.

Tab. 1 Characterization of black-grass biotypes used in the outdoor container trial.

| Jahr | Nr. | Herkunft | Resistenzmechanismus | | | | | | | NTSR |
|------|------|----------|----------------------|------|------|-----|---------|------|-----|------|
| | | | ACCCase-TSR | | | | ALS-TSR | | 197 | |
| 1781 | 2027 | 2041 | 2078 | 2096 | 197 | 574 | | | | |
| 2010 | 102 | GB | 88 % | 0 % | 25 % | 5 % | 3 % | 11 % | 0 % | + |
| 2010 | 148 | DE | 0 % | 13 % | 0 % | 0 % | 13 % | 0 % | 0 % | + |
| 2010 | 201 | FR | 96 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | + |

% - Frequenz in der Population; + vorhanden

Tab. 2 Herbizidbehandlungen im Raps des Gefäßversuchs.

Tab. 2 Herbicide treatments for oilseed-raps in the container trial.

| Raps Behandlung | Produkt | Dosis | Wirkstoffe | BBCH Acker- Fuchsschwanz |
|--------------------|-----------------------|----------------------|---|-----------------------------|
| I | Butisan Gold | 2,5 l/ha | Metazachlor + Dimethenamid + Quinmerac | 09/10 |
| | Focus Ultra + Dash | 1,0 l/ha 1,0 l/ha | Cycloxydim | 14 |
| | Butisan Kombi | 2,5 l/ha | Metazachlor + Dimethenamid | 09/10 |
| II | BAS 831 00H + Dash | 1,0 l/ha 1,0 l/ha | Imazamox + Quinmerac | 14 |
| | Butisan Kombi | 2,5 l/ha | Metazachlor + Dimethenamid | 09/10 |
| III | BAS 831 00H + Dash | 1,0 l/ha 1,0 l/ha | Imazamox + Quinmerac | 14 |
| | Kerb flo | 1,875 l/ha | Propyzamid | 21/22 |
| | Vantiga + Dash | 2,0 l/ha 1,0 l/ha | Metazachlor + Imazamox + Quinmerac | 12 |
| IV | Focus Ultra + Dash | 1,0 l/ha 1,0 l/ha | Cycloxydim | 14 |
| | Vantiga + Dash | 2,0 l/ha 1,0 l/ha | Metazachlor + Imazamox + Quinmerac | 12 |
| V | Dash | 1,0 l/ha | Quinmerac | |
| | Kerb flo | 1,875 l/ha | Propyzamid | 21/22 |

Tab. 3 Herbizidbehandlungen im Wintergetreide des Gefäßversuchs.

Tab. 3 Herbicide treatments for winter wheat in the container trial.

| | Herkunft 201 | | | | | Herkunft 102 | | | | | Herkunft 148 | | | | |
|-------------------|--------------------|----|-----|----|---|--------------------------|----|-----|----|---|--------------------------|----|-----|----|---|
| WW 2011/12 | Axial 50 (80%)* | | | | | Atlantis WG (80%) + Dash | | | | | Atlantis WG (80%) + Dash | | | | |
| Raps 2012/13** | I | II | III | IV | V | I | II | III | IV | V | I | II | III | IV | V |
| WW 2013/14 | Atlantis WG (100%) | | | | | Axial 50 (100%) | | | | | Axial 50 (100%) | | | | |

*100% Axial 50 = 1,2 l/ha; 100% Atlantis WG = 500 g/ha

**Rapsbehandlung I, II, IV und V im Jahr 2012/13 wurden im Herbst mit Atlantis WG und zusätzlich mit 4,0 l/ha Malibu behandelt. Die Behandlung III wurde im Frühjahr nur mit Atlantis WG behandelt.

Tab. 4 Parameter der Herbizidapplikationen.*Tab. 4 Parameters of the herbicide applications.*

| | Gefäßversuch | Gewächshausversuch |
|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Düse | Air mix 110-025 Flat Fan | TEE JET 9502EVS |
| Wasservolumen | 200 l/ha | 250 l/ha |
| Druck | 2,1 bar | 2,5 bar |
| Geschwindigkeit | 4,5 km/h | 2,5 km/h |

Im Gefäßversuch wurden vor und nach den Herbizidbehandlungen die Anzahl lebender Acker-Fuchsschwanz-Pflanzen pro Gefäß bestimmt. Auch die Anzahl Acker-Fuchsschwanz-Ähren je Gefäß wurden in jedem Jahr gezählt. Zusätzlich zu den Zählungen wurden in jedem Versuchsjahr Blattproben von bis zu 10 überlebenden Acker-Fuchsschwanz-Pflanzen je Gefäß entnommen und auf die ACCase-Mutation 1781 und die ALS-Mutationen 197 und 574 untersucht. Aus den Ergebnissen der Blattproben wurde die Frequenz der TSR für das gesamte Gefäß errechnet. Im letzten Versuchsjahr 2015 wurden die gesamten Acker-Fuchsschwanz-Samen geerntet, um Dosis-Wirkungskurven im Gewächshaus im Vergleich zu den eingesetzten Acker-Fuchsschwanz-Herkünften vom Versuchsbeginn durchzuführen.

Dosis-Wirkungskurven im Gewächshausversuch

Um die Veränderung der Herbizidwirksamkeit in den drei Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte genauer zu untersuchen, wurden zu Versuchsende im Herbst 2015 Dosis-Wirkungskurven im Gewächshaus durchgeführt. Hierfür wurde das Ausgangssaatgut der drei Herkünfte parallel zu dem zu Versuchsende des Gefäßversuchs geernteten Saatgutes getestet. Untersucht wurden die drei Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte aus den Herbizidbehandlungen I, II und IV. Bei den Behandlungen III und V war aufgrund der Kerb flo-Behandlung nicht ausreichend Saatgut vorhanden. Weiter wurde eine sensitive Vergleichsherkunft mitgeführt, die auch zu Versuchsbeginn mit in die Gefäße eingesät wurde. Insgesamt wurden drei Herbizide, Axial 50, Atlantis WG und Pulsar 40 mit je sieben Dosierungen in sechsfacher Wiederholung getestet. Dabei wurden für die sensitive Herkunft niedrigere Dosierungen als für die resistenten Herkünfte gewählt (Tab. 5). Je Topf wurden fünf Pflanzen auf gedämpften Ackerboden (sandiger Lehm, pH-Wert 6,3, Anteil organischer Substanz ca. 2 %) angezogen und im BBCH 11-12 mit den Herbiziden behandelt. Für die Applikation wurde ein Spritzautomat der Firma Schachtner verwendet (Tab. 4). Einundzwanzig Tage nach der Applikation wurden die Frischgewichte der einzelnen Pflanzen gemessen und Dosis-Wirkungskurven nach STREIBIG (1988) mit der Statistiksoftware SAS berechnet. In Tabelle 4 sind die verwendeten Herbizide und Dosierungen aufgeführt.

Tab. 5 Herbizide und Dosierungen des Gewächshausversuchs.*Tab. 5 Herbicides and dosages used for the greenhouse trial.*

| Herbizid | Herkunft | Dosierungen (% der zugelassene Aufwandmenge) | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Axial 50 [1,2 l/ha]* | sen | 3,125 | 6,25 | 12,5 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| | res | 25 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 |
| Atlantis WG [500 g/ha]* | sen | 3,125 | 6,25 | 12,5 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| | res | 12,5 | 25 | 50 | 75 | 100 | 200 | 400 |
| Pulsar 40 [0,875 l/ha]** | sen | 6,25 | 12,5 | 25 | 50 | 75 | 100 | 200 |
| | res | 25 | 50 | 75 | 100 | 200 | 400 | 800 |

* in DE zugelassene Aufwandmenge (100 %); ** in Europa max. zugelassene Aufwandmenge (100 %)

Ergebnisse

Gefäßversuch im Freiland

Für den Vergleich der Acker-Fuchsschwanz-Dichte im Versuchsablauf wurde die Anzahl Acker-Fuchsschwanz-Ähren als Parameter bestimmt. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Ährenanzahl seit 2012 für Herkunft "102". Behandlung I und III führten zu einem Rückgang der Ährenanzahl seit Versuchsbeginn. Die anderen drei Behandlungen resultierten in einem starken Anstieg der Ährenzahlen pro Gefäß. Die Entwicklung bei Behandlung IV wurde sehr stark dadurch beeinflusst, dass in drei aufeinanderfolgenden Jahren ACCase-Hemmer zur Bekämpfung von ALOMY mit ACCase-TSR eingesetzt wurden. Von der im Raps begleitenden und im Nachauflauf durchgeführten Behandlung mit Vantiga+Dash kann bei diesem Acker-Fuchsschwanz-Druck keine ausreichende Unterstützung erwartet werden. Im Gegensatz dazu brachte Butisan Gold, eingesetzt im VA (Beh. I) die notwendige Unterstützung in der Gräserwirkung.

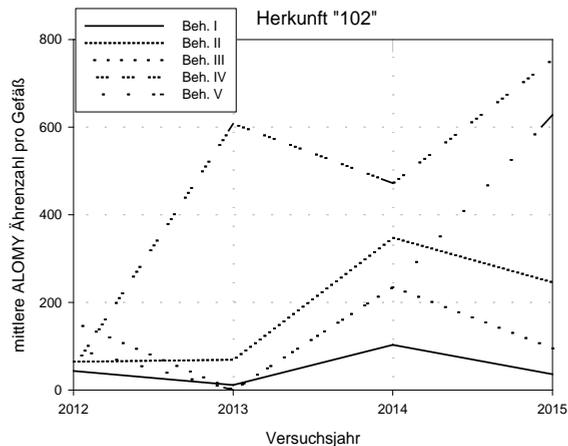


Abb. 1 Mittlere Anzahl Acker-Fuchsschwanz-Ähren pro Gefäß aller Versuchsjahre für Herkunft „102“.

Fig. 1 Mean value of black-grass heads per container of all years for biotype "102".

Bei Herkunft "148" führte Behandlung IV zu einem deutlichen Anstieg der Ährenanzahl zu Versuchsende 2015 (Abb. 2). Auch diese ALOMY-Herkunft wurde stark durch die drei aufeinander folgenden Jahre mit ACCase-Hemmern beeinflusst. Die im Nachauflauf durchgeführte Vantiga+Dash-Behandlung im Raps kann unter diesem Druck nicht ausreichend unterstützen. Mit Behandlung III konnte der Besatz fast vollständig kontrolliert werden, während die Verunkrautung nach Behandlung V nahezu gleich blieb. Behandlung I und II führten zu einem Anstieg der Ährenzahlen.

Für Herkunft "201" zeigte sich ein anderer Verlauf der Ährenzahlen über den Versuchszeitraum (Abb. 3). Aufgrund der in dieser Herkunft mit hoher Frequenz vorliegenden ACCase-TSR, konnte durch den Einsatz von Axial zu Beginn der Versuchsperiode keine ausreichende Wirkung erzielt werden. Dennoch wurde die Ährenzahl in den Folgejahren durch alle fünf Behandlungsvarianten und dem Einsatz von Atlantis in Winterweizen deutlich reduziert. Am besten kontrollierte Behandlung V diese Herkunft, gefolgt von Behandlung III und I.

Es zeigte sich, dass je nach Herkunft unterschiedliche Herbizidstrategien besser oder schlechter für die Kontrolle des Acker-Fuchsschwanzes geeignet waren. Gute Kontrolle konnte mit den Behandlungen III (Butisan Kombi + BAS 831 00H + Kerb flo) und V (Vantiga + Kerb flo) herkunftsübergreifend erzielt werden.

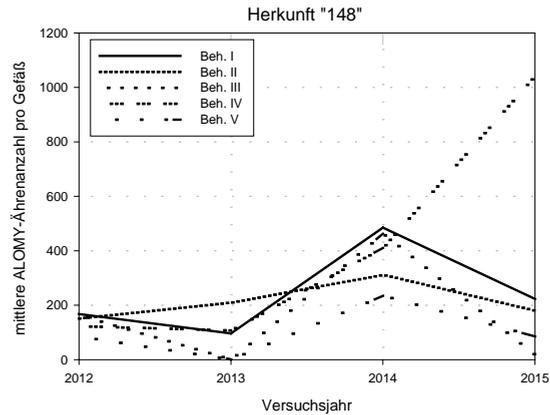


Abb. 2 Mittlere Anzahl Acker-Fuchsschwanz-Ähren pro Gefäß aller Versuchsjahre für Herkunft „148“.

Fig. 2 Mean value of black-grass heads per container of all years for biotype "148".

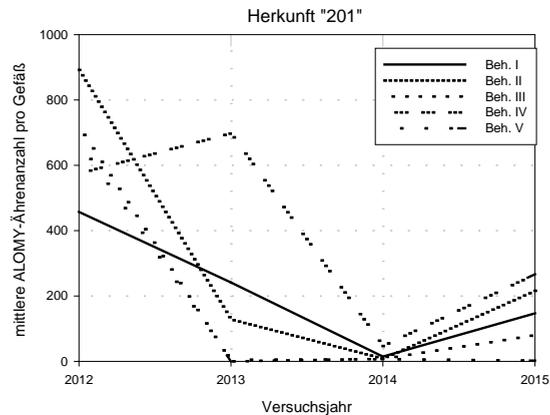


Abb. 3 Mittlere Anzahl Acker-Fuchsschwanz-Ähren pro Gefäß aller Versuchsjahre für Herkunft „201“.

Fig. 3 Mean value of black-grass heads per container of all years for biotype "201".

Genetische Resistenzanalyse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Frequenzentwicklung der Zielortresistenzen (TSR) aus den Jahren 2012 bis 2015 für jede Herkunft in Abhängigkeit der Behandlungsstrategie dargestellt. Da über die Jahre vornehmlich die Mutation 1781 im ACCase-Gen und kaum Mutationen im ALS-Gen (197 und 574) gefunden wurden, beschränkt sich die Darstellung auf die ACCase-Mutation 1781. In Tabelle 6 sind die Frequenzen der 1781-TSR für die drei Acker-Fuchsschwanzherkünfte und die verschiedenen Herbizidstrategien aufgeführt. Sie beziehen sich auf die detektierte Frequenz im Jahr 2012.

Für Herkunft „102“ wurde in allen Herbizidstrategien mit Ausnahme von Behandlung III eine deutliche Zunahme der Zielortresistenz von einer auf 241 Pflanzen je Gefäß (Behandlung IV) verzeichnet. Weder die „normale“ Herbizidstrategie, noch die Clearfield-Strategie konnten die Selektion der ACCase-TSR verhindern oder verlangsamen. Am besten konnte die Zunahme der 1781 TSR bei der Herkunft „102“ mit 2,5 l/ha Butisan Kombi + 1,0 l/ha BAS 831 00H + 1,0 l/ha Dash + 1,875 l/ha Kerb flo (Beh. III) gedämmt werden. Dieses Ergebnis ist im Wesentlichen auf das

Zusammenwirken von Butisan Kombi im VA und Kerb flo im NA zurückzuführen. Bei fehlender Unterstützung durch Metazachlor im VA (Beh. V) verliert auch Kerb flo an Wirkung.

Bei der Acker-Fuchsschwanz-Herkunft „148“ nahm die 1781 TSR nach allen Behandlungsstrategien zu. Zu Versuchsende 2015 waren die TSR-Frequenzen um ein Vielfaches gegenüber der Ausgangsfrequenz gestiegen (Tab. 6). Die „normalen“ Kontrollstrategie (Beh. I) bewirkte keine ausreichende Resistenzkontrolle bei Herkunft „148“. Auch Behandlung II und IV reduzierten die Zielortresistenzen nicht. Die meisten 1781-TSR Pflanzen wurden nach Behandlung IV gefunden. Die Ergebnisse für Herkunft „148“ weisen auf eine deutliche Selektion der ACCase-TSR hin. Da dies wegen der geringen Ausgangs-TSR-Frequenz überraschende Ergebnisse sind, liegt den Schluss nahe, dass die Bestimmung der Ausgangsfrequenzen nicht im ausreichenden Umfang erfolgte und eventuell insgesamt höhere ACCase-TSR Frequenzen in den Populationen vorhanden waren.

Die Ergebnisse der genetischen Analyse für Herkunft „201“ zeigten, dass bei dieser Acker-Fuchsschwanzherkunft eine Reduktion der 1781-TSR, im Vergleich zu 2012 möglich war. Bei allen Herbizidstrategien, ausgenommen Behandlung IV, waren 2015 weniger Pflanzen mit 1781-TSR in den Gefäßen als im Jahr 2012. Herkunft „201“ wurde am besten mit der Herbizidstrategie V kontrolliert (6,8 % TSR 2015) (2,0 l/ha Vantiga + 1,875 l/ha Kerb flo). Auch Behandlung III konnte die hohe Anzahl 1781-TSR stark reduzieren (16,5 %). Die Kombination von Butisan Kombi + BAS 831 00H + Dash + Kerb flo scheint ein geeignetes Verfahren, um auf hohe Zielortresistenzdichte zu reagieren. Vorausgesetzt, die Kerb flo-Behandlung kann zuverlässig durchgeführt werden.

Tab. 6 Entwicklung der Pflanzen mit ACCase-Zielortresistenz an der Position 1781 von 2012 bis 2015 in Abhängigkeit von Acker-Fuchsschwanz-Herkunft und Herbizidstrategie.

Tab. 6 Development of plant density with ACCase target-site resistance at position 1781 from 2012 to 2015 depending of black-grass population and herbicide treatment.

| Herkunft | Herbizid- behandlung | Anzahl Pflanzen mit ACCase Mutation (Pos. 1781) je Gefäß | | | |
|----------|-------------------------|--|-------|-------|-------|
| | | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| 102 | I | 12,6 | 18,6 | 13,6 | 23,6 |
| | II | 2,8 | 15,9 | 54,5 | 45,6 |
| | III | 13,2 | 0* | 68,5 | 4,9 |
| | IV | 1,1 | 117,2 | 70,0 | 241,7 |
| | V | 7,8 | 0* | 27,5 | 56,4 |
| 148 | I | 4,4 | 35,2 | 10,1 | 81,4 |
| | II | 2,8 | 0,9 | 28,5 | 55,5 |
| | III | 1,4 | 0* | 105,3 | 10,0 |
| | IV | 2,3 | 36,6 | 23,0 | 165,3 |
| | V | 0,9 | 0* | 55,1 | 18,2 |
| 201 | I | 42,8 | 109,1 | 5,1 | 26,5 |
| | II | 47,4 | 78,7 | 0,9 | 28,4 |
| | III | 60,8 | 0 | 307,6 | 10,3 |
| | IV | 49,9 | 280,4 | 12,5 | 78,8 |
| | V | 43,9 | 1,8 | 213,4 | 3,1 |

* keine überlebenden Pflanzen für Beprobung vorhanden

Dosis-Wirkungskurven im Gewächshaus

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der Dosis-Wirkungsversuche der getesteten Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte aufgeführt. Der ED₅₀-Wert gibt die Herbizidmenge (in g oder l/ha formuliertes Produkt) an, die notwendig ist, um die Pflanzenfrischmasse um 50 % zu reduzieren. Der Resistenzfaktor (RF) stellt den ED₅₀-Wert der resistenten Herkünfte ins Verhältnis zu dem sensitiven Biotyp (RF = ED₅₀ res/ED₅₀ sen).

Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Steigerung der Pinoxaden-Resistenz bei der Acker-Fuchsschwanz-Herkunft „102“. Der ED₅₀-Wert stieg bei allen Behandlungen während des 4-jährigen Gefäßversuchs. Am stärksten erhöhte sich der ED₅₀-Wert für Pinoxaden durch Behandlung

I (ED_{50} =180 g/ha). Auch für die Acker-Fuchsschwanz-Herkunft „148“ zeigte der Gewächshausversuch für alle Behandlungen steigende ED_{50} -Werte gegenüber Pinoxaden. Auch hier stiegen die ED_{50} -Werte über die zugelassene Aufwandmenge. Die deutlichste Steigerung war nach Behandlung I zu verzeichnen (ED_{50} =126 g/ha). Für die Acker-Fuchsschwanz-Herkunft „201“ zeigte sich schon zu Versuchsbeginn eine stärkere Axial-Resistenz (ED_{50} =81,5 g/ha). Diese verschärfte sich durch Behandlung I und IV auf einen ED_{50} -Wert von bis zu 154,5 g/ha. Lediglich Behandlung II führte zu einer Abnahme des ED_{50} -Wertes.

Die Wirkung von Meso- + Iodosulfuron variierte zwischen den Herkünften. Eine Abnahme des ED_{50} -Wertes war bei allen drei ALOMY Herkünften durch Behandlung I zu beobachten (Tab. 7). Behandlung II und IV führten je nach Herkunft zu unterschiedlichen Ergebnissen. Mit Ausnahme von Behandlung IV, bei Herkunft „102“, wurde die Sensitivität der verschiedenen Herkünfte gegenüber Atlantis WG nicht negativ durch die im Prüfprogramm durchgeführten Herbizidbehandlungen beeinflusst. Jedoch lag der ED_{50} -Wert aller Herkünfte, unabhängig von den Behandlungen in den Gefäßen weit unter der zugelassenen Aufwandmenge.

Die Wirkung von Imazamox entwickelte sich für die einzelnen ALOMY Herkünfte unterschiedlich. Während bei Herkunft „102“ alle Behandlungen zu einer Zunahme des ED_{50} -Wertes führten, reduzierte sich der ED_{50} -Wert bei Herkunft „148“ nach Behandlung I leicht. Bei Herkunft „201“ konnte nach Behandlung I und II eine Reduzierung des ED_{50} -Wertes nachgewiesen werden.

Tab. 7 ED_{50} -Werte in l/ha bzw. g/ha und Resistenzfaktoren (RF) dreier Herbizide von den drei eingesetzten Acker-Fuchsschwanz-Herkünften im Vergleich vor Versuchsbeginn und nach vier Jahren unterschiedlicher Herbizidstrategien.

Tab. 7 ED_{50} -values in l/ha; g/ha and resistance factors (RF) of three herbicides and three black-grass populations in comparison before and at the end of the four years trial period with different herbicide programs.

| Herkunft | Herbizid-behandlung im Gefäßversuch | Axial 50 (Pinoxaden) | | Atlantis WG (Meso-+Iodosulfuron) | | Pulsar 40 (Imazamox) | |
|----------|-------------------------------------|----------------------|------|----------------------------------|-----|----------------------|-----|
| | | ED_{50} ** | RF | ED_{50} | RF | ED_{50} | RF |
| sensitiv | - | 0,15 | 1,0 | 12,77 | 1,0 | 0,13 | 1,0 |
| 102 | 0* | 0,78 | 5,4 | 25,18 | 2,0 | 0,35 | 2,8 |
| | I | 3,80 | 26,2 | 24,69 | 1,9 | 0,61 | 4,8 |
| | II | 1,40 | 9,6 | 11,57 | 0,9 | 0,43 | 3,4 |
| | IV | 1,99 | 13,7 | 57,37 | 4,5 | 1,01 | 7,9 |
| 148 | 0* | 0,54 | 3,7 | 33,61 | 2,6 | 0,53 | 4,1 |
| | I | 2,52 | 17,3 | 29,05 | 2,3 | 0,49 | 3,9 |
| | II | 1,52 | 10,4 | 29,51 | 2,3 | 0,76 | 6,0 |
| | IV | 1,98 | 13,6 | 29,44 | 2,3 | 0,60 | 4,7 |
| 201 | 0* | 1,63 | 11,2 | 25,95 | 2,0 | 0,39 | 3,1 |
| | I | 2,40 | 16,5 | 15,96 | 1,2 | 0,37 | 2,9 |
| | II | 1,02 | 7,0 | 29,03 | 2,3 | 0,26 | 2,1 |
| | IV | 3,09 | 21,3 | 9,38 | 0,7 | 0,59 | 4,6 |

*Ausgangssaatgut 2011 vor Versuchsbeginn

** in l bzw. g/ha formuliertes Produkt

Diskussion

Zusammenfassend kann mit den vorliegenden Ergebnissen deutlich gemacht werden, dass die erfolgreiche Kontrolle von resistentem Acker-Fuchsschwanz innerhalb und außerhalb Imazamox-toleranten Rapssorten schwierig wird, wenn keine Kerb flo-Behandlung im Herbst/Winter durchgeführt werden kann. Wie mit Behandlung I und II gezeigt wurde, genügt die Kombination eines Vor- und Nachauflauferbizides bei dem Vorkommen von entsprechend resistenten Acker-Fuchsschwanz-Herkünften nicht, um ausreichende Wirkungsgrade zu erzielen. Dies gilt auch für die Behandlung mit zwei Nachauflauferbiziden (Behandlung IV) und trifft für alle drei getesteten

Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte gleichermaßen zu. Vergleicht man die beiden Rapsanbaujahre 2013 und 2015 miteinander, zeigt sich für zwei der drei Acker-Fuchsschwanz-Herkünfte nach allen fünf Behandlungsstrategien eine steigende Anzahl von Pflanzen mit ACCase-TSR. Dies deutet auf einen fortschreitenden Selektionsprozess während des Versuchszeitraums hin (MARECHAL et al., 2009), die auch durch eingesetzte alternative Wirkungsweise in der Winterweizenanbauperiode nicht aufgehalten werden konnte.

Abhängig von der Acker-Fuchsschwanz-Herkunft zeigten sich unterschiedliche Herbizidstrategien als mehr oder weniger gut geeignet, um auf Resistenzen zu reagieren. Bemerkenswert ist, dass der Rückgang der Ährenzahlen nicht der geeignete Parameter für die Bewertung des Kontrollerfolgs zu sein scheint, da Behandlungen, die zu einem Rückgang der Ähren nicht gleichermaßen zu einem Rückgang von Zielortresistenzen führten. Dies zeigte sich bei der Herkunft „102“ bei dem die Behandlungen I und II einen Rückgang der Ähren, aber auch eine Zunahme von TSR (1718-ACCCase) bewirkten. Herkunft übergreifend kann aus dem vorliegenden Untersuchungen abgeleitet werden, dass eine wirksame Bekämpfung von resistenten Acker-Fuchsschwanz aus 2,5 l/ha Butisan Kombi + 1,0 l/ha BAS 831 00H + 1,0 l/ha Dash + 1,875 l/ha Kerb flo empfohlen werden kann. Insgesamt spielt Kerb flo eine entscheidende Rolle bei der wirksamen Bekämpfung von resistenten Acker-Fuchsschwanz, unabhängig davon, welches Anbausystem gewählt wurde. Jedoch darf das Resistenzmanagement nicht allein auf den Einsatz von Kerb flo abzielen, da dieser witterungsbedingt oft schwer umsetzbar ist. Nicht zu empfehlen ist die reine Nachauflaufbehandlung mit 2,0 l/ha Vantiga + 1,0 l/ha Focus Ultra + 1,0 l/ha Dash. Diese Behandlung führte bei allen drei Acker-Fuchsschwanz-Herkünften zu einer starken Zunahme der Ährenzahl und der ACCase-Zielortresistenzfunde, da die Metazachlor-Wirkung zu dem späten Anwendungstermin gering ausfällt und die 12,5 g/ha Imazamox dies nicht ausreichend kompensieren können.

Die zu Versuchsende durchgeführten Gewächshausversuche belegten eine starke Zunahme der Pinoxaden-Resistenz bei allen Herkünften bedingt durch die steigenden ACCase-TSR-Funde, während die Wirksamkeit von Imazamox über den Versuchszeitraum nur leicht abnahm. Allerdings war diese Abnahme nicht in allen Herkünften/Herbizidstrategien zu erkennen, jedoch deutlich geringer ausgeprägt als bei Pinoxaden. Wirksamkeitsunterschiede zwischen den Zeitpunkten vor und nach der 4-jährigen Periode konnten bei der Wirkstoffkombination Meso- + Iodosulfuron nicht festgestellt werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigten, dass die Befolgung der bekannten Resistenzmanagement-Maßnahmen (MOSS und CLARKE, 1994) erforderlich ist, um schnelle Resistenzselektionen zu verhindern. Weiter konnte der Einfluss von Imazamox-haltigen Herbiziden auf die Selektion resistenter Acker-Fuchsschwanz-Pflanzen durch die vorliegende Studie nicht belegt werden, da der Anteil von ALS-TSR über den ganzen Versuchszeitraum zu gering war. Grundsätzlich birgt die Vereinfachung von Anbausystemen und die Einschränkung der Herbizidwirkstoffe die Gefahr der rascheren Resistenzselektion (CHAUVEL et al., 2001).

Literatur

- CHAUVEL, B., J.P. GUILLEMIN, N. COLBACH. und J. Gasquez, 2001: Evaluation of cropping systems for management of herbicide-resistant populations of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop Protection* **20**, 127-137.
- DÉLYE, C., Y. MENCHARI, J.P. GUILLEMIN, A. MATÉJICEK, A. MICHEL, C. CAMILLERI. und B. CHAUVEL, 2007: Status of black-grass (*Alopecurus myosuroides*) resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase inhibitors in France. *Weed Research* **47**, 95-105.
- MARECHAL, P.Y., F. HENRIET und B. BOSDON, 2009: Treatment influence on herbicide resistance level of Belgian *Alopecurus myosuroides* populations (black-grass). *Communications in Agricultural and Applied Biological Science* **74**, 505-514.
- MOSS, S.R. und J.H. CLARKE, 1994: Guidelines for the prevention and control of herbicide-resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop Protection* **13**, 230-234.
- PRESTON, C., 2003: Growing herbicide tolerant canola – managing weeds and preventing problems. *Proceedings of the 2003 Victorian Cropping Systems Update, February 19 & 20, 2003.* (Eds Kaminskas D. and S. Rawlings), South Australia, Jon Lamb Communications, 140-141.
- STREIBIG, J.C., 1988. Herbicide bioassay. *Weed Research* **28**, 479-484.

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

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

Klaus Gehring*, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz,

Lange Point 10, 85354 Freising-Weihenstephan

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



DOI 10.5073/jka.2016.452.054

Zusammenfassung

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

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

Stichwörter: Kreuzresistenz, multiple Resistenz, Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung

Abstract

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

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

Einleitung

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

Material und Methoden

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

Tab. 1 Im Resistenztest eingesetzte Herbizide.

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

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

^{*}) präparatespezifischer Formulierungshilfsstoff

= Prüfkonzentration angewendet, - = Prüfkonzentration nicht angewendet

BBCH = Skala für das phänologische Pflanzenentwicklungsstadium

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

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

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

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

Ergebnisse

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

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

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

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

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

*) präparatespezifischer Formulierungshilfsstoff

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

Tab. 3 Häufigkeit der Herbizidresistenz je nach Wirkmechanismusgruppe.

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

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

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

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

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

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

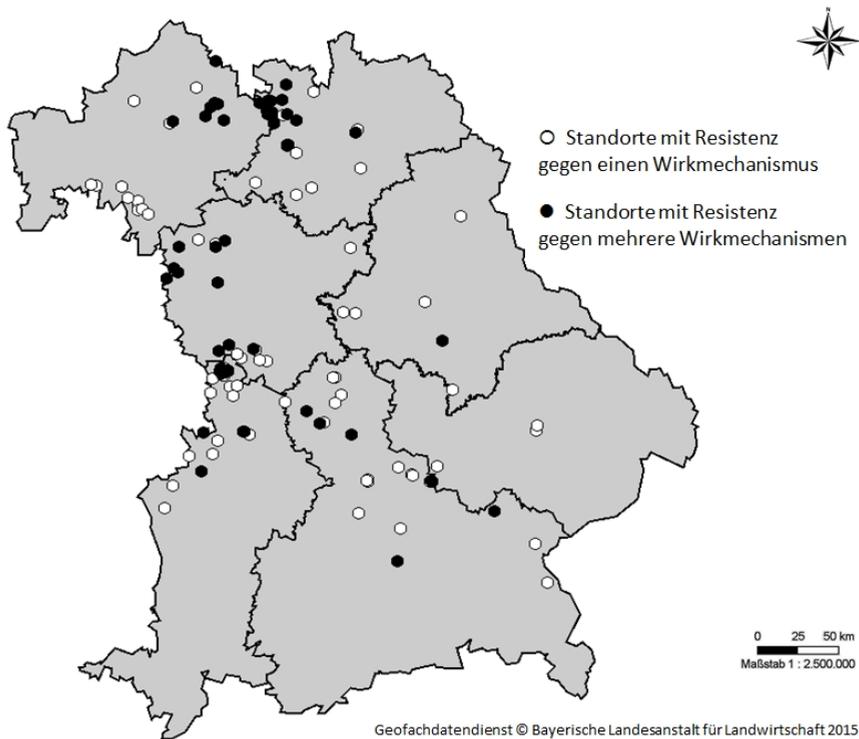


Abb. 1 Regionale Verteilung von Acker-Fuchsschwanz-Biotypen mit Einfach- und Kreuzresistenz gegen einen oder mehrere Wirkmechanismen.

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

Diskussion

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

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

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

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

Literatur

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

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

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

Klaus Gehring*, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz,

Lange Point 10, 85354 Freising-Weihenstephan

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



DOI 10.5073/jka.2016.452.055

Zusammenfassung

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

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

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

Stichwörter: Biotest, Kreuzresistenz, Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung

Abstract

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

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

Einleitung

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

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

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

Material und Methoden

Die Herbizidresistenz von Verdachtsproben aus der Anbaupraxis und von systematischen Monitoringproben wurde in einem Biotest unter kontrollierten Umweltbedingungen untersucht. Die Samenproben wurden mit einem Saugluft-Stufensichter (Fab. Pelz, Typ 2) aufbereitet. Anschließend wurde die Keimfähigkeit nach ISTA-Methode ermittelt. Die Aussaat erfolgte flächig mit einem Mikrolöffel auf Pflanztopfträgerplatten (10 Töpfe mit 4,5 cm Durchmesser). Die Saatstärke wurde so eingestellt, dass nach der Korngröße und Keimfähigkeit der jeweiligen Herkünfte ein relativ gleichmäßiger Pflanzenbestand im Vergleich aller im Test befindlichen Prüferkünfte erreicht wurde. Als Substrat wurde ein natürlicher Mineralboden vom Standort Freising verwendet (Parabraunerde aus Lößlehm, 2,8 % organische Substanz, pH 7,2). Die auf den mit Feinbodenmaterial befüllten Töpfen aufgebrachten Samen wurden mit einem grobkörnigeren Material desselben Bodens abgedeckt, um eine Austrocknung zu verhindern, aber dennoch einen Lichtreiz auf den Keimling zu ermöglichen. Die Befeuchtung erfolgte durch regelmäßiges Gießen und im Anstauverfahren zur gleichmäßigen Durchfeuchtung der Pflanztöpfe. Nach Bedarf wurde i.d.R. eine einmalige Düngung mit Flüssigdünger (Wuxal® 8-8-6, 100 ml/10 l Gießwasser) mit der Bewässerung vorgenommen. Die Anzucht bis zur Herbizidbehandlung fand in einer Starklichtklimakammer (Typ York® 520284) statt. Bei einer Tag:Nacht-Phase von 12:12 Stunden wurde die Temperatur in einem Bereich von 20 °C am Tag bis 12 °C in der Nachtperiode und die Lichtintensität in einem Bereich von 0-70000 Lux (Lampen Typ Phillips® MT400LE/U, Weißlicht mit tageslichtähnlichem Vollspektrum, 400 µmol PAR/m²*s) geregelt. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde auf konstant 85 % gehalten.

Die Applikation erfolgte je nach zu prüfenden Herbizid unmittelbar nach der Einsaat und Befeuchtung im Voraufverfahren (BBCH 00) bzw. nach einer Anzuchtperiode von ca. 10-14 Tagen im Entwicklungsstadium BBCH 10-12. Hierfür wurde eine linearangetriebene Laborspritzbahn (Fab. Schachtner) verwendet. Die Applikationskabine war mit Flachstrahldüsen vom Typ TeeJet® 8001EVS ausgestattet. Bei einem Spritzdruck von 2,5 bar und einer Geschwindigkeit von 2,0 km/h betrug die Wasseraufwandmenge 200 l/ha. Bei den durchgeführten Dosis-Wirkungsversuchen wurde mit 2 bis 3 Konzentrationsstufen der eingesetzten Herbizide gearbeitet. Dabei entsprach eine der geprüften Konzentrationen der zugelassenen Standarddosis des jeweiligen Herbizids. Die Dosierung wurde so gewählt, dass bei der sensitiven Vergleichsherkunft ein mittlerer Wirkungsgrad im Bereich von 85-95 % erzielt wurde. Die Behandlungen wurden mit vier bis fünf Wiederholungen durchgeführt.

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

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

*) präparatespezifischer Formulierungshilfsstoff

 = Prüfkonzentration angewendet, - = Prüfkonzentration nicht angewendet

BBCH = Skala für das phänologische Pflanzenentwicklungsstadium

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

Für die Bewertung der Herbizidsensitivität der Prüferkünfte wurde eine Resistenzklassifikation verwendet (CLARKE et al., 1994). Das Bewertungssystem beruht auf der Ermittlung von fünf Resistenzklassen. Diese ergeben sich aus dem Wirkungsunterschied zwischen einer im jeweiligen Versuch mit geprüften sensitiven und einer resistenten Vergleichsherkunft. Hierdurch können die Auswirkungen von Umwelteinflüssen bei der Versuchsdurchführung auf die Resistenzbewertung verringert werden. Für die Wirkungseinstufung wurden primär die Frischmasseergebnisse aus der Behandlung mit der Standarddosis verwendet. Bei einem Wirkungsergebnis in der Stufe 1 liegt die Herbizidsensitivität der jeweiligen Prüferkunft im Bereich der sensitiven Vergleichsherkunft. Ab der Stufe 2 dieser Klassifikation werden 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 bis 5 erreichten, wurden gegenüber dem jeweiligen Herbizid als resistent bis hoch resistent eingestuft.

Ergebnisse

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

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

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

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

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

*) präparatespezifischer Formulierungshilfsstoff

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

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

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

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

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

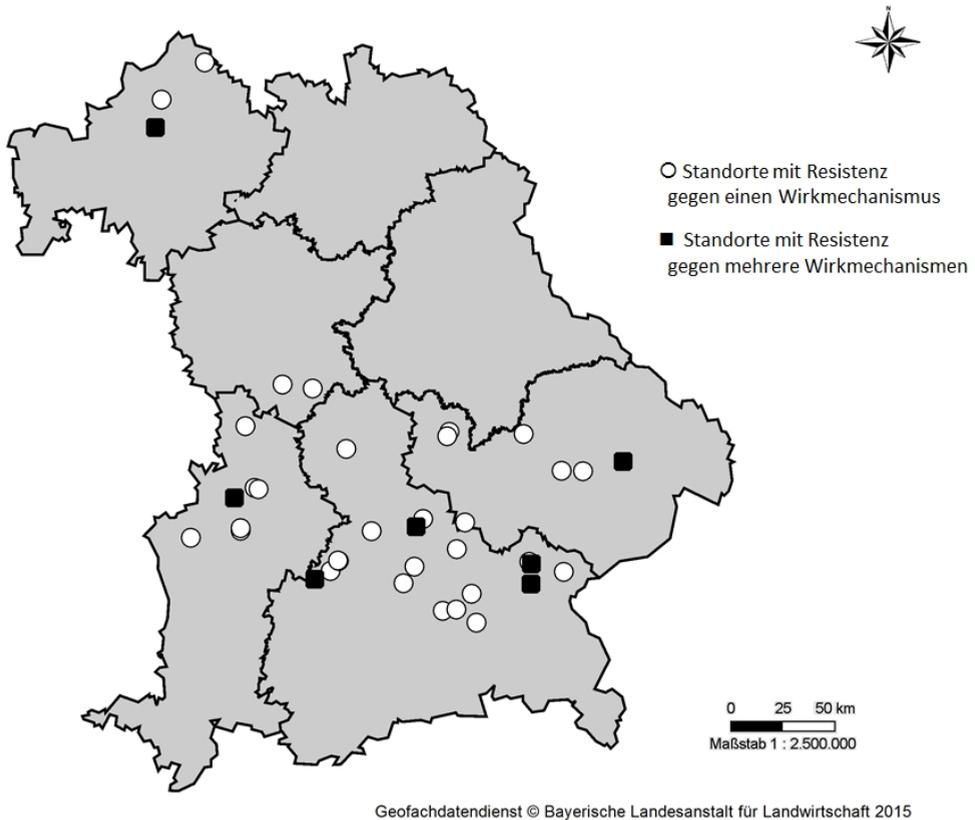


Abb. 1 Windhalm-Resistenz in Bayern – regionale Verteilung von Biotypen mit Einfach- und Kreuzresistenz gegen einen oder mehrere Wirkmechanismen.

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

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

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

Diskussion

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

Literatur

- AUGUSTIN, B., 2010: Windhalm-Herkunft aus Rheinland-Pfalz mit multipler Herbizidresistenz. Julius-Kühn-Archiv, **428**, 271-272.
- CLARKE, J.H., A.M. BLAIR und S.R. MOSS, 1994: The testing and classification of herbicide resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass). Aspects of Applied Biology **37**, 181-188.
- GEHRING, K., 2014: Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern. Getreidemagazin **19**, 1/2014, 8-14.
- GEHRING, K., 2015: Herbizidresistenz – Bevor es ganz zu spät ist. DLG-Mitteilungen, Sonderheft, Mai 2015, 4-7.
- GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT und C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2012: Prinzipien einer Anti-Resistenzstrategie bei der Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* aus Sicht des Pflanzenschutzdienstes. Julius-Kühn-Archiv, **434**, 89-101.
- GEHRING, K., T. FESTNER und S. THYSSEN, 2010: Herbizidresistenz bei *Alopecurus myosuroides* Huds. (Ackerfuchsschwanz) und *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Windhalm) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **428**, 270-271.
- GEHRING, K., T. FESTNER und S. THYSSEN, 2012: Herbizidresistenz bei *Apera spica-venti* L. in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **434**, 133-137.
- GEHRING, K., T. FESTNER und S. THYSSEN, 2014: Entwicklung der Herbizidresistenz bei Windhalm (*Apera spica-venti*) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **447**, 551-552.
- IDENTXX, 2015: Molekulargenetische Untersuchung zur Wirkortresistenz bei Windhalm. Unveröffentlicht.
- RAFFEL, H., J. PETERSEN, J. GORNIK und D. KAUNDUN, 2010: Ungrasresistenz – was müssen wir tun um die Leistungsfähigkeit von Wirkstoffen zu erhalten? Julius-Kühn-Archiv **428**, 274.

Sektion 7: Unkrautmanagement ohne Herbizide

Section 7: Weed management without herbicides

Comparison of different cover crop mulches and extracts on inhibition of crop and weed growth

Vergleich verschiedener Zwischenfrucht-Extrakte und Mulch hinsichtlich der Wachstumshemmung von Kulturpflanzen und Unkräutern

Dominic Johannes Sturm^{*}, Roland Gerhards

Department of Weed Science, Institute of Phytomedicine,
University of Hohenheim, Otto-Sander-Str. 5, 70599 Stuttgart, Germany
^{*}Corresponding author, dominic_sturm@uni-hohenheim.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.056

Abstract

Weed suppression of cover crops is a result of competition for light, space, water and nutrients and the release of allelochemicals in the soil. Two laboratory and greenhouse experiments were conducted to analyse biochemical effects of extracts and mulches of *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn., *Raphanus sativus* var. *oleiformis* Pers. and a cover crop mixture on germination and plant growth of the crop plants maize (*Zea mays* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *altissima* Döll.) and the weeds *Chenopodium album* L., *Matricaria chamomilla* L. and *Stellaria media* (L.) Vill. In the first experiment, aqueous cover crop extracts were applied on crop and weed seeds in germination assays. Germination rate, mean germination time and root length of crops and weeds were measured. In experiment 2, the influence of cover crop mulch on germination rate and dry weight of the test plants was determined after a period of 21 days. Significant reductions of the root length for all test plants were observed in experiment 1. Additionally, mean germination time was extended for crops and weeds by all cover crops. Germination rate and dry matter of crops and weeds were decreased significantly in experiment 2 compared to the untreated control. Root length, germination rate and mean germination time in germination tests in experiment 1 were found to be correlated with biomass of crops and weeds in experiment 2. This work reveals the important role of biochemical effects on weed suppression by cover crops.

Keywords: Allelopathy, cover crops, germination tests, mulch, weed suppression

Zusammenfassung

Die Unterdrückung von Unkräutern durch Zwischenfrüchte kann auf die hohe Konkurrenzkraft um Licht, Raum, Wasser und Nährstoffe, sowie die Abgabe von Allelochemikalien in die Umwelt zurückgeführt werden. Zwei Labor- und Gewächshaus-Versuche wurden durchgeführt, um biochemische Effekte von wässrigen Extrakten und Mulch aus *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn., *Raphanus sativus* var. *oleiformis* Pers. und einer Zwischenfrucht-Mischung auf die Keimung und das Wachstum von Mais (*Zea mays* L.), Zuckerrübe (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *altissima* Döll.) und Unkräutern (*Chenopodium album* L., *Matricaria chamomilla* L., *Stellaria media* (L.) Vill.) zu untersuchen. Im ersten Experiment wurden wässrige Zwischenfrucht-Extrakte in Keimtests auf Kulturpflanzen und Unkräuter appliziert. Die Keimfähigkeit, durchschnittliche Keimdauer und Wurzellänge von Kulturpflanzen und Unkräutern wurden untersucht. In Experiment 2 wurde der Einfluss von Zwischenfrucht-Mulch auf Keimrate und Trockenmasse der Versuchspflanzen untersucht. Die Wurzellänge aller Versuchspflanzen konnte in Experiment 1 signifikant reduziert werden. Zudem wurde die durchschnittliche Keimdauer für Kulturpflanzen und Unkräuter signifikant erhöht. In Experiment 2 wurden Keimfähigkeit und Trockenmasse durch die Aussaat in Zwischenfrucht-Mulch im Vergleich zur Kontrolle signifikant verringert. Wurzellänge, Keimfähigkeit und durchschnittliche Keimdauer aus den Keimtests in Experiment 1 konnten mit der Biomasse der Kulturpflanzen und Unkräuter aus Experiment 2 korreliert werden. Diese Studie weist auf die bedeutende Rolle der biochemischen Effekte von Zwischenfrüchten zur Unkrautunterdrückung hin.

Stichwörter: Allelopathie, Keimtest, Mulch, Unkrautunterdrückung, Zwischenfrüchte

Introduction

Cultivation of cover crops enhances the sustainability in agricultural systems because of its contributions to soil fertility and crop performance (TEASDALE, 1996). Even more, benefits include reduced soil erosion and leaching of nitrate, improved composition of soil organic matter and weed control (KRUIDHOF et al., 2009). The weed suppressing ability of cover crops can be attributed to their fast emergence, early development and high competitiveness for light, water, space and nutrients (RUEDA-AYALA et al., 2015). After vegetation, winter annual cover crop residues can affect weed germination and establishment by altering the seed environment through changes in light availability (TEASDALE, 1996), soil temperature (TEASDALE and MOHLER, 1993; KRUIDHOF et al., 2009), soil moisture (TEASDALE and MOHLER, 1993) and other types of interference as allelopathy (JABRAN et al., 2015). Allelopathy is defined as any process involving secondary metabolites produced by plants, algae, bacteria and fungi that influences the growth and development of agricultural and biological systems (REIGOSA et al., 2006). Phytotoxic compounds are introduced in the environment during active plant growth, via leachates or root exudation, or by decomposition of biomass as cover crop mulch (BERTIN et al., 2003; WEIR et al., 2004). Various cover crop species own different inhibitory potentials due to differences in morphology, physiology as well as quality and quantity of allelochemicals. Observed weed suppression of cover crops within the field were combined effects of allelopathy, competition and mulching effects. Therefore, the knowledge about the contribution of different underlying mechanisms to weed suppression is lacking, so far. The objectives of this study were to analyse if (i) different cover crop mulches and extracts affect germination, mean germination time, root length and biomass of crops and weeds; if (ii) the suppressing effects vary in between crops and weeds and if (iii) biochemical effects can be separated from mulching effects in regard to weed suppression ability of cover crops.

Materials and Methods

All experiments were conducted in 2015 with two single cover crops (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn., *Raphanus sativus* var. *oleiformis* Pers.) and a cover crop mixture (Tab. 1). The effect of cover crop treatment was tested on two crops (*Zea mays* L., *Beta vulgaris*.) and three weeds (*Chenopodium album* L., *Matricaria chamomilla* L., *Stellaria media* (L.) Vill.). The cover crops were seeded separately in six 5 L pots each, containing a soil mixture of 50% compost, 25% loam and 25% sand using recommended sowing rates (Tab. 1). All cover crops were harvested after a period of 10 weeks. Untreated control soil for experiment 2 without cover crops was prepared. All pots were irrigated daily and fertilized with 2 g N-P-K (14-7-17) every two weeks.

Experiment 1

Germination tests with aqueous cover crop extracts were conducted to evaluate their biochemical effects on crops and weeds. Fresh cover crop material was chopped and grinded into powder using liquid nitrogen. Deionized water was added to reach a concentration of 0.125 g fresh plant matter per ml H₂O. After agitation (24 h, 200 rpm) at room temperature (RT), extracts were centrifuged (4500 rpm, 10 min, RT) and poured into a Büchner funnel lined with nylon filter (1,2 µm). Deionized water was used as untreated control (0 mg ml⁻¹). 6 seeds of crop plants and 30 seeds of weeds were placed separately on filter paper in petri dishes (60 mm) and 3 ml of extract were applied. The petri dishes were sealed (Parafilm M®) and stored in a climate chamber at 12 h/12 h day/night length with temperatures of 20 °C/15 °C for a period of 10 days.

Experiment 2

Above-ground biomass of cover crops was chopped and mixed with their previous growth medium. Mulch-soil mixtures were filled in pots (12 cm³) and 10 seeds of crops and 200 seeds of weeds were seeded separately. The pots were covered with 2 mm of the respective mulch-soil mixture and were irrigated daily.

Data collection

In experiment 1, germination rate and root length were measured after a period of 10 days. Additionally, mean germination time (MGT) was calculated after ELLIS and ROBERTS (1980). In the greenhouse experiment, germination rate was recorded and above-ground biomass of crops and weeds was harvested after a period of 21 days. Harvested biomass was washed and dried at 80 °C in a drying chamber for 48 h.

Tab. 2 Amount of seeds and sowing rate of evaluated cover crops in experiments 1 and 2.

Tab. 1 Prozentuale Anteile und Saatstärke der untersuchten Zwischenfrüchte aus den Versuchen 1 und 2.

| Cover crop | Amount of seeds [%] | Sowing rate [kg ha ⁻¹] |
|--|---------------------|------------------------------------|
| <i>Fagopyrum tataricum</i> (L.) Gaertn. | 100 | 60 |
| <i>Raphanus sativus</i> var. <i>oleiformis</i> Pers. | 100 | 25 |
| Mixture | - | 45 |
| <i>Pisum sativum</i> L. | 32 | - |
| <i>Secale cereale</i> L. | 30 | - |
| <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench x <i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers. | 10 | - |
| <i>Vicia pannonica</i> Crantz | 7 | - |
| <i>Phacelia tanacetifolia</i> Benth. | 5 | - |
| <i>Trifolium incarnatum</i> L. | 4 | - |
| <i>Linum usitatissimum</i> L. | 4 | - |
| <i>Trifolium resupinatum</i> L. | 2 | - |
| <i>Trifolium hybridum</i> L. | 2 | - |
| <i>Camelina sativa</i> L. | 1 | - |
| <i>Guizotia abyssinica</i> (L.f.) Cass. | 1 | - |
| <i>Raphanus sativus</i> var. <i>niger</i> J.Kern | 1 | - |
| <i>Helianthus annuus</i> L. | 1 | - |

Statistical analysis

Data was analysed by using R version 3.1.2. All data were subjected to standard analysis of variance (ANOVA). Tukey-HSD was applied to identify treatment differences in the experiments at a significance level of $p \leq 0.05$.

Results

In experiment 1, all cover crop extracts inhibited germination and root length of crops and weeds significantly compared to the untreated control (Fig. 1). The application of cover crop extracts of *F. tataricum*, *R. sativus* and the mixture resulted in inhibitory effects on germination rate of crops (82, 87, 84%) and weeds (60, 64, 74%), respectively. Moreover, a significantly delayed germination of crop and weed seeds was observed for *F. tataricum* and *R. sativus* extracts. Over all treatments, MGT was extended from 30 to 85% for weeds and crops compared to the untreated control. Root length was reduced up to 60% and 68% for crops and weeds over all treatments, thereby *R. sativus* extracts showed the strongest inhibitory effects (75%) on weeds.

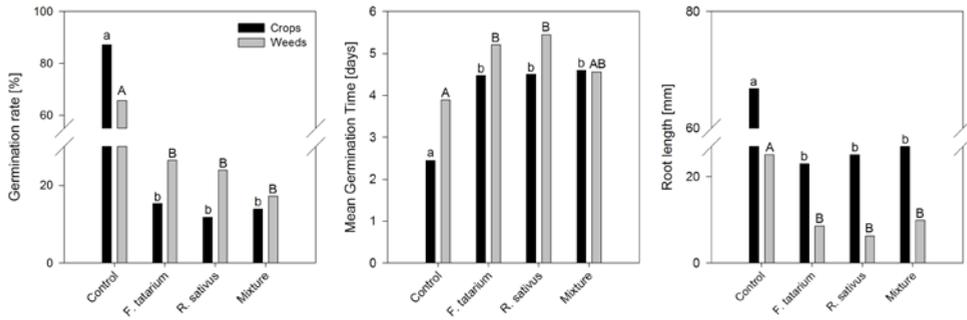


Fig. 1 Germination rate [%], mean germination time [days] and root length [mm] of crop plants and weeds after the application of different cover crop extracts (125 mg ml⁻¹) in germination assays. Means with identical letters within the table do not differ significantly (Tukey-HSD-test, p≤0.05).

Abb. 1 Keimrate, durchschnittliche Keimdauer und Wurzellänge von Kulturpflanze und Unkräutern nach der Applikation verschiedener Zwischenfrucht-Extrakte (125 mg ml⁻¹) in Keimtests. Gleiche Buchstaben weisen auf keine signifikanten Unterschiede bei p≤0,05 (Tukey-HSD-Test) hin.

The sowing of crops and weeds in mulch-soil mixtures in experiment 2 resulted in reductions of germination rate and above-ground biomass (Fig. 2). Germination rate of *Z. mays* and *S. media* was suppressed significantly (58%) by all cover crops compared to untreated control. However, no statistically significant differences over all treatments were observed for *B. vulgaris*, *C. album* and *M. chamomilla*. The mulch-soil mixtures of all cover crops led to significantly reduced biomass of *Z. mays*, *M. chamomilla* and *S. media*. Significant growth suppressions up to 31% for *B. vulgaris* and 53% for *C. album* were observed for soil-mulch mixtures of *R. sativus* and *F. tataricum* only.

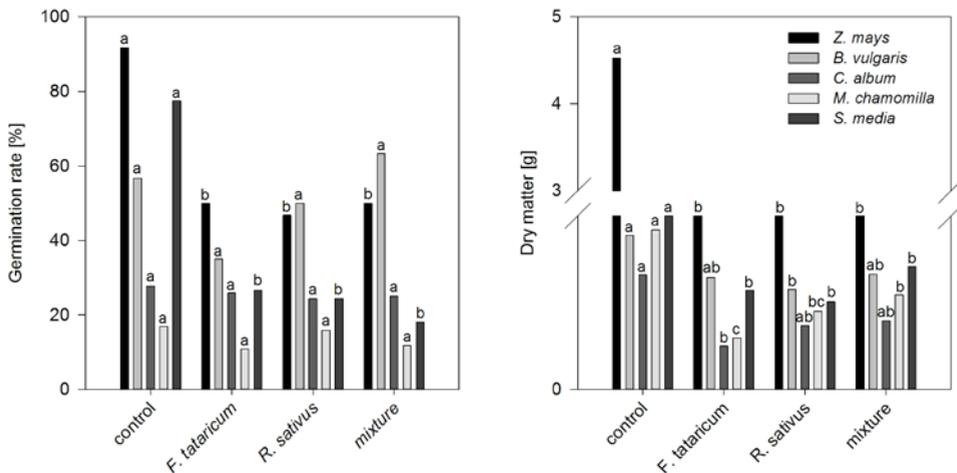


Fig. 2 Germination rate and dry matter of crops and weeds after growth in different soil-mulch-mixtures after 21 days. Means with identical letters within the table do not differ significantly (Tukey-HSD-test, p≤0.05).

Abb. 2 Keimrate und Trockenmasse von Kulturpflanzen und Unkräutern nach 21 Tagen Wachstum in verschiedenen Mulch-Boden-Gemischen. Gleiche Buchstaben weisen auf keine signifikanten Unterschiede bei p≤0,05 (Tukey-HSD-Test) hin.

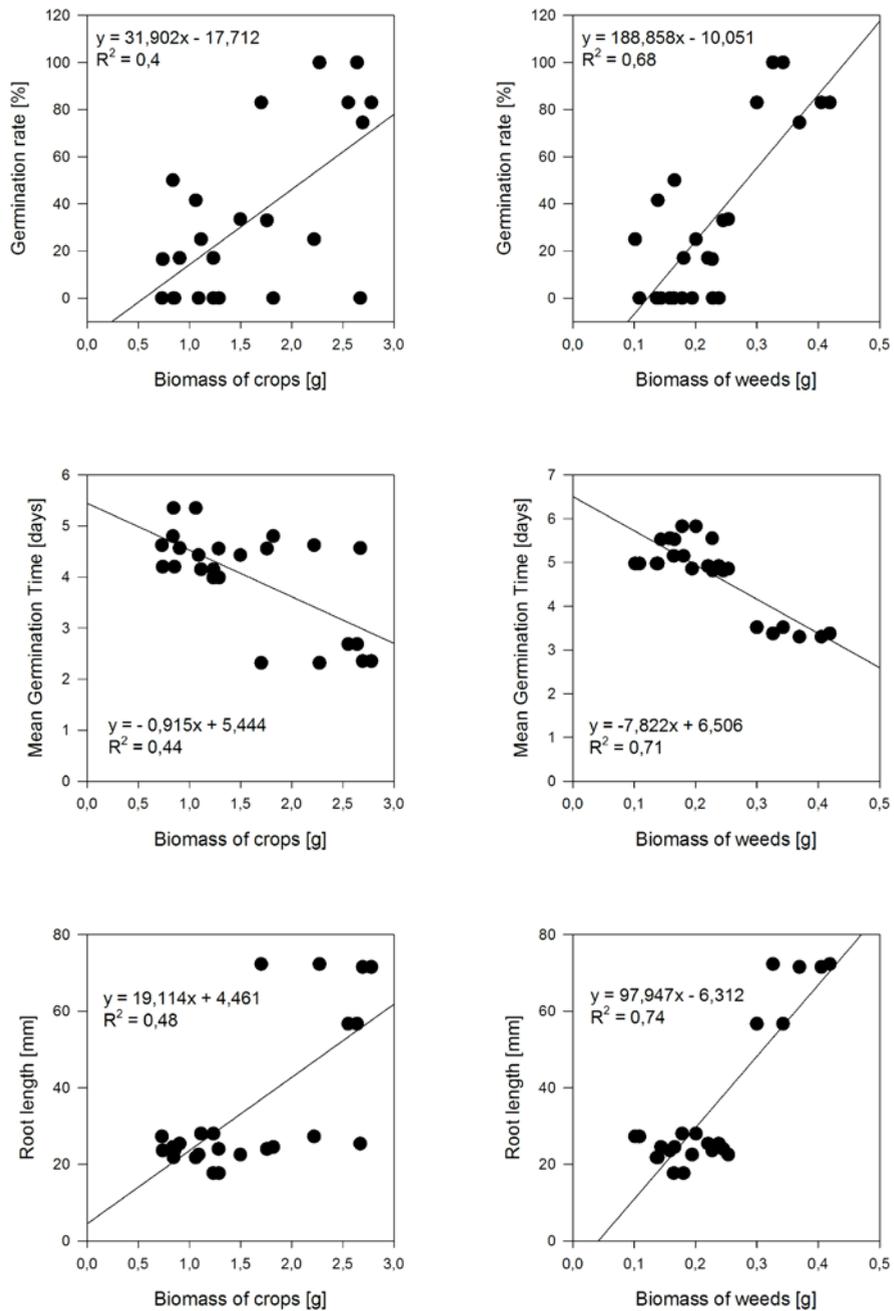


Fig. 3 Correlation between root length [mm], germination rate [%] and mean germination rate [days] in germination tests with biomass [g] in greenhouse experiments of crops and weeds.

Abb. 3 Korrelation zwischen der Wurzellänge [mm], Keimfähigkeit [%] und durchschnittlichen Keimdauer [Tagen] aus den Keimtests mit der Biomasse [g] aus den Gewächshausversuchen von Kulturpflanzen und Unkräutern.

Root length [mm], germination rate [%] and MGT [days] of crops and weeds in germination tests were expressed as a function of biomass [g] of crops and weeds in greenhouse experiments (Fig. 3). The comparison of the correlations results in a higher coefficient of determination for weeds in root length ($R^2=0.74$), germination rate ($R^2=0.68$) and MGT ($R^2=0.71$) compared to the crops.

Discussion

Over all experiments, significant inhibitions of germination rate, root length and dry matter of crops and weeds were measured. The effects were different between treatments, crops and weeds. High growth suppressing effects were found for *R. sativus* compared to the untreated control. HARAMOTO and GALLANDT (2004) reviewed the high allelopathic potential of *Brassicaceae* and indicated that the inhibition of germination and seedling growth could be attributed to the formation of isothiocyanates by hydrolysis of glucosinolates. Furthermore, an increase in germination time of 50% by the presence of methyl isothiocyanates was found for *Digitaria sanguinalis* L. in laboratory experiments (TEASDALE and TAYLORSON, 1986). The observed inhibitory effects of tartary buckwheat (*F. tataricum*) extracts and mulch could be attributed to the presence of allelopathic or phytotoxic compounds such as alkaloids, fatty acids, flavonoids and phenolic acids. Of these substances, the flavonoid rutin (quercetin-3-O-rutinoside) is believed to have the highest allelopathic activity (FALQUET et al., 2015).

Beside phytotoxic or allelopathic effects, KRUIDHOF et al. (2009) described chemical, biological and physical changes in soil and soil cover due to mulch. This can be temporary immobilization of nutrients, shifts in soil microbial populations or changes of physical soil properties, which might have influenced germination and plant growth in experiment 2 negatively. The linear relationship between root length in germination tests and crop and weed biomass in the greenhouse experiments (Fig. 3) reveal the high impact of biochemical effects on growth suppression. The smaller correlation of different crops compared to the analysed weeds can be attributed to a higher susceptibility of smaller weed seeds to extracts and residue-mediated stress (PETERSEN et al., 2001) including allelopathy. However, seeds of maize and *S. media* represented the most sensitive test plants compared to *C. album* and the small-seeded *M. chamomilla*. In addition to seed size, seed morphology and biochemical composition of the seeds can influence seed response to biotic and abiotic stresses (HARAMOTO and GALLANDT, 2004).

This study emphasises the need of research specifically aimed at cover crops for suppressing individual weed species. Adequate cover crops or cover crop mixtures with optimum proportions of allelopathic and competitive traits could be selected for providing high weed control efficacy within the field.

References

- BERTIN, C., X. YANG and L.A. WESTON, 2003: The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant Soil* **256**(1), 67-83.
- ELLIS, R.H. and E.H. ROBERTS, 1980: Towards a rational basis for testing seed quality. *Seed Production*. (ed. P.D. Hebblethwaite), pp. 605-635, Butterworths, London.
- FALQUET B., A. GFELLER, M. POURCELOT, F. TSCHUY and J. WIRTH, 2015: Weed suppression by common buckwheat: A review. *Environ. Control Biol.* **53**(1), 1-6.
- HARAMOTO E.R. and E.R. GALLANDT, 2004: Brassica cover cropping for weed management: A review. *Renew. Agr. Food Sys.* **19**(4), 187-198.
- JABRAN, K., G. MAHAJAN, V. SARDANA and B.S. CHAUHAN B. S., 2015: Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Prot.* **72**, 57-65.
- KRUIDHOF, H. M., L. BASTIAANS and M.J. KROPFF, 2009: Cover crop residue management for optimizing weed control. *Plant Soil* **318**(1-2), 169-184.
- REIGOSA, M.J., N. PEDROL and L. GONZÁLES, 2006: Allelopathy: A physiological process with ecological implications. P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, Netherlands, Springer.
- RUEDA-AYALA, V., O. JAECK and R. GERHARDS, 2015: Investigation of biochemical and competitive effects of cover crops on crops and weeds. *Crop Prot.* **71**, 79-87.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- PETERSEN J., R. BELZ, F. WALKER and K. HURLE, 2001: Weed suppression by release of isothiocyanates from turnip-rape mulch. *Agron. J.* **93**(1), 37-43.
- TEASDALE, J.R., 1996: Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. *J. Prod. Agric.* **9**(4), 475-479.
- TEASDALE, J.R. and C.L. MOHLER, 1993: Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agron. J.* **85**(3), 673-680.
- TEASDALE, J.R. and R.B. TAYLORSON, 1986: Weed seed response to methyl isothiocyanate and metham. *Weed Sci.* **34**, 520-524.
- WEIR, T.L., S. W. PARK and J.M. VIVANCO, 2004: Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. *Plant Biol.* **7**(4), 472-479.

Is growing buckwheat allelopathic?

Ist wachsender Buchweizen allelopathisch?

Judith Wirth*, Aurélie Gfeller

Agroscope, Institute for Plant Production Sciences IPS, Nyon, Switzerland

*Corresponding author, judith.wirth@agroscope.admin.ch



DOI 10.5073/jka.2016.452.057

Abstract

The growth repressive effect of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) on redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) was studied by separating resource competition from root interactions between the two plant species in a pot trial in the phytotron. In order to verify this result in situ field trials were performed. A strong repression of redroot pigweed growth by buckwheat could be observed independently of shading. However, soil both from the field and phytotron trials in which buckwheat had been growing didn't have an effect on redroot pigweed and lettuce (*Lactuca sativa*) growth. Assuming that allelopathic compounds are present in the soil solution supplementary experiments were conducted. Lettuce root length was measured after exposing seeds to different "buckwheat soil" extracts. Moreover, buckwheat and lettuce developed at the same time next to each other in petri dishes. In none of the experiments an influence on lettuce and redroot pigweed development could be observed. We conclude that there are either no allelopathic molecules in the soil solution (not soluble in water) or that they are rapidly degraded. The observed growth inhibiting effect seems to be due to a long term and constant exposure of small quantities of allelopathic molecules. However, it is also possible that growth repression of redroot pigweed by buckwheat is not due to allelopathy.

Keywords: Allelopathy, *Amaranthus retroflexus*, *Fagopyrum esculentum*, resource competition, root interactions, weed suppression

Zusammenfassung

Echter Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) unterdrückt das Wachstum von Zurückgebogenem Amarant (*Amaranthus retroflexus*). Dieser Effekt wurde in einem Topfversuch im Phytotron untersucht, indem die Konkurrenz um Ressourcen von den Wurzelinteraktionen zwischen den beiden Pflanzenarten getrennt wurde. Um dieses Ergebnis zu verifizieren, wurden in situ-Feldversuche durchgeführt. Eine starke, von der Beschattung unabhängige, Wachstumsunterdrückung von Amarant durch Buchweizen konnte beobachtet werden. Allerdings hatte Erde, in der Buchweizen gewachsen war, sowohl aus dem Feldversuch als auch aus einem Phytotron-Versuch, keinen Einfluss auf das Wachstum von Amarant und Salat (*Lactuca sativa*). Unter der Annahme, dass allelopathische Verbindungen in der Bodenlösung vorhanden sind, wurden zusätzliche Experimente durchgeführt: Salatsamen wurden verschiedenen Extrakten von „Buchweizen-Erde“ ausgesetzt um anschließend die Länge der Salatwurzeln zu messen. Ausserdem wurden Buchweizen und Salat gleichzeitig nebeneinander in Petrischalen angezogen. In keinem der Versuche konnte ein Effekt auf die Entwicklung von Amarant und Salat beobachtet werden. Wir schliessen daraus, dass in der Bodenlösung entweder keine (wasserlöslichen) allelopathischen Verbindungen sind oder, dass sie rasch abgebaut werden. Der beobachtete wachstumshemmende Effekt scheint durch das Vorhandensein konstant kleiner Mengen an allelopathischen Verbindungen, die über einen langen Zeitraum hinweg vorhanden sind, hervorgerufen zu werden. Allerdings ist es auch möglich, dass die Wachstumsunterdrückung von Amarant durch Buchweizen nicht auf allelopathische Effekte beruht.

Stichwörter: Allelopathie, *Amaranthus retroflexus*, *Fagopyrum esculentum*, Unkrautunterdrückung, Wettbewerb um Ressourcen, Wurzelinteraktionen

Introduction

It is largely known that growing stands of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) successfully suppress weeds in the field (TOMINAGA and UEZU, 1995; CREAMER and BALDWIN, 2000; KALINOVA, 2004; TSCHUY et al., 2014; FALQUET et al., 2015). However, so far it is not clear what this suppression is due to (FALQUET et al., 2015). It has been proposed that allelopathy plays an important role (GOLISZ et al., 2007; KALINOVA et al., 2007; KATO-NOGUCHI et al., 2007; TIN et al., 2009). Allelopathy has been defined as any direct or indirect harmful or beneficial effect by one plant on another through production of chemical compounds that escape into the environment (RICE,

1984). Trying to answer the question whether phytotoxic root exudates are implicated in weed suppression by buckwheat, we developed a method allowing to separate resource competition from growth repressive root interactions (FALQUET et al., 2014). As a model weed we used redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) as we had observed reduced growth in buckwheat stands in agricultural fields. We therefore also studied the weed suppressive ability of buckwheat in a field trial. Moreover we used different methods commonly used in the field of allelopathy research like the co-cultivation of the potentially allelopathic plant (donor) and the targeted plant species (receiver) in petri-dishes (KALINOVA et al., 2005; KATO-NOGUCHI et al., 2007; CIARKA et al., 2009) experiments with soil in which buckwheat had been growing (RIMANDO and DUKE, 2003; CIARKA et al., 2009; SADAQA et al., 2010) as well as different methods of soil extraction (KALINOVA et al., 2007; JANKOWSKI et al., 2014; OTUSANYA et al., 2014).

Materials and Methods

Separation of resource competition from growth repressing root interactions

The effects of light competition and growth repressive root interactions between buckwheat and redroot pigweed were studied separately in pot trials where both species were grown together according to FALQUET et al. (2014). Vertical nets (\pm NET= net) between the two plant species were used to prevent shading on pigweed and impermeable plastic barriers (\pm P = plastic) inhibited root contact. Four different conditions were tested: A = -NET, -P; B = +NET, -P; C = -NET, +P and D = +NET, +P. Water and nutrient supply were kept constant throughout the experiment. Pigweed dry weight (DW) was determined 28 days after sowing (DAS) (Fig. 1).

Field trials

To study weed suppression by buckwheat in the field, buckwheat was sown on the 7th of August 2014 at a density of 75 kg/ha in four blocks of 24m². In addition eight blocks of the same size were left with bare soil. Within each block pigweed was sown on the same day into the inter-rows of buckwheat and on bare soil respectively. To prevent light competition from buckwheat, nets (NET+/NET-) were placed within certain inter-rows 11 DAS. 28 and 55 DAS pigweed plants were harvested in all conditions prior to determination of DW (Fig. 2). For a detailed description of the field trial conditions and all other methods described below please refer to GFELLER and WIRTH (2015).

Experiments with soil in which buckwheat had been growing

In the above mentioned 2014 field trial soil samples were taken 11, 26 and 42 DAS within the buckwheat stands and on bare soil. Subsequently lettuce and redroot pigweed were grown in this soil in the phytotron to determine DW after 15 and 21 days (d) respectively (Fig. 3).

In a second experiment soil was taken from pots in which buckwheat had been cultivated for 10 d in the phytotron. 50 g of this soil was used to cover lettuce and redroot pigweed seeds in petri dishes. As a control bare soil was used. After 7 d lettuce and pigweed root length was determined (Fig. 4).

Experiments with soil extracts

Flex rhizon samplers (Rhizosphere Research Products, The Netherlands) which allow collecting soil pore water, were introduced into pots in the phytotron. Three conditions were tested: pots with buckwheat, pots with buckwheat and pigweed and bare soil. 29 DAS soil water samples were taken and 6 ml were transferred into petri dishes. Subsequently 10 lettuce seeds were sown and root length was determined after 5 d of growth in the climate chamber under light conditions (Fig. 5).

In a second independent experiment the same three conditions were tested. This time soil from the pots was extracted with boiling water after 20 days of plant growth. Subsequently 6 ml of extract were used to moisten blotting paper in petri dishes prior to sowing of 10 lettuce seeds per petri dish. In addition tap and double distilled (dd) water were used as control. Lettuce root length was measured after 8 d of growth in the dark in the climate chamber (Fig. 6).

Experiments with germinating buckwheat seeds

Six pre-germinated buckwheat seeds together with 10 lettuce seeds were placed on blotting paper in petri dishes. The control treatment consisted of lettuce only. 15 ml of tap water were added to the petri dishes before placing them in a phytotron under light and dark conditions. 3 DAS lettuce root length was determined (Fig. 7).

Results and discussion

Buckwheat grows fast and quickly develops a dense canopy that prevents weeds from receiving enough light. Therefore it has been proposed that weed suppression by growing buckwheat is mainly due to the competition for light (BICKSLER and MASIUNAS, 2009). In our own field trial in 2013 shading played a decisive role in pigweed growth suppression by buckwheat (TSCHUY et al., 2014). The importance of light competition in pigweed growth suppression by buckwheat could be confirmed in the phytotron. When pigweed was grown under controlled conditions without light competition (+ NET) and in the absence of root interactions with buckwheat (+P), it developed very well (Fig. 1, condition D). However, when the buckwheat canopy was present (-NET) and roots of the two species interacted (-P) pigweed growth was significantly repressed by 89% (Fig. 1, condition A). This strong growth repression could partly be explained by shading (absence and presence of the net (\pm NET)): B versus A -68% and D versus C -52% and partly by root interactions (absence and presence of the plastic barrier (\pm P)): C versus A -77% and D versus B -65% growth repression (Fig. 1). This experiment shows that growth repression of pigweed by buckwheat is not only due to shading, but that root interactions between the two species also play an important role (FALQUET et al., 2014). As nutrient supply was kept constant at a high level throughout the experiment we suppose that nutrient competition didn't play a decisive role.

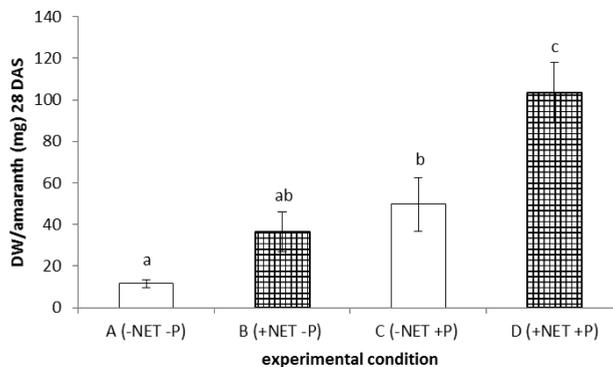


Fig. 1 Pigweed growth suppression by buckwheat is due both to shading and root interactions of the two species. Values are means \pm SE of 10 replicates. The different letters above the columns indicate significant differences ($P < 0.05$) according to Bonferroni adjusted p-values.

Abb. 1 Die Wachstumsunterdrückung von Amaranth durch Buchweizen ist sowohl auf die Beschattung als auch auf Wurzelinteraktionen zwischen den beiden Pflanzenarten zurückzuführen.

The growth repressing effect of buckwheat on pigweed could be confirmed in the field trial in 2014. 28 and 55 DAS pigweed plants within the buckwheat canopy (NET-) were 63 and 89%

smaller than control plants on bare soil. However, pigweed growth in the absence of light competition (NET+) was also strongly suppressed by the presence of buckwheat (-55% and -89%) indicating that under the environmental conditions of 2014 the growth repressing effect of buckwheat on pigweed was strong and independent of shading (Fig. 2). Due to a cold weather period in August 2014 buckwheat developed very slowly and couldn't establish a very dense canopy. Light competition by shading was therefore much smaller than in a similar field trial in 2013 (Tschuy et al., 2014). However, shading by the buckwheat canopy was present, but didn't have an influence on pigweed growth. This result confirms that besides shading growth repressive effects in the root zone play an important role for the observed effect. Our working hypothesis is that weed suppression by buckwheat is partly due to allelopathic root interactions.

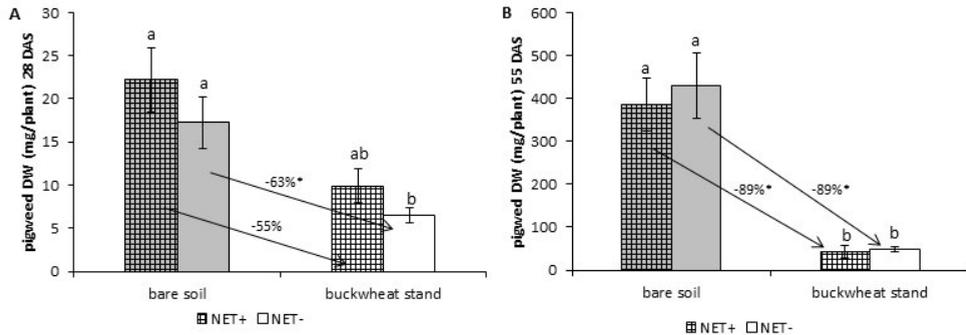


Fig. 2 Growth repression of pigweed by buckwheat in the 2014 field trial. (A) 28 DAS, (B) 55 DAS. Values are means \pm SE of 8 replicates for buckwheat and 16 for bare soil. Means not sharing the same letter are significantly different (Tukey's HSD, $p < 0.05$).

Abb. 2 Wachstumsunterdrückung von *Amarant* durch *Buchweizen* im Feldversuch 2014. (A) 28 DAS (28 Tage nach Saat), (B) 55 DAS (55 Tage nach Saat).

In order to know whether phytotoxic compounds in the soil of the buckwheat stands were responsible for the observed growth repression, lettuce and pigweed seeds were sown on soil samples from buckwheat and control plots with bare soil obtained at three different dates from the field trial in 2014. No effect of the "buckwheat soil" on lettuce and pigweed DW could be observed after 15 and 21 d of growth respectively (Fig. 3). This indicates that possibly present allelopathic molecules were not sufficiently concentrated or not persistent enough to provoke growth repression in our trial conditions. According to KALINOVA et al. (2005 and 2007) soil from a buckwheat stand had a growth repressing effect on lettuce root growth. We therefore also tested the effect of "buckwheat soil" obtained from a pot trial in the phytotron on root length of lettuce and pigweed. Again no difference could be observed (Fig. 4). We conclude that methods using "buckwheat soil" are not suitable for the study of allelopathic buckwheat root exudates. However, the obtained results might also be due to the fact that different soil types influence the activity of an allelopathic compound (HIRADATE et al., 2010).

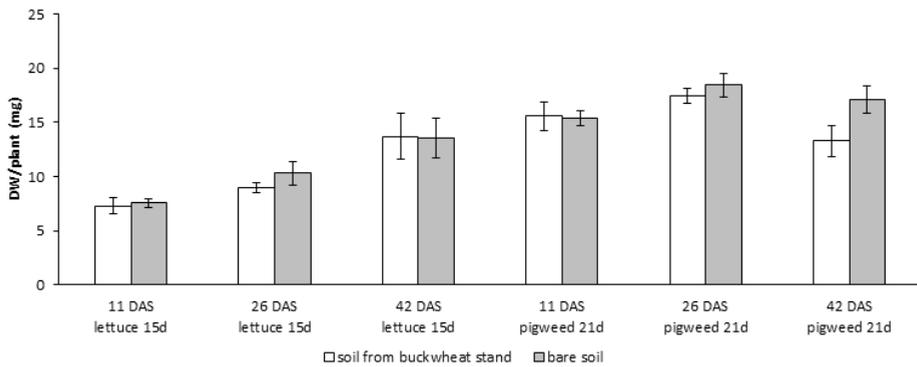


Fig. 3 No effect of soil from a buckwheat stand in the field on lettuce and pigweed growth. Values are means \pm SE of 12 replicates for buckwheat and 24 for bare soil. There were no statistically significant differences in DW between the samples from a buckwheat stand and from bare soil at the different dates (non-parametric Dunnett's test, $p < 0.05$).

Abb. 3 Felderde, in der Buchweizen gewachsen ist, hat keinen Einfluss auf das Wachstum von Salat und Amarant.

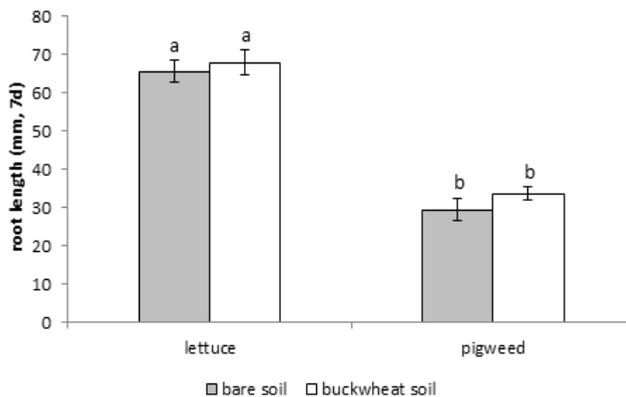


Fig. 4 No effect of soil in which buckwheat was grown in the phytotron on lettuce and pigweed growth. Values are means \pm SE of 60 replicates for lettuce and 30 for pigweed. Means not sharing the same letter are significantly different (ANOVA, $p < 0.05$).

Abb. 4 Topferde, in der Buchweizen in der Klimakammer gewachsen ist, hat keinen Einfluss auf das Wachstum von Salat und Amarant.

Another possibility is to test whether phytotoxic buckwheat compounds are present in the soil solution as indicated before (TOMINAGA and UEZU, 1995). Soil water samples obtained with flex rhizon samplers from pots in which buckwheat was growing with and without pigweed had no effect on lettuce root growth compared to control samples from bare soil (Fig. 5). This might be due to the fact that allelopathic molecules were present in very low concentrations, that they were rapidly degraded in the climate chamber during the lettuce growth test or that buckwheat phytotoxins are not soluble in water like other effective allelochemicals such as sorgoleone (DUKE, 2010; DUKE, 2015). In accordance to the protocol of KALINOVA et al. (2007) we tested whether soil

extraction with boiling water increased the presence of phytotoxic molecules as more or other compounds might be extracted by this method. Compared to the two control treatments with tap water and double distilled water, lettuce root length was significantly repressed by hot water extracts of "buckwheat soil" (Fig. 6). One could conclude that boiling water extracts from buckwheat soil contain growth repressing substances. However, when extracting bare soil the effect was even stronger. This result was observed in several independent experiments (results not shown). We cannot explain it. We conclude that water soil extraction is also inappropriate to study the allelopathic potential of buckwheat.

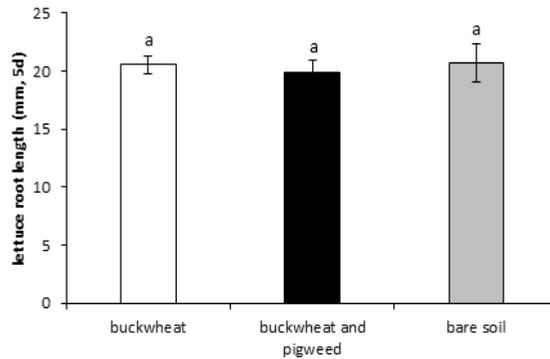


Fig. 5 No effect on lettuce root length growth of soil water extracts obtained with rhizon samplers from pots with buckwheat. Values are means \pm SE of 30 replicates and 10 for bare soil. There were no statistically significant differences (ANOVA, $p < 0.05$).

Abb. 5 Durch Rhizon-Sampler gewonnenes Bodenwasser aus Töpfen mit Buchweizen beeinflusst das Wurzelwachstum von Salat nicht.

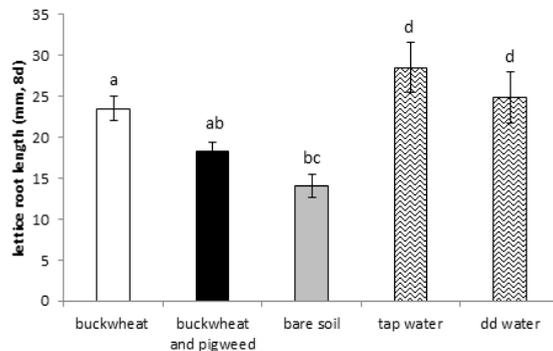


Fig. 6 No effect on lettuce root length growth of hot water soil extracts from soil in which buckwheat was cultivated. Values are means \pm SE of 60 replicates for soil with buckwheat, 20 for bare soil and 10 for water controls. Means not sharing the same letter are significantly different (rank based analysis of linear models, $p < 0.05$)

Abb. 6 Heißwasser-Bodenextrakte aus Töpfen in denen Buchweizen gewachsen ist beeinflussen das Wurzel Wachstum von Salat nicht.

Several authors claim that during germination and early development of buckwheat allelopathic compounds are exudated, causing growth suppression of lettuce radicle length (KALINOVA et al., 2005, KATO-NOGUCHI et al., 2007). We observed the contrary when lettuce and buckwheat were grown together in petri dishes on blotting paper. Both under light and dark conditions lettuce radicle length was stimulated by the presence of germinating buckwheat seeds (Fig. 7).

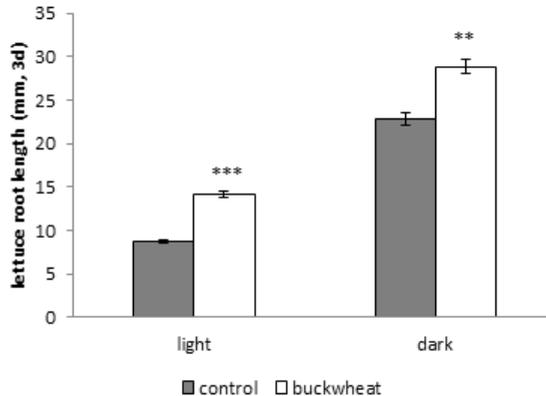


Fig. 7 No effect of germination buckwheat on lettuce root growth. Values are means \pm SE of 50 replicates. Star symbols above bars indicate that two-tailed paired student's test showed significant differences ($p < 0.05$).

Abb. 7 Keimende Buchweizen-Samen haben keinen Effekt auf das Wurzelwachstum von Salat.

For a more detailed description of our work please read the book chapter "Is growing buckwheat allelopathic?" (GFELLER and WIRTH, 2015). The corresponding pdf-file can be obtained from Judith Wirth.

Conclusion

With our work we could show that pigweed growth suppression is not only due to shading effects of the buckwheat canopy and that the effect of light competition is variable depending on the environmental conditions. However we could not prove that the observed effect is partly due to allelopathic buckwheat compounds. The obtained results can be explained by several hypothesis: buckwheat allelochemicals are not water soluble, they are rapidly degraded after root exudation or their concentration in the soil solution is very low. It is also possible that allelopathy doesn't play a role in pigweed growth suppression by buckwheat. However, we believe that the roots of the two species have to be in contact over a longer period of time in order to observe the effect. This might be due to very small quantities of allelochemicals that are constantly exudated by buckwheat roots leading to a cumulative effect.

References

- BICKSLER, A. J. and J.B. MASIUNAS, 2009: Canada Thistle (*Cirsium arvense*) Suppression with Buckwheat or Sudangrass Cover Crops and Mowing. *Weed Technol.* **23**, 556-563.
- CIARKA, D., H. GAWRONSKA, M. MALECKA and S.W. GAWRONSKI, 2009: Allelopathic potential of sunflower. II. Allelopathic activity of plants compounds released in environment. *Allelopathy J.* **23**, 243-254.
- 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.
- DUKE, S.O., 2010: Allelopathy: Current status of research and future of the discipline: A commentary. *Allelopathy J.* **25**, 17-30.
- DUKE, S.O., 2015: Proving allelopathy in crop-weed interactions. *Weed Sci.* **63**, 121-132.
- FALQUET, B., A. GFELLER, M. POURCELOT, F. TSCHUY and J. WIRTH, 2015: Weed Suppression by Common Buckwheat: A Review. *Environmental Control in Biology* **53**, 1-6.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- FALQUET, B., D. ROUX, L. HENRIET, F. TSCHUY and J. WIRTH, 2014: Simple method to separate resource competition from allelopathic root interactions. *Allelopathy J.* **34**, 227-240.
- GFELLER, A. and J. WIRTH, 2015: 'Is growing buckwheat allelopathic?,' in J. E. Price (Ed.) *New Developments in Allelopathy Research*. Nova Science Publishers.
- GOLISZ, A., B. LATA, S.W. GAWRONSKI and Y. FUJII, 2007: Specific and total activities of the allelochemicals identified in buckwheat. *Weed Biol. Manag.* **7**, 164-171.
- HIRADATE, S., K. OHSE, A. FURUBAYASHI and Y. FUJII, 2010: Quantitative evaluation of allelopathic potentials in soils: Total activity approach. *Weed Sci.* **58**, 258-264.
- JANKOWSKI, K., J. JANKOWSKIA, G.A. CIEPIELA, J. SOSNOWSKI, B. WISNIEWSKA-KADZAJAN and A. MATSYURA, 2014: The initial growth and development of *poa pratensis* under the allelopathic influence of *taraxacum officinale*. *Journal of Ecological Engineering* **15**, 93-99.
- KALINOVA, J., 2004: 'Influence of Common Buckwheat on Growth of Other Plant Species,' 9th International Symposium on Buckwheat. Prague.
- KALINOVA, J., J. TRISKA and N. VRCHOTOVA, 2005: Biological activity of phenolic compounds present in buckwheat plants. *Allelopathy J.* **16**, 123-129.
- KALINOVA, J., N. VRCHOTOVA and J. TRISKA, 2007: Exudation of allelopathic substances in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *J. Agr. Food Chem.* **55**, 6453-6459.
- KATO-NOGUCHI, H., H. SUGIMOTO and M. YAMADA, 2007: Buckwheat Seedlings May Inhibit Other Plant Growth by Allelopathic Substances. *Environmental Control in Biology* **45**, 27-32.
- OTUSANYA, O.O., A.A. SOKAN-ADEAGA and O.J. ILORI, 2014: Allelopathic effect of the root exudates of *Tithonia diversifolia* on the germination, growth and chlorophyll accumulation of *Amaranthus dubius* L. and *Solanum melongena* L. *Research Journal of Botany* **9**, 13-23.
- RICE, E.L., 1984: *Allelopathy*, London: Academic Press Inc. (London) Ltd.
- RIMANDO, A.M. and S.O. DUKE, 2003: 'Studies on rice allelochemicals,' in C.W. SMITH, R. DILDAY, H. RICE (Ed.): *Origin, History, Technology and Production*. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- SADAQA, E.A., A.A. BAWAZIR and J.R. QASEM, 2010: Allelopathic activity of some common weeds species in onion fields. *Allelopathy J.* **26**, 175-184.
- TIN, W.W., T.H. HAYASHI, T. OTOMATSU, K. HIROSE, K. HASEGAWA and H. SHIGEMORI, 2009: Caprolactam, an Inhibitory Allelochemical Exuded from Germinating Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) Seeds. *Heterocycles* **78**, 1217-1222.
- TOMINAGA, T. and T. UEZU, 1995: Weed Suppresion by Buckwheat. *Current Advances in Buckwheat Research*, 693-697.
- TSCHUY, F., A. GFELLER, R. AZEVEDO, C. KHAMISSÉ, L. HENRIET and J. WIRTH, 2014: Unkrautunterdrückung durch Zwischenfrüchte: Analyse verschiedener Faktoren. *Agrarforschung Schweiz* **5**, 292-299.

Reduktion des Unkrautdruckes durch die Etablierung von Untersaaten in Mais-Bohnen-Gemengen

Reduction of weed pressure by establishing catch crops in maize-bean-intercropping systems

Jenny Fischer*, Herwart Böhm

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau

*Korrespondierende Autorin, jenny.fischer@ti.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.058

Zusammenfassung

Am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau (Schleswig-Holstein, sL, 740 mm, 8,7 °C) werden von 2014-2016 Parzellenversuche zum Gemengeanbau von Mais mit *Phaseolus*-Bohnen durchgeführt. In vorangegangenen Versuchen hat sich gezeigt, dass Mais und Bohnen infolge der langsamen Jugendentwicklung nur eine sehr geringe Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern aufweisen. Daher erfolgt die Aussaat der Bohnen erst nach Abschluss der mechanischen Unkrautbekämpfung mit Striegel und Hacke, zum 4-Blattstadium (BBCH 14) des Maises. Da mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen nach der Aussaat der Bohnen kaum durchgeführt werden können, wird in einem Untersaatenversuch geprüft, ob die Etablierung einer zusätzlichen Untersaat den Unkrautdruck im Gemenge nachhaltig reduzieren kann.

Hierzu werden jeweils zwei Untersaatenmischungen in reinen Maisparzellen, sowie in den Gemengen mit Stangenbohnen (*Phaseolus vulgaris*, cv. Tarbais) und Feuerbohnen (*Phaseolus coccineus*, cv. Preisgewinner) geprüft. Als Kontrollvarianten dienen Parzellen ohne Untersaat. Die Untersaat (US)-Mischungen bestehen aus Welschem Weidelgras (Sorte: Gersimi, Saatstärke: 15 kg ha⁻¹), das in US1 mit Erdklee (Sorte: Seaton Park, Saatstärke: 30 kg ha⁻¹) und in US2 mit Futterchicorée (Sorte: Puna II, Saatstärke: 7,5 kg ha⁻¹) kombiniert wird. Im ersten Versuchsjahr 2014 erzielte die US1 mit 50 g TM m⁻² im Mittel der Varianten die höchsten Biomasseaufwüchse, während die Biomasseaufwüchse der US2 mit 32 g TM m⁻² signifikant geringer ausfielen. Infolge der gelungenen Pflegemaßnahmen und der zügigen Jugendentwicklung der Kulturpflanzen war der Unkrautdruck 2014 insgesamt sehr gering. Dennoch zeigen die Ergebnisse, dass die Untersaaten im Vergleich zu den Kontrollvarianten zu einer effektiveren Unkrautunterdrückung beigetragen haben. Während in den Varianten ohne Untersaaten erwartungsgemäß die signifikant höchste Unkrautbiomasse zu verzeichnen war, konnte diese im Durchschnitt der Varianten mit der US1 um 70 % und mit der US2 um 80 % signifikant reduziert werden.

Stichwörter: Erdklee, Futterchicorée, Mais, *Phaseolus*-Bohnen, Unkraut, Untersaat, Welsches Weidelgras

Abstract

Intercropping field experiments with maize and *Phaseolus* beans are conducted at the Thünen-Institute of Organic Farming (Schleswig-Holstein, SL, 740 mm, 8.7 °C) from 2014-2016. As known from previous experiments, maize and beans have a very low competitiveness against weeds, due to their relative slow youth development. Therefore, the beans were sown subsequently to the mechanical weed control with harrow and hoe, at the 4-leaf development stage (BBCH 14) of maize. Hence a mechanical weed control after bean emergence is critical, a field experiment is conducted to find out whether the establishment of an additional catch crop can reduce weed pressure substantially.

For this purpose two catch crop mixtures are evaluated in pure maize plots as well as in intercropping plots with scarlet runner beans (*Phaseolus coccineus*, cv. Preisgewinner) or common runner beans (*Phaseolus vulgaris*, cv. Tarbais) respectively. As control variants, plots without undersown crops were used. The undersown crop mixtures are composed of Italian ryegrass (cv. Gersimi, sowing density: 15 kg ha⁻¹), which is combined with subterranean clover (cv. Seaton Park, sowing density: 30 kg ha⁻¹) in US1 and with Chicory (cv. Puna II, sowing density 7.5 kg ha⁻¹) in US2. The highest biomass (50 g DM m⁻²) was produced by US1 in all variants, while the biomass of US2 was significantly lower with 32 g DM m⁻². As a result of a successful mechanical weed control as well as a good development of the main crops, the weed pressure in 2014 was generally low. Nevertheless, the results show that undersown crops can reduce weeds substantially. While the significantly highest weed biomass was recorded in the plots without undersown crops, it was reduced by 70% with US1 and by 80% with US2 on average respectively.

Keywords: Chicory, Italian ryegrass, maize, *Phaseolus* beans, subterranean clover, undersown crop, weeds

Einleitung

Silomais stellt aufgrund seiner hohen Energiekonzentration, seiner guten Verdaulichkeit sowie der guten Silierfähigkeit ein wichtiges Grundfuttermittel dar, das auch im Ökologischen Landbau zunehmend an Bedeutung gewonnen hat. So hat die Anbaufläche von 9.700 ha im Jahr 2001 (ZMP, 2005) auf 14.200 ha im Jahr 2013 (AMI, 2015) zugenommen. Die Gesamtfläche des Silomais ist in Deutschland jedoch aufgrund des zunehmenden Maisanbaus für die Verwertung in Biogasanlagen deutlich stärker gestiegen. Mit einer Anbaufläche von 2,1 Mio. ha im Jahr 2015 (DESTATIS, 2015) ist Silomais nach Getreide die zweitwichtigste Ackerkultur in Deutschland geworden. Mais stellt aufgrund seiner Herkunft hohe Ansprüche an den Standort und die Bodentemperatur (STONE et al., 1999), weshalb insbesondere unter ökologischer Bewirtschaftung eine spätere Aussaat bei optimalen Wachstumsbedingungen angestrebt werden sollte. Bei niedrigen Temperaturen (<10 °C) besteht ein erhöhtes Risiko, dass das Maiswachstum stagniert, während kältetolerante Unkräuter einen hohen Biomassezuwachs verzeichnen (BECKMANN et al., 2004).

Da Mais infolge seiner eher langsamen Jugendentwicklung bis zum Reihenschluss sehr empfindlich auf einen hohen Unkrautdruck reagiert, kommt im ökologischen Landbau der mechanischen Unkrautbekämpfung mit Striegel und Hacke während des 2-8-Blattstadiums eine besondere Bedeutung zu. Um das Risiko von Spätverunkrautung zu reduzieren, können Untersaaten im Mais genutzt werden, die sich zudem positiv auf die Bodenfruchtbarkeit und die Befahrbarkeit des Standortes auswirken (TEASDALE et al., 2007; BRUST et al., 2008). Untersaaten im Mais können dazu beitragen, das potentiell höhere Risiko von Wind- und Wassererosion in Reihenkulturen nachhaltig zu reduzieren (LANGDALE et al., 1991). Insbesondere Untersaaten mit einem ausgeprägten Feinwurzelsystem, wie Gräser und Kleearten, eignen sich besonders zur Prävention von erosionsbedingten Bodenverlusten (DE BAETS et al., 2011). Zudem sorgen Untersaaten aus feinsamigen Leguminosen und Gräsern für einen zusätzlichen N-Input in den Betriebskreislauf ökologisch wirtschaftender Betriebe. Darüber hinaus leisten Untersaaten einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der organischen Bodensubstanz und verringern das Auswaschungsrisiko durch die Aufnahme von Reststickstoff nach der Ernte.

Aufgrund der limitierten Einsatzmöglichkeiten von Kraftfuttermitteln gemäß der EU-Ökoverordnung (EG Nr. 834/2007), dem Bestreben einen möglichst hohen Anteil betrieblich erzeugter Futtermittel einzusetzen sowie den aufgrund seiner niedrigen Proteingehalte begrenzten Einsatz von Mais in der Ration (ARMSTRONG et al., 2008), könnte der gemeinsame Anbau von Mais mit rankenden *Phaseolus*-Bohnen dazu beitragen ein hochwertiges, proteinreicheres Futtermittel zu produzieren. Im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojektes zur „Verbesserung der Protein- und Energieversorgung bei Wiederkäuern und Monogastriern durch Gemengeanbau von Mais mit Stangen- oder Feuerbohnen“ werden daher am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau in den Jahren 2014-2016 Feldversuche zum Gemengeanbau von Mais mit *Phaseolus*-Bohnen durchgeführt. Wie sich in vorangegangenen Feldversuchen gezeigt hat (FISCHER und BÖHM, 2013), weisen auch die Mais-Bohnen-Gemenge in der Anfangsentwicklung, bis zur Verrankung der Bohnen, eine sehr geringe Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern auf. Daher soll im aktuellen Projekt geprüft werden, ob die Etablierung einer zusätzlichen Untersaat zu einer Reduktion des Unkrautdruckes in Mais-Bohnen-Gemengen beitragen kann, ohne deutliche Ertragseinbußen zu verursachen. Die Auswahl der Untersaaten erfolgte unter Berücksichtigung der Ergebnisse von JUNG und RAUBER (2012), die durch den Einsatz von Untersaaten eine deutlich geringere Verunkrautung im Mais erzielen konnten. Insbesondere der Futterchicorée (*Cichorium intybus* L.) und der Erdklee (*Trifolium subterraneum* L.) konnten als Untersaat im Mais eine gute Bodenbedeckung und somit eine hohe Unkrautunterdrückung bis zur Ernte erzielen (JUNG und RAUBER, 2013).

Material und Methoden

Der Feldversuch wurde im Parzellenmaßstab (3*6 m) in einer zweifaktoriellen Blockanlage auf Flächen des Versuchsbetriebes in Trenthorst, Schleswig-Holstein in vierfacher Wiederholung angelegt. Der Standort ist durch gemäßigtes, maritimes Klima mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,8 °C und einem durchschnittlichen Jahresniederschlag in Höhe von 706 mm geprägt. Die Hauptbodenart der Pseudogley-Braunerde aus Geschiebelehm ist mittel sandigen Lehm (sL3) mit einer hohen Lagerungsdichte und durchschnittlich 53 Bodenpunkten. Der Silomais ist Bestandteil einer sechsgliedrigen Fruchtfolge und wird nach einem zweijährigen Klee-grasgemenge (Schnittnutzung) angebaut. Aufgrund der schweren Böden kommt eine früh abreifende Silomaisart (cv. Fabregas, S210) in den Versuchen zum Einsatz. Ungünstige Witterungsbedingungen Anfang Mai 2014 führten zu einer verzögerten Aussaat, die etwa zwei bis drei Wochen später als üblich, am 27. Mai, erfolgte. Um Vogelfraß vorzubeugen wurde der Mais in 6 cm Tiefe abgelegt. Als Referenz dienen Maisparzellen in Reinsaat, mit der praxisüblichen Saatkichte von 11 Körnern m⁻², während die Saatkichte in den Gemengevarianten auf 8 Körner m⁻² reduziert wurde, um die interspezifische Konkurrenz zwischen Mais und Bohne zu minimieren. In den Mais-Bohnen-Gemengen wurde eine Stangenbohnenvariante (cv. Tarbais) und eine Feuerbohnen-Variante (cv. Preisgewinner) geprüft, die sich in den vorangegangenen Versuchen durch ein hohes Ertragspotential der Bohnen bewährt haben. Um den Unkrautdruck während der Jugendentwicklung möglichst gering zu halten, wurden die Parzellen zum 2-3-Blattstadium vom Mais gestriegelt (11. Juni) und vor der Bohnensaat im 4-Blattstadium vom Mais (16. Juni) gehackt. Die Aussaat der Bohnen erfolgte anschließend in alternierenden Reihen, mit einer Saatkichte von je 6 Körnern m⁻² im Abstand von ca. 15 cm zum Mais. Um das Unkrautunterdrückungsvermögen zu prüfen, kamen zwei Untersaatmischungen zum Einsatz, die am 4. Juli in den Reihenzwischenräumen gesät wurden. In beiden Untersaatmischungen wurde Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum*, cv. Gersimi, Saatkichte: 15 kg ha⁻¹) ausgebracht, das in Untersaat 1 (US1) mit Erdklee (*Trifolium subterraneum*, cv. Seaton Park, Saatkichte: 30 kg ha⁻¹) und in Untersaat 2 (US2) mit Futterchicorée (*Cichorium intybus* L., cv. Puna II, Saatkichte: 7,5 kg ha⁻¹) kombiniert wurde. Wie in Tabelle 1 dargestellt, wurden alle Hauptfruchtvarianten mit beiden Untersaatmischungen als auch ohne Untersaat geprüft, um das Potential der Unkrautreduktion durch die Untersaaten zu bewerten.

Tab. 1 Übersicht der im Untersaaten-Versuch geprüften Varianten.

Tab. 1 Overview of the evaluated main and undersown crop variants.

| Hauptfruchtvarianten | Mais-Reinsaat | Mais-Stangenbohne | Mais-Feuerbohne |
|------------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------------|
| Sorten (Kö m ⁻²) | Fabregas (11) | Fabregas (8) + Tarbais (6) | Fabregas (8) + Preisgewinner (6) |
| Kontrolle (ohne US) | X | X | X |
| Untersaat 1 (US1) | X | X | X |
| Untersaat 2 (US2) | X | X | X |

Parallel zur Mais-Blüte (BBCH 65) wurde in allen Parzellen eine Unkrautbonitur durchgeführt. Hierzu wurden der Deckungsgrad der Untersaat sowie die Deckungsgrade der auftretenden Arten erfasst. Die Bonitur wurde in der Parzellenmitte auf je zwei Flächen (0,75 m * 0,5 m) in den beiden mittleren Maisreihen durchgeführt. Darüber hinaus wurden die Biomasseaufwüchse, getrennt nach Untersaaten und Unkräutern, zum Zeitpunkt der Maisernte zentral in der Parzelle auf einer Fläche von 0,75 m Breite und 1 m Länge erfasst und bei 105 °C für 48 h getrocknet.

Ergebnisse

Die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres zeigen, dass sich beide Untersaatvarianten gut entwickeln konnten, da offenbar keine wasserlimitierenden Witterungsbedingungen auftraten, die zu starken Konkurrenzeffekten zwischen Hauptfrucht und Untersaat hätten führen können. Trotz des späten Saattermins der Untersaat wurde in allen Kulturen eine gute Bodenbedeckung der Reihenzwischenräume durch die Untersaatmischungen erzielt. Der signifikant höchste Trockenmasseertrag (Abb. 1) in Höhe von 213 dt ha⁻¹ wurde im reinen Maisbestand (ohne Untersaat) erzielt. Beide Untersaatvarianten führten hier zu einer signifikanten Ertragsminderung um durchschnittlich 23 dt ha⁻¹. In den beiden Mais-Bohnen-Gemengevarianten ohne Untersaat war der Ertrag mit 40 dt ha⁻¹ ebenfalls signifikant geringer als in der Mais-Reinsaat ohne Untersaat. Während sich die Untersaatvarianten weder innerhalb des Mais-Feuerbohnen-Gemenges, noch innerhalb der Mais-Stangenbohnen-Gemenges nachteilig auf den Gesamtertrag auswirkten, führte die US1 im Mais-Stangenbohnen-Gemenge zu einer signifikanten Ertragsminderung gegenüber den anderen Hauptkulturen.

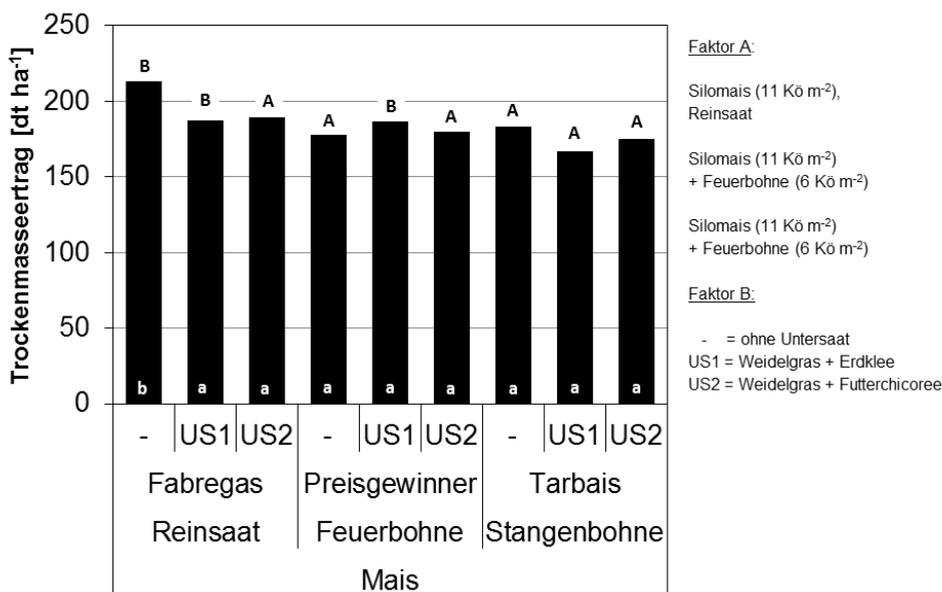


Abb. 1 Trockenmasseertrag [dt ha⁻¹] der geprüften Hauptfrüchte in Abhängigkeit der eingesetzten Untersaatvarianten im Jahr 2014. Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Hauptfrüchten (Faktor A) innerhalb einer Untersaatvariante (Faktor B), unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Untersaatvarianten (Faktor B) innerhalb derselben Hauptfrucht (Faktor A).

Fig. 1 Dry matter yield [dt ha⁻¹] of the evaluated main crops in dependence of the undersown crop variants in 2014. Different capital letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between the main crop (factor A) within the same undersown crop variant (factor B), different lowercase letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between the undersown crop variants (factor B) within the same main crop (factor A).

Die US1 mit Erdklee (Abb.2) erzielte eine signifikant höhere Biomasse als die US2 mit Futterchicorée, während sich die Biomasseproduktion der Untersaaten zwischen den Hauptfrüchten (Faktor A) nicht signifikant voneinander unterschied. Gleichmaßen konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Unkrautbiomasse in Abhängigkeit der Hauptfrüchte nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu führten beide Untersaatvarianten zu einer signifikanten

Reduktion der Unkrautbiomasse in Höhe von 70 % bei US1 und 80 % bei US2 gegenüber den Varianten ohne Untersaat (Abb. 3).

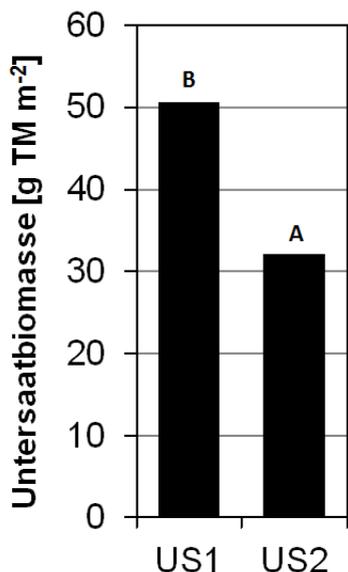


Abb. 2 Untersaatbiomasse [g TM m⁻²] zur Ernte 2014. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Untersaatvarianten.

Fig. 2 Undersown crop biomass [g TM m⁻²] at harvesting 2014. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between the undersown crop variants.

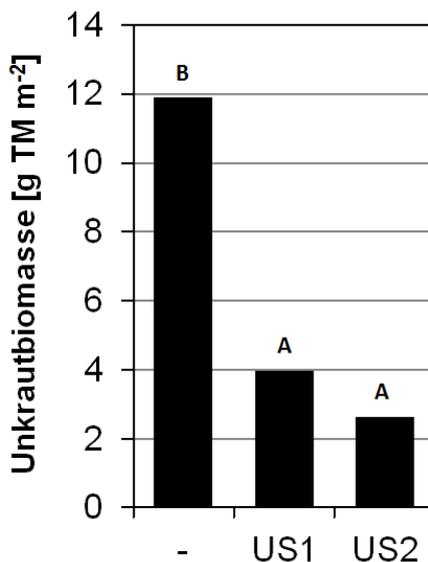


Abb. 3 Unkrautbiomasse [g TM m⁻²] zur Ernte 2014. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Untersaatvarianten.

Fig. 3 Weed biomass [g TM m⁻²] at harvesting 2014. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between the undersown crop variants.

Insgesamt wurden 20 unterschiedliche Unkrautarten in den Boniturbereichen identifiziert, wohingegen je Boniturfläche mindestens 2 bis maximal 10 Arten auftraten. Im Durchschnitt zeigten die Parzellen ohne Untersaat sechs verschiedene Unkrautarten, während in allen Untersaatvarianten nur noch durchschnittlich vier verschiedene Arten gefunden wurden. Die höchsten Unkraut-Deckungsgrade (DG) erzielte der Windenknöterich (*Polygonum convolvulus* L.: 11-34 % DG), gefolgt von Weißem Gänsefuß (*Chenopodium album* L.: 5-12 % DG).

Diskussion

Der Einsatz von Untersaaten führte im reinen Maisbestand, mit der praxisüblichen Saatkichte von 11 Körnern m⁻², zu signifikanten Ertragsminderungen um 23 dt ha⁻¹. Diese sind wahrscheinlich auf Konkurrenzeffekte von den Untersaaten auf den Mais in der Phase der höchsten Nährstoffaufnahme zurückzuführen (UCHINO et al., 2009). Der Mais zeigte im ersten Versuchsjahr ein insgesamt hohes Ertragsniveau, infolge optimaler Wachstumsbedingungen nach der Aussaat. Aufgrund der reduzierten Saatkichte des Maises in den Gemengevarianten führte dies zu signifikanten Ertragsminderungen von 30 dt ha⁻¹. Infolgedessen wurden nur geringe Ertragsunterschiede zwischen den einzelnen Prüfvarianten innerhalb der Mais-Bohnen-Gemenge beobachtet.

Während im Mais-Feuerbohnen-Gemenge keine signifikanten Ertragsunterschiede nachgewiesen werden konnten, bewirkte die US1 im Mais-Stangenbohnen-Gemenge eine signifikante Ertragsminderung, die mit 10 dt ha⁻¹ jedoch relativ gering ausfiel. Dies ist möglicherweise darauf

zurückzuführen, dass die Stangenbohne im Vergleich zur Feuerbohne, höhere Biomasseerträge erzielt hat und somit eine stärkere Konkurrenz um Nährstoffe zur US1 aufgetreten ist, während die US2 durch den tiefwurzelnden Futterchicorée vermutlich Nährstoffressourcen aus dem Unterboden mobilisieren konnte.

Obwohl sich Futterchicorée in der Regel durch eine hohe Trockenmasseproduktion auszeichnet (CHAPMAN et al., 2008; RUMBALL, 1986), erzielte die US1 mit dem Erdklee (Abb. 2) eine signifikant höhere Biomasse gegenüber der US2 mit dem Futterchicorée. Hier ist zu vermuten, dass der Futterchicorée sein volles Ertragspotential, infolge der späten Aussaat und einer erhöhten Lichtkonkurrenz bedingt durch das schnelle Maiswachstum, nicht entfalten konnte, während der Erdklee, ebenso wie das Welsche Weidelgras, sehr gut mit der kurzen Vegetationsperiode und den lichtarmen Verhältnissen im Maisbestand zurechtkam. Infolge der gelungenen Pflegemaßnahmen mit Striegel und Hacke, sowie der zügigen Jugendentwicklung der Kulturpflanzen, war der Unkrautdruck 2014 insgesamt sehr gering. Dennoch zeigen die ersten Ergebnisse, dass beide Untersaaten im Vergleich zu den Kontrollvarianten ohne Untersaat zu einer effektiveren Unkrautunterdrückung beigetragen haben. Während in den Varianten ohne Untersaaten erwartungsgemäß die höchsten Unkrautbiomassen zu verzeichnen waren, konnten diese mit der US1 bereits um 70 % reduziert werden, während die US2 im Mittel der Varianten eine Reduktion um 80 % erzielen konnte. Dies deckt sich mit den Untersuchungen aus Göttingen (JUNG und RAUBER, 2013), in denen der Erdklee in Reinsaat trotz einer geringen Biomasse bereits eine gute Unkrautunterdrückung erzielt hat, während der Futterchicorée das höchste Unkrautunterdrückungsvermögen aufwies.

Das Artenspektrum in den Boniturbereichen schwankte zwischen 2 und 10 Arten je Boniturfläche, während insgesamt 21 Unkrautarten identifiziert wurden. Die häufigsten Unkräuter mit den höchsten Deckungsgraden waren *C. album* L. und *P. convolvulus* L., die auch im deutschlandweiten Monitoring von MEHRTENS et al. (2005) zu den Unkrautarten mit der stärksten Verbreitung gehörten. Während das Auftreten von Weißem Gänsefuß, der zu starken Ertragseinbußen führen kann (v. REDWITZ und GEROWITT, 2014), nicht nachhaltig durch die Untersaaten beeinflusst wurde, konnte der Deckungsgrad vom Windenknöterich durch den Einsatz der Untersaaten im Mais von 34 % auf 20 % reduziert werden. Diese Reduktion gegenüber dem reinen Maisbestand konnte gleichermaßen durch die Mais-Bohnen-Gemenge erzielt werden. In der Gemengevariante mit der Stangenbohne konnte der Deckungsgrad von 15 % (ohne Untersaat) auf 10 % in den Untersaatvarianten gesenkt werden.

Die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres zeigen, dass der Unkrautdruck durch den Einsatz von Untersaaten im Mais nachhaltig reduziert werden, wobei jedoch geringe Ertragseinbußen infolge von Konkurrenzeffekten auftreten können.

Danksagung

Die Untersuchungen werden gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (FKZ 2813NA006).

Literatur

- AMI, 2015: AMI Markt Bilanz Öko-Landbau 2015, 228 pp.
- ARMSTRONG, K.L., K.A. ALBRECHT, J.G. LAUER und H. RIDAY, 2008: Intercropping corn with lablab bean, velvet bean, and scarlet runner bean for forage. *Crop Sci.* **48**(1), 371-379.
- BECKMANN, U. und H. KOLBE, 2004: Maisanbau im ökologischen Landbau - Teil 1: Allgemeine Anbauhinweise [online]. Fachbereich Pflanzliche Erzeugung zu finden in <http://landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/MaisanbauOeL_Kennwortschutz.pdf> .
- BRUST, J., R. GERHARDS, T. KARANISA, L. RUFF und A. KIPP, 2011: Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen. *Gesunde Pflanzen* **63**(4), 191-198.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- CHAPMAN, G., E. BORK, N. DONKOR und R. HUDSON, 2008: Forage yield and quality of chicory, birdsfoot trefoil, and alfalfa during the establishment year. *Open Agric. J.* **2**, 68-74.
- DE BAETS, S., J. POESEN, J. MEERSMANS und L. SERLET, 2011: Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *CATENA* **85**(3), 237-244.
- DESTATIS, 2015: Anbaufläche ausgewählter Anbaukulturen im Zeitvergleich [online]. zu finden in <<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/FeldfruechteGruenland/Ta-bellen/FeldfruechteZeitreihe.html>>
- FISCHER, J. und H. BÖHM, 2013: Ertrag und Futterwert von Mais-Bohnen Gemengen als Ganzpflanzensilage in der Milchviehfütterung. In: Neuhoﬀ D, Stumm C, Ziegler S, Rahmann G, Hamm U, Köpke U (eds) Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau: Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landwirtschaft . Berlin: Köster, pp 470-471.
- JUNG, R. und R. RAUBER, 2012: Reduzierung der Verunkrautung durch Untersaaten in Ökomaais. In: Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften **24**, 264-265.
- JUNG, R. und R. RAUBER, 2013: Regulation von Unkräutern im ökologischen Maisanbau durch Untersaaten. In: Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften **25**, 329-330.
- LANGDALE, G.W., R.L. BLEVINS, D.L. KARLEN, D.K. MCCOOL, M.A. NEARING, E.L. SKIDMORE ... und J.R. WILLIAMS, 1991. Cover crop effects on soil erosion by wind and water. Cover crops for clean water. *Soil and Water Conserv. Soc.*, Ankeny, IA, 15-22.
- MEHRTENS, J., M. SCHULTE und K. HURLE, 2005: Unkrautflora in Mais. *Gesunde Pflanzen* **57**(8), 206-218.
- OSBORNE, S., T. SCHUMACHER und D. HUMBURG, 2008: Evaluation of cover crops to increase corn emergence, yield and field trafficability. *Agric. J.* **3**, 397-400.
- RUMBALL, W., 1986: Grasslands Puna' chicory (*Cichorium intybus* L.). *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* **14**(1), 105-107.
- STONE, P.J., I.B. SORENSEN und P.D. JAMIESON, 1999: Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperate climate. *Field Crops Research* **63**(2), 169-178.
- TEASDALE, J.R., L.O. BRANDSÆTER, A. CALEGARI, F. SKORA NETO, M.K. UPADHYAYA und R.E. BLACKSHAW, 2007: Cover crops and weed management. In: *Non-chemical weed management: principles, concepts and technology*, Cambridge, MA, CABI, 49-64.
- UCHINO, H., K. IWAMA, Y. JITSUYAMA, T. YUDATE und S. NAKAMURA, 2009: Yield losses of soybean and maize by competition with interseeded cover crops and weeds in organic-based cropping systems. *Field Crops Research*, **113**(3), 342-351.
- VON REDWITZ, C. und B. GEROWITT, 2014: Welche Faktoren fördern das Auftreten von *Chenopodium album* auf norddeutschen Maisflächen? *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 165-171.
- ZMP, 2005: ZMP Bio-Strukturdaten 2004.

Comparison of different mechanical weed control strategies in sugar beets

Vergleich verschiedener mechanischer Unkrautstrategien in Zuckerrüben

Christoph Kunz^{*}, Jonas Felix Weber, Roland Gerhards

University of Hohenheim, Institute of Phytomedicine,
Otto-Sander-Straße 5, 70599 Stuttgart, Germany

^{*}Corresponding author, christoph.kunz@uni-hohenheim.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.059

Abstract

In sugar beet (*Beta vulgaris*.) weed control is commonly performed by herbicide application applied broadcast at splitting during the cultivation period. Mechanical weeding can be an alternative to chemical weed control. The aim of this experiment was the estimation of weed control efficacy with the use of automatic steering technologies by camera guidance, the use of different intra row weed control implements in conservation tillage systems and the influence of these techniques to the number of uprooted sugar beets. A field experiment with a randomized complete plot design was conducted in 2015 at Ihinger Hof, Germany. Weed density ranged from 0 to 12 plants m⁻² with *Chenopodium album*, *Polygonum convolvulus*, *Polygonum aviculare* as the most abundant weed species. Hoeing with the use of automatic steering technologies reduced the weed density by 82%. The use of finger weeders, rotary-harrow and torsion finger weeder reduced the weed density by 29% compared to common hoeing strategies. Differences in the number of uprooted sugar beets were not found across all treatments. We revealed the possibility of a more intense use of mechanical weeding technologies in combination with precision farming technologies in sugar beet.

Keywords: Camera steering, inter row weeding, intra row weeding, mechanical weed control, sugar beets

Zusammenfassung

In Zuckerrüben (*Beta vulgaris*) wird die Unkrautkontrolle meistens durch eine mehrfache Herbizidapplikation auf der gesamten Ackerfläche durchgeführt. Mechanische Unkrautkontrollmaßnahmen können eine Alternative zu den üblichen chemischen Unkrautbekämpfungsstrategien darstellen. Das Ziel dieser Arbeit war es, den Einsatz von automatischen kameragesteuerten Lenkmechanismen und den Einsatz unterschiedlicher „intra row“ Hackwerkzeuge in konservierender Bodenbearbeitung auf ihre Verringerung der Unkrautdichte zu untersuchen, sowie den Einfluss der angewendeten Verfahren auf die Anzahl von entwurzelten Zuckerrüben-Pflanzen zu ermitteln. Hierfür wurde ein Feldversuch im Jahr 2015 am Standort Ihinger Hof mit einer randomisierten vollständigen Blockanlage angelegt. Die Verunkrautung variierte von 0 bis 12 Pflanzen m⁻², mit den am häufigsten vorkommenden Arten *Chenopodium album*, *Polygonum convolvulus* und *Polygonum aviculare*. Der Einsatz von kameragesteuerten Lenkmechanismen reduzierte die Verunkrautung in Zuckerrüben um 82 %. Fingerhacke, Rollstriegel und Torsions-Striegel, reduzierten den Unkrautbesatz im Vergleich zum herkömmlichen Hackeinsatz um 29 %. Signifikante Unterschiede in der Bestandesdichte konnten nicht festgestellt werden. In der vorliegenden Studie wurde die Möglichkeit von mechanischen Unkrautbekämpfungsstrategien in Kombination mit konservierender Bodenbearbeitung erfolgreich untersucht.

Stichwörter: Inter-row Bekämpfung, intra-row Bekämpfung, Kamerasteuerung, mechanische Unkrautkontrolle, Zuckerrübe

Introduction

Weed control is one of the most important factors in sugar beet production. High yields cannot be realized without the use of herbicides and herbicide mixtures (MERKES et al., 2003). Unfortunately, weed composition has also diversified. Therefore chemical weed control has currently evolved as a prerequisite component of weed management in sugar beet production. The first important active ingredient was Chloridazon, mentioned in scientific literature in 1962 (FRANCIS, 2006). At the beginning of the 1980s the most important sugar beet herbicides were developed.

Integrated plant protection was established over the last decades. Nowadays the amount of herbicides should be reduced and optimized (GUMMERT et al., 2012). A part of integrated plant protection is the implementation of cover crops and cover crop mulches in sugar beet cropping

systems. Cover crops can reduce wind and water erosion and can prevent the leaching of nutrients. Furthermore, cover crops can suppress different weeds and volunteer crops up to 90% (BRUST et al. 2014). GUMMERT et al. (2012) pointed out that the erosion risk was greater after hoeing, due to incorporation of organic matter into the soil.

In order to reduce chemical weed control, mechanical weeding approaches are a promising alternative. Mechanical weed control can be conducted between the rows (inter-row hoeing) and within the crop rows (intra-row hoeing). Negative aspects of hoeing are the low driving speed and the working width of the hoe. A further problem of weed hoeing is the restricted weed control efficacy in the intra-row area (BOWMAN, 1997).

The importance of hoeing close to the crop row and the use of different intra-row hoeing tools need very accurate steering for not damaging the crop (VAN DER WEIDE et al., 2008). Therefore accurate guidance systems are needed. During the last decades, mechanical weed control has been improved by the use of new automatic row guidance systems for intra row hoeing. Identifying weeds and crops is possible by the use of cameras (GERHARDS and CHRISTENSEN, 2003). Different guidance systems (visual sensors and RTK-GNSS) identify the position of sugar beet rows and a hydraulic side-shift system steers the hoe close to the crop area.

The objectives of this study were to analyze:

- The efficacy of mechanical weed control compared to the application of common herbicides.
- The efficiency of a camera steered hoe compared to a manually steered hoe.
- The combination of mechanical weeding by hoeing, with cover cropping and conservation tillage practices.
- The reduction of cover crop mulch by using different mechanical weed control treatments.
- The differences in weed control efficacy by using different intra row tools.
- The influence of the applied techniques on the number of uprooted sugar beets

Materials and Methods

A mechanical weed control experiment was conducted in sugar beets at the research station Ihinger Hof at the University of Hohenheim, Germany [48.74° N, 8.92° E, 478 m altitude]. The soil type is a deep loam with subsoil clay. The average annual rainfall and temperature are 700 mm and 7.2 °C. The experimental design was a randomized complete block with four replicates. The plot size was 36 m² including 6 sugar beet rows.

Sugar beet cv. 'Hannibal' was sown at 10th of April in 2015. After the harvest of the preceding crop spring barley white mustard (*Sinapis alba*) was established as a cover crop, which remained until the sugar beets were sown. Conservation tillage was performed on the whole field with one flat cultivation. 107.000 sugar beet seeds ha⁻¹ were sown at a depth of 3 cm with a row distance of 0.5 m. Prior to the emergence of the sugar beets 120 kg N ha⁻¹, 62 kg S ha⁻¹ and 0.8 kg B ha⁻¹ were applied as ammonium-sulphate-nitrate with boron (ass[®]bor[®]).

The experiment included 9 different weed control treatments (Tab. 1) with an untreated control (treatment 1). Treatment 2 was the conventional herbicide application across the entire field. It was performed with Agrotop Albuz[®] CVI-TWIN nozzles with a pressure of 2.4 bars. The herbicide application was executed at 3 application times (Tab. 2). A mixture of 3.75 l ha⁻¹ Goltix[®] Titan[®] (525 g a.i. L⁻¹ metamitron and 40 g a.i. L⁻¹ quinmerac) and 3.75 l ha⁻¹ Betanal[®] maxxpro[®] (75 g a.i. L⁻¹ ethofumesate, 60 g a.i. L⁻¹ phenmedipham, 47 g a.i. L⁻¹ desmedipham, 27 g a.i. L⁻¹ lenacil) was sprayed.

In treatment 3-8 the first application was performed with intra-row band spraying on a 20 cm strip (60% reduced sprayed area compared to treatment 2). In all treatments a hoe (Einböck,

CHOPSTAR, Dorf an der Pram, Austria) with goose feet and parallelogram was used. During the following two applications in treatment 3 the hoe was guided manually. In treatment 4-8 the hoe was managed by a visual camera system (Claas, Harsewinkel, Germany). The placement of the hoe, within the row was steered based on the cameras feedback, with a hydraulic side shift. In treatment 5, 6, 7, 8 the hoe was equipped with finger weeders, torsion weeders, rotary harrow and a heap element for intra row hoeing. A heap element, attached on the goose feet, buries the weeds by throwing soil into the intra-row region. In treatment 9 the possibility of the steering system was proofed at night. Therefore the same set up was used as in treatment 4 but under dark conditions with an additional light source.

Weed density was counted after the final weed control treatment using a frame (50 * 100 cm) at three randomly selected positions within each plot. Soil coverage (%) with mulch was estimated visually at three random selected positions within each plot with a frame (50 * 100 cm) as well after sowing and the final weed control treatment.

The data were analyzed using the statistics software language R version 3.0.2 (R CORE TEAM, 2014). All data were subjected to analysis of variance (ANOVA). Homogeneity of variances was proved and data were transformed if necessary. Weed density data were transformed using the square root or log to normalize the data distribution. Statistical significance was evaluated at p-value ≤ 0.05 with appropriate pooled standard errors of the difference (s.e.d.) or treatment means. Afterwards, multiple comparison tests were performed using the Tukey-HSD test at a significance level of p ≤ 0.05.

Tab. 3 Description of experimental treatments in sugar beet in 2015.

Tab. 1 Beschreibung der Versuchsvarianten in Zuckerrüben im Jahr 2015.

| Treatment | Description |
|-----------|--------------------------------|
| 1 | untreated control |
| 2 | herbicide treatment |
| 3 | manual steering |
| 4 | camera hoe |
| 5 | camera hoe with finger weeders |
| 6 | camera hoe with torsion weeder |
| 7 | camera hoe with rotary harrow |
| 8 | camera hoe + heap element |
| 9 | camera hoe (night) |

Tab. 4 Timings for weed control methods (DAS = Days after sowing) in sugar beets at Ihinger Hof in 2015.

Tab. 2 Zeitpunkte der Unkrautbekämpfungsverfahren (DAS=Tage nach der Aussaat) in Zuckerrüben am Standort Ihinger Hof im Jahr 2015.

| Treatment | Time of Application (DAS) | | |
|---------------------|---------------------------|----|----|
| 1 | - | - | - |
| 2 | 14 | 25 | 32 |
| 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 | 14 | 31 | 36 |

Results

A total of 14 weed species were detected in the complete experiment. The most abundant weed species identified were *Chenopodium album*, *Stellaria media*, *Polygonum convolvulus*, *Polygonum aviculare* and *Matricaria chamomilla*. The highest weed density with 12 plants m⁻² was found in the untreated control (treatment 1) (Fig. 1). Significant interactions between treatment and time (date of evaluation) were found for the most weed species. The overall herbicide application (treatment 2) reduced weeds by 90%. Also in treatment 2 the lowest weed density was observed. Treatment 2 (herbicide application), treatment 5 (finger weeder), treatment 8 (heap element) and treatment 9

(camera hoe at night) were significantly different compared to treatment 1 (untreated control) in weed control efficacy. Treatment 3 (manual steering) reduced weed density by 42%. Intra row weed density was not significantly different among the treatments (data not shown).

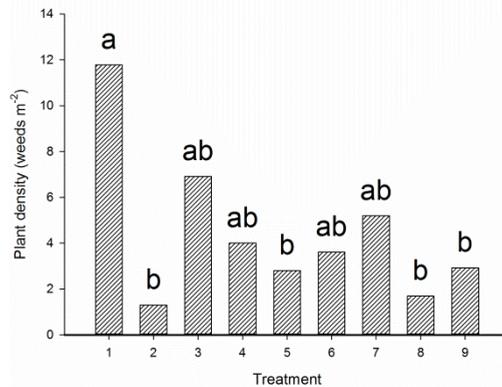


Fig. 1 Weed density in sugar beet (mean) counted after the final treatment at the Ihinger Hof. Different letters indicate significant differences at $p \leq 0.05$.

Abb. 1 Unkrautdichte nach Abschluss der Bekämpfungsmaßnahmen am Ihinger Hof. Mittelwerte wurden mit Buchstaben gekennzeichnet. Unterschiedliche Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede bei $p \leq 0,05$.

A significantly higher decrease in soil coverage was observed in treatments 3-9, where mechanical weed control was performed (Fig. 2).

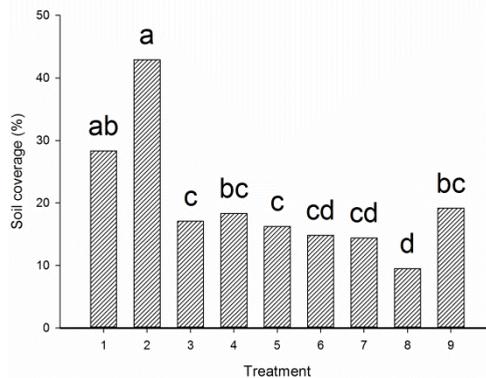


Fig. 2 Soil coverage by cover crop residues (mean) three days after completed weed control at Ihinger Hof 2015. Different letters indicate significant differences at $p \leq 0.05$.

Abb. 2 Bodenbedeckung mit Mulch nach Beendigung der Unkrautbekämpfungsmaßnahmen am Standort Ihinger Hof im Jahr 2015. Unterschiedliche Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede bei $p \leq 0,05$.

Different intra row tools (treatment 5, 6, 7, 8) reduced soil coverage significantly, compared to treatment 1 (untreated control) and treatment 2 (herbicide application). Soil coverage has shown a significant difference of 78% between treatment 2 (herbicide application) and treatment 8 (heap element).

Over all treatments no statistical differences in the number of sugar beet plants were found (Fig. 3). The mean over all treatments was 87800 plants ha⁻¹. The lowest plant density was observed in treatment 7 with 78% field emergence.

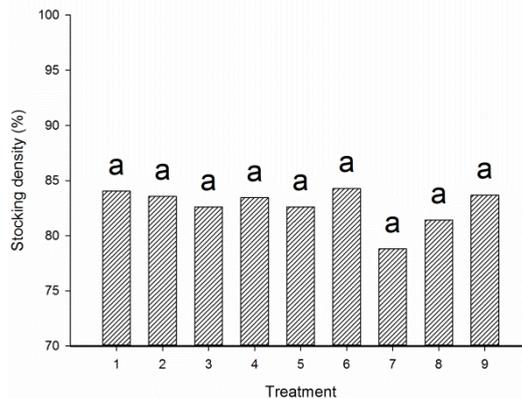


Fig. 1 Percentage stocking density of the sugar beet plants (mean) counted close to the closing of the crop rows as well as after the last treatment. Different letters indicate significant differences at $p \leq 0.05$.

Abb. 3 Prozentuale Bestandesdichte der Zuckerrübenpflanzen, kurz vor Reihenschluss und unmittelbar nach Abschluss aller Unkrautkontrollmaßnahmen. Unterschiedliche Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede bei $p \leq 0,05$.

Discussion

We observed a noteworthy herbicide reduction of up to 80% when mechanical weed control and band-spraying was combined with "intra and inter row" hoeing treatments. Similar results were achieved using band spraying and mechanical weeding (KUNZ et al., 2015). To the first weed control an additional herbicide band application was necessary, because the sugar beets were still small for mechanical intra row weeding and an adequate weed control was not possible.

Visual guidance systems, as applied in this study, led to lower weed density compared to manual steering. Due to the support of the automatic steering system a relief of the operator is achieved and hence a premature fatigue is avoided. An additional advantage of the tested system is the capability to drive at higher speed and thus to reduce labor costs. Even more, it is possible to steer the hoe closer to the crop row so the efficacy of the weed control is increase. The number of uprooted sugar beets is negligible and was not significant over all treatments. Due to a high standard error in treatment 7 more studies at different locations and years are needed to be sure about this effect.

Nevertheless, mechanical weed control is time consuming and less area efficient compared to chemical weed control strategies. Favorable weather conditions are highly important for an effective mechanical weed control strategy. Even more, favorable dry soil conditions are needed and there are a lot of stony and lumpy soils in Europe (KURSTJENS and KROPFF, 2001). In the presented study proper soil and weather conditions existed during the experimental duration. If the weather conditions were not fit for mechanical weeding then a chemical application would have been obligatory.

The tested "intra row" implements resulted in similar weed control as the chemical herbicide application. This encourages the idea to substitute some of the herbicide applications by precision mechanical weeding. Finger weeders and torsion weeders need a more accurate driving part compared to the heap element and the rotary harrow. The heap element resulted in high weed control efficacy, but the driving speed was lower compared to all other hoeing treatments. Moreover, it is also covering the sugar beet plants with soil. Therefore, harvesting of sugar beets can be hindered by this treatment, and has an increased probability of fungus infestation.

Rhizoctonia solani, a soil borne fungus infestation, can be benefited when sugar beets are buried by soil (OGOSHI, 1987).

In this study mechanical weed control aided by precision steering in combination with conservation tillage and cover crops proved to be a good potential for Integrated Pest Management. Cover crop mulches can suppress different weed species in sugar beets (KRUIDHOF et al., 2009). At the early development stages the use of protective blades are a prerequisite for mechanical weed control in sugar beet cover crop mulch systems to protect the sugar beet rows from burying and eradicating. Moreover, cover crops were mixed into the soil by mechanical weed control. This could lead to an increased risk of soil erosion. Similar results were observed in previous studies (KUNZ et al., 2015). GUMMERT et al. (2012) pointed out that adverse side effects like soil erosion have to be taken into account when using mechanical weed control. Further studies are needed for the evaluation of the reduced soil coverage in regard to different mechanical weed control measures and the expected soil erosion.

In conclusion, our findings revealed that mechanical weed control is a useful agronomic tool for weed suppression in sugar beet. Weed species, especially close to the crop, will remain a key challenge for mechanical weed control. Additional research and development are needed to exploit the potential of precision steering systems.

Acknowledgement

The authors would like to thank Kevin Leitenberger and Sabine Staub for her help during the field experiments and the companies Einböck and Claas for the supply with the technical equipment. We also would like to thank Jürgen Fiest and Südzucker AG for the technical support during the sugar beet harvest and the sugar content analysis.

References

- BOWMAN, G., 1997: Steel in the field: a farmer's guide to weed management tools. Sustainable Agriculture Network handbook series no. 2, Beltsville, Maryland, USA.
- BRUST, J., W. CLAUPEIN and R. GERHARDS, 2014: Growth and weed suppression ability of common and new cover crops in Germany. *Crop Protection* **63**, 1-8.
- FRANCIS, A.S., 2006: Development of Sugar Beet. In: Sugar Beet. DRAYCOTT P.A., Oxford, Blackwell Publishing Ltd, 9-29.
- 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.
- GUMMERT, A., E. LADEWIG and B. MÄRLÄNDER, 2012: Guidelines for integrated pest management in sugar beet cultivation - Weed control. *Journal für Kulturpflanzen* **64**, 105-111.
- KUNZ, C., C. SCHRÖLLKAMP, H.J. KOCH, C. EBER, P.S. LAMMERS and R. GERHARDS, 2015: Potenzial der mechanischen Unkrautkontrolle in Zuckerrüben zur Herbizid Einsparung. *Landtechnik* **70**, 67-81.
- KRUIDHOF, H.M., L. BASTIAANS and M.J. KROPPF, 2009: Cover crop residue management for optimizing weed control. *Plant and Soil* **318**, 169-184.
- KURSTJENS, D.A.G. and M.J. KROPPF, 2001: The impact of uprooting and soil-covering on the effectiveness of weed harrowing. *Weed Research* **40**, 211-228.
- MERKES, R, H. COENEN, F. HESSE and G. SCHÜTZ, 2003: State of the production techniques in sugarbeet - Results of the 2002 survey. *Zuckerindustrie* **128**, 425-433.
- OGOSHI, A., 1987: Ecology and pathogenicity of anastomosis and intraspecific groups of *Rhizoctonia solani* Kuhn. *Annual review of phytopathology* **25**, 125-143.
- R CORE TEAM, 2014: A Language and Environment for Statistical Computing; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria.
- WEIDE, R.Y. van der, P.O. BLEEKER, V.T.J.M. ACHTEN, L.A.P. LOTZ, F. FOGELSBURG and B. MELANDER, 2008: Innovation in mechanical weed control in crop rows. *Weed Research* **48**, 215-224.

The impact of crop diversification management on weed communities in summer cereals on organic farms in Northern Europe. An introduction to the study

Zum Einfluss von Anbaudiversität auf die Unkrautartengemeinschaften im Sommergetreide ökologisch wirtschaftender Betriebe in Nord-Europa. Eine Einführung in die Untersuchungen

Merel Hofmeijer^{1*}, Bärbel Gerowitt¹, Jukka Salonen², Theo Verwijst³, Livija Zarina⁴, Bo Melander⁵

¹Group Crop Health, Faculty of Agriculture and Environmental Sciences, University of Rostock, Satower Str. 48, 18051 Rostock, Germany

²Natural Resources Institute Finland, Jokioinen, Finland

³Swedish University of Agricultural Sciences, Crop Production Ecology, Uppsala, Sweden

⁴State Priekuli Plant Breeding Institute, Field Crop Management, Priekuli, Latvia

⁵Aarhus University, Department of Agroecology, Denmark

*Corresponding author, merel.hofmeijer@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.060

Abstract

This study is a component of the CORE Organic Plus PRODIVA project, a collaboration between international weed research institutions, which aims to improve utilization of crop diversification for weed management in northern European organic arable cropping systems. The overall goal is to maintain a diversified and manageable weed flora that can support beneficial organisms. The objective of this specific research conducted by the Group Crop Health of the University Rostock is to identify challenges in weed control, to investigate the role of crop diversification management for weed management in the field and to cluster weed species into groups according to susceptibility for crop diversity management. In order to reach this objective a diversity of methods are proposed. Data collection takes place on organic arable farms in five countries (Denmark, Sweden, Finland, Latvia and Germany) over the course of two years (2015-2016). Existing information and literature on weed occurrence and control challenges from all regions are compiled into an Ex-ante database and literature review. A two year on-farm weed survey is carried out in spring-sown cereals and combined with the collection of the field history with a focus on the implementation of crop diversification measures. All data is collected at the University of Rostock for processing and analysing; the weed survey data will be compared with the Ex-ante database and analysed for interactions with the crop diversification measures. Results will both be communicated towards the stakeholders, as well as serve for scientific publications.

Keywords: Crop diversity, farmer's participation, field surveys, spring cereals, weed control, weed diversity

Zusammenfassung

Wir stellen eine Studie im Rahmen einer Projektzusammenarbeit zwischen internationalen Unkrautforschungsgruppen in CORE Organic Plus, einer europäischen Forschungsinitiative (ERA-net), vor, Acronym PRODIVA. Das Projekt zielt darauf ab, die Nutzung von Maßnahmen der Kulturvielfalt in Anbausystemen des Ökologischen Landbaus in Nordeuropa zu verbessern. Übergeordnetes Ziel ist es eine diverse, agronomisch handhabbare Unkrautflora zu erhalten, die auch nützlichen Organismen dient.

Das spezifische Arbeitspaket der Arbeitsgruppe Phytomedizin an der Universität Rostock beinhaltet: Herausforderungen für die Unkrautbekämpfung zu identifizieren, die Rolle von Kulturartenvielfalt für die Unkrautkontrolle zu erfassen und Unkrautarten nach ihrer Empfindlichkeit für Kulturartenvielfalt zu gruppieren. Verschiedene Methoden ermöglichen es, diese Ziele zu erreichen. In fünf Ländern (Dänemark, Schweden, Finnland, Lettland und Deutschland) werden Daten von ökologisch wirtschaftenden Betrieben in zwei Jahren erhoben (2015-2016). Vorhandene Informationen und Literatur zu Unkrautaufreten und Problemen in der Unkrautbekämpfung aus allen beteiligten Regionen werden in einer ex-ante Datensammlung und einer Literaturübersicht zusammengeführt. Über zwei Jahre werden Unkräuter auf Flächen mit Sommergetreide zusammen mit Bewirtschaftungsdaten unter besonderer Beachtung von Anbauvielfalt, erfasst. Die Daten fließen an der Universität Rostock zusammen und werden dort verarbeitet und analysiert. Dazu gehören der Vergleich der Daten aus der durchgeführten Artenerfassung mit der ex-ante Datensammlung und die Interaktion mit den eingesetzten Methoden der Anbauvielfalt der Kulturpflanzen. Die Ergebnisse sind sowohl geeignet für die Kommunikation mit Stakeholdern als auch für Publikation in wissenschaftliche Veröffentlichungen.

Stichwörter: Felderhebungen, Kulturartenvielfalt, Partizipation Landwirte, Sommergetreide, Unkrautbekämpfung, Unkrautdiversität

Introduction

Within organic crop production weeds remain to be the main constrain on crop productivity (PENFOLD et al., 1995; CLARK et al., 1998; TURNER et al., 2007; ALROE and HALBERG, 2008). Also in conventional crop production heavy pesticide restrictions and increased public awareness leads to the need to decrease in, and a more efficient use of, herbicides (MELANDER, 2005). This leads to a demand for weed reduction strategies that are both effective and reduce the use and necessity of herbicides in both agricultural systems. Despite the fact that many non-herbicide reduction strategies are available and utilized in organic crop production, a total eradication of the weed flora is not to be expected. This however, leads to highly diverse weed communities within organic arable fields (HALD, 1999), lacking selection pressure posed by herbicides and increasing the ecosystem services of arable fields (MARSHALL et al., 2003). Weed reduction strategies have so far focused on direct mechanical reduction methods like mechanical weeding and thermal treatments. These methods are short term solutions, based on the instant release of weed pressure, and often require a high input of time, fossil energy and can have a negative impact on the soil structure and beneficial organisms (ASCARD et al., 2007). This is currently the most wide spread method utilized in organic agriculture.

To support the direct weed intervention there are cultural measures that can be applied. These are preventative techniques adopted into cultivation such as the choice of crop cultivar, adjusted seedbed preparation, the use of mulches and the adjustments in tillage as well as fertilization and irrigation management (MORTENSON et al., 2000; BOND and GRUNDY, 2001; BARBERI, 2002; MELANDER, 2005).

Although the combination of mechanical and cultural measures frequently improves weed control on the short term, for a long term continued controlled weed population in organic agriculture the challenge should be put into a wider context and on a higher level. A strong case is made for a transformation in weed management paradigm (BARBERI, 2002) and the adoption of cropping system strategies taking into account the systematic nature of agroecosystems (IKERD, 1993). These are the long term diversity measures, integrated into the cropping system to create a more balanced and manageable weed community. The maintenance of a higher crop diversity prevents the increased abundance of a single weed species, disrupt weed communities and thus could mitigate severe weed problems on the long run (MELANDER, 2005; BLACKSHAW et al., 2007). Examples of such crop diversity measures are: A diverse crop sequence, intercropping, cover and catch crops between cash crops and the careful choice and mixture of crop varieties (MORTENSON et al., 2000; BOND and GRUNDY, 2001; BARBERI, 2002; MELANDER, 2005).

A combination of these measures, direct, cultural and systematic, would create an all-round weed control in agricultural systems with low or no herbicide input. However, many of these crop diversity based techniques are insufficiently studied for their effect on weed communities, especially noxious weed species. Long term crop diversity measures are barely adopted into agricultural practice, partly because of the lack of experience with the application of these strategies and also because of economic restrains (BOND and GRUNDY, 2001). The lack of adoption is discouraged by the gap that still persists between practical experience and scientific knowledge. For any practical application of these crop diversification strategies, farmers need to be aware of their most severe weed problems. This would require an awareness of the main noxious weed species and how they are effected by cropping system (GEROWITT et al., 2003, STORKEY, 2006). On the other side the interaction between research and practice can be more efficient and work with established experiences and methods (MANTE and GEROWITT, 2009).

The PRODIVA Project

Our study is a component of the recently started CORE Organic PRODIVA project, a collaboration between international weed research institutions, which aims to improved utilization of crop diversification for weed management in northern European organic arable cropping systems. The over-all aim is to support organic agriculture with knowledge and tools for the exploitation of crop diversification methods to improve weed management and still maintain a diverse weed flora.

Objectives of the PROVIDA project are: (I) to strengthen the scientific foundation for the employment of crop diversification, (II) to survey the weed situation in practice region-wise and link it to the agronomic measures applied (III) to bridge the information from the surveys with the scientific groundwork (IV) to disseminate important results and recommendation to extension services and growers.

It is hypothesized that crop diversification can improve weed management while ensuring a diverse weed flora by the employment of: (I) pertinent crop sequencing that mitigates noxious weed species (II) improved cover crop establishment with selected competitive cover crop species (III) crop mixtures utilizing the resources better than sole crop species resulting in more weed suppression (IV) variety mixtures exerting a stronger pressure on weed development than the sole varieties.

PRODIVA will identify the potential and strategies for diversifying arable organic crop production systems to improve the management of weeds while maintaining weed diversity and over-all crop productivity. This will be done by capitalizing on terminated and ongoing European research on crop rotation experiments with the inclusion of work packages on crop sequencing / cover crops (Finland, Latvia, Denmark), crop mixtures (Sweden, Poland), and variety mixtures (Denmark, Poland, Latvia). The dynamics of weed, crop and cover crop growth will be determined by recording weed species and densities, and leaf area coverage (LAC) and dry matter accumulation (DMA) over time for each of the three components. This will allow an assessment of their relative proportion changes over time and how that will affect the status of the weed population.

The work package 'Crop diversification and weed vegetation on farms'

Our objective of this specific research conducted by the Group Crop Health of the University Rostock (Germany) is: to identify practical weed challenges, to investigate the role of crop diversification management for weed management in the field and to cluster weed species into groups in accordance to their susceptibility for the applied crop diversification techniques.

A literature review is compiled based on existing information about weed occurrences, which includes practical grey sources. This is supported by applied sources from all international partners in their national languages. Based on existing patterns of susceptibility for crop diversification, main weed groups are formed of noxious weeds in major arable crops in organic agriculture in Northern Europe. These findings will be discussed with farmers to align these weed groups with observations in practice. This will be an ex-ante database.

On-farm weed surveys are done on 71 farms in five different regions in Northern Europe (Germany, Sweden, Denmark, Finland and Latvia) in two years (2015-2016) using a common methodology. Fields are sampled for weed density and diversity. To minimize the effect of the current crop, the surveys focus on spring sown cereals only. Three subplots of 100 m² are monitored on each field around the time of weed flowering, after all weed control measures have been finished, but while both early and late weeds are still identifiable. In these three subplots, species are recovered to density classes. Fieldwork is executed by all respective international partners in their region. Crop diversification data are collected for each field, these include rotation, inclusion of cover crops, crop varieties and crop and or variety mixtures. Data is also collected on weed control measures and local site and soil characteristics. All data is collected at the Crop health group at the University of Rostock where they will be analysed with univariate and multivariate statistics. If existing and accessible, historical, regional or national surveys of relevance will be included in the

analyses. Determining factors for weed species compositions and weed densities will be revealed with the help of mixed models and variance partitioning approaches. Revealed factors from the on-farm surveys are compared with the factors investigated in the experiments in the other divisions of the PRODIVA project. The explaining factor for analogies and differences will be identified including weed groups, crop diversification factors and socio-economic dependencies. The latter are identified and discussed at stakeholder meetings.

The perceived outcomes for this study are: scientific contributions on the effect of crop diversification factors on weed communities in organic agriculture and a cross-check of success in weed suppression between scientific knowledge and ongoing experiments and on farm implementation. Points for improved crop diversification strategies are identified and further developed into guidelines for growers and extension services in the participating regions.

Current progress

The farmers in the German region of Mecklenburg-Vorpommern were approached through adverts in the German magazines for Organic agriculture; Bioland and Biopark. Via this medium we gathered a group of 11 farmers who were interested in participating in the research. During the first experimental year 2015, 22 fields were sampled throughout the region (Fig. 1.), of which 7 were oats, 11 summer barley and 4 summer wheat fields. Only 4 of these fields were a mixed crop, with peas or clover. Of the international partners partaking in this survey, Denmark surveyed 40 fields in the first year, Sweden and Latvia 20, and Finland 22, making a total of 124 fields surveyed in the first year. The first year's data will be collected and analysed together with the farm management data in the autumn of 2015 for the preliminary results in 2016.



Fig. 1 Locations of farms involved in the weed survey 2015 in Northern Europe.

Abb. 1 Geographische Lage der landwirtschaftlichen Betriebe, die 2015 am Unkrautmonitoring in Nordeuropa teilnahmen.

References

- ALOE, H.F. and N. HALBERG, 2008: "Development, growth, and integrity in the Danish organic sector." A knowledge synthesis on the opportunities and barriers for a continued development and market-based growth in production, processing, and scale of organic products, ICROFS in-house report 2, 55.
- ASCARD, J., P.E. HATCHER, B. MELANDER and M.K. UPADHYAYA, 2007: 10 Thermal weed control. Non-chemical weed management: principles, concepts and technology. In M.K. UPADHYAYA and R.E. BLACKSHAW, eds. *Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*, Wallingford, UK: CAB International (www.cabi.org).
- BARBERI, P., 2002: Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Research* **42**(3), 177-193.
- BLACKSHAW, R.E., R.L. ANDERSON and D. LEMERLE, 2007: 3 Cultural Weed Management. *Non-chemical Weed Management*. In M.K. UPADHYAYA and R.E. BLACKSHAW, eds. *Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*, Wallingford, UK: CAB International (www.cabi.org).
- BOND, W. and A.C. GRUNDY, 2001: Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research* **41**(5), 383-405.
- CLARK, M.S., H. FERRIS, K. KLONKY, W.T. LANINI, A.H.C. VAN BRUGGEN and F.G. ZALOM, 1998: Agronomic, economic, and environmental comparison of pest management in conventional and alternative tomato and corn systems in northern California. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **68**(1), 51-71.
- GEROWITT, B., E. BERTKE, S.K. HESPELT and C. TUTE, 2003: Towards multifunctional agriculture—weeds as ecological goods? *Weed Research* **43**(4), 227-235.
- HALD, A.B., 1999: Weed vegetation (wild flora) of long established organic versus conventional cereal fields in Denmark. *Annals of Applied Biology* **134**(3), 307-314.
- IKERD, J.E., 1993: The need for a system approach to sustainable agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **46**(1), 147-160.
- MANTE, J. and B. GEROWITT, 2009: Learning from farmers' needs: Identifying obstacles to the successful implementation of field margin measures in intensive arable regions. *Landscape and Urban Planning* **93**(3), 229-237.
- MARSHALL, E.J.P., V.K. BROWN, N.D. BOATMAN, P.J.W. LUTMAN, G.R. SQUIRE and L.K. WARD, 2003: The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research* **43**(2), 77-89.
- MELANDER, B., I.A. RASMUSSEN and P. BARBERI, 2005: Integrating physical and cultural methods of weed control—examples from European research. *Weed Science* **53**(3), 369-381.
- MORTENSEN, D.A., L. BASTIAANS and M. SATTIN, 2000: The role of ecology in the development of weed management systems: an outlook. *Weed Research* **40**(1), 49-62.
- PENFOLD, C.M., M.S. MIYAN, T.G. REEVES and I.T. GRIERSON, 1995: Biological farming for sustainable agricultural production. *Animal Production Science* **35**(7), 849-856.
- STORKEY, J., 2006: A functional group approach to the management of UK arable weeds to support biological diversity. *Weed Research* **46**(6), 513-522.
- TURNER, R.J., G. DAVIES, H. MOORE, A.C. GRUNDY and A. MEAD, 2007: Organic weed management: a review of the current UK farmer perspective. *Crop Protection* **26**(3), 377-382.

Einfluss von reduzierter Bodenbearbeitung und Direktsaat auf die Segetalvegetation in ökologisch produzierten Ackerbohnen

Influence of conservation tillage and zero tillage on arable weeds in organic faba bean production

Rüdiger Jung*, Rolf Rauber

Georg-August-Universität Göttingen, DNPW, Abteilung Pflanzenbau,
Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen

*Korrespondierender Autor, rjung@uni-goettingen.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.061

Zusammenfassung

In den Erntejahren 2008, 2009 und 2010 wurden am Standort Reinshof (Auenboden/Vega, Süd-Niedersachsen) Feldversuche mit dem Fruchtfolgeausschnitt Sommergerste – Hafer-Sonnenblumen-Gemenge (Winter-Zwischenfrucht) – Ackerbohnen durchgeführt. Folgende Ziele wurden verfolgt: Reaktionen der Segetalvegetation auf unterschiedliche Bewirtschaftungsmaßnahmen sowie Förderung der symbiotischen N₂-Fixierung der Ackerbohnen durch N-Immobilisierung nach Zwischenfrucht-Anbau. Drei Varianten bezüglich der Bodenbearbeitung vor Aussaat der Ackerbohnen wurden miteinander verglichen (1) Direktsaat mit Cross-Slot-Aussaatechnik, (2) reduzierte Bearbeitung mit dem Flügelscharrubber mit Cross-Slot-Aussaatechnik und (3) tiefwendende Pflugbearbeitung mit Einzelkorn-Aussaatechnik. Das Zwischenfrucht-Gemenge bildete im Herbst ausreichend Biomasse (bis zu 28 dt TM ha⁻¹), um Ackerwildkräuter effektiv zu unterdrücken. Die Zwischenfrüchte akkumulierten Stickstoff in hohem Maße (bis zu 65 kg N ha⁻¹) und nachfolgende Ackerbohnen reagierten mit signifikanten Steigerungen (bis zu 10 %) der symbiotischen Stickstoff-Fixierung gegenüber der Kontrollvariante Schwarzbrache. Mit zunehmender Intensität der Bodenbearbeitung stieg die Abundanz des Leitunkrautes Acker-Senf (*Sinapis arvensis*) in den Ackerbohnen-Beständen signifikant an. Die von der Segetalvegetation gebildete Biomasse war Ende Mai/Anfang Juni nach Direktsaat höher als bei reduzierter oder tiefgründiger, wendender Bodenbearbeitung. Die Abundanz von Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) war im Jahr 2010 umso höher, je geringer die Bodenbearbeitungsintensität ausfiel. Die mittleren Korn-Erträge der Ackerbohnen bewegten sich in den Erntejahren 2009 und 2010 auf niedrigem Niveau (im Mittel: 30 bzw. 24 dt TM ha⁻¹).

Stichwörter: Ackerbohnen, Ackerwildkräuter, Bodenbearbeitung, Direktsaat, Ökologischer Landbau

Abstract

The field experiments were conducted in 2008, 2009 and 2010 on a Gleyic Cambisol near Goettingen, Lower Saxony, Germany. A crop sequence of summer barley, winter cover crops (intercropped oat and sunflower) and summer faba bean was examined under organic farming conditions. Emphasis was given to the studying of arable weeds in faba beans. However, enhancing symbiotic nitrogen fixation of summer faba beans by accumulation of soil-nitrogen by winter cover crops was a second objective in these experiments. The faba bean field plots had been cultivated with three different tillage systems: (i) zero tillage, sowing with cross-slot-technique, (ii) conservation tillage (wing share cultivator, rotary harrow) sowing with cross-slot-technique and (iii) conventional tillage with mouldboard plough followed by rotary harrow, sowing with precision monoseeder. In plots with zero tillage preceding cover crops were left as mulch on the soil surface. Cover crops accumulated adequate nitrogen amounts and following faba beans reacted with significant increase (up to 10%) in symbiotic nitrogen fixation. Maximum of arable weed biomass was observed in zero tillage-plots at the end of May or early in June. The abundance of the predominant weed wild mustard (*Sinapis arvensis*) increased with tillage intensity, whereas the abundance of creeping thistle (*Cirsium arvense*) increased in 2010 with decreasing tillage intensity. Average grain yield of faba beans was low with only 3.0 and 2.4 t ha⁻¹ in 2009 and 2010, respectively.

Keywords: Arable weeds, cultivation, faba bean, organic farming, zero tillage

Einleitung

Im Ökologischen Landbau bestehen Ansätze zur Realisierung von Fruchtfolgen, die zumindest temporär auf den Einsatz des Pfluges verzichten (SCHMIDT, 2010; MASSUCATI, 2013). Damit besteht u.a. die Chance, den innerbetrieblichen Treibstoffverbrauch zu senken. Bei Anbausystemen ohne Pflugeinsatz können jedoch Ackerwildkräuter im ökologischen Landbau tolerierbare Schad-

schwollen deutlich überschreiten. Es wurde daher in den Jahren 2008 bis 2010 in Feldversuchen untersucht, wie sich bestimmte Verfahren zur Gestaltung des Körnerleguminosen-Anbaus auf die Segetalvegetation auswirken.

Material und Methoden

Ackerbohnen (*Vicia faba*, Sorte Fuego) wurden in randomisierten Feldversuchen (Spaltanlage mit vier Wiederholungen, Parzellengröße für Ackerbohnen: 90 m²) als Hauptfrucht-Körnerleguminose in den Erntejahren 2009 und 2010 auf dem Versuchsgut Reinshof (Süd-Niedersachsen) nach den Richtlinien des Ökologischen Landbaus produziert. Die Feldversuche verfügten über ein zweifaktorielle Design, da neben der Bodenbearbeitung bzw. Aussaatform auch die vorangestellte Winter-Zwischenfrucht (mit; ohne: +ZF; -ZF; Parzellengröße je Variante: 180 m²) variiert wurde.

Die Böden des Versuchsgutes Reinshof werden überwiegend als Auenböden aus Schwemmlöß angesprochen. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 651 mm, die Jahresmitteltemperatur wird mit 9,2°C angegeben (Quelle: Deutscher Wetterdienst DWD, Referenzperiode 1981 bis 2010). Die Ackerzahlen für die Untersuchungsflächen werden mit 93 (2009) bzw. 89 (2010) veranschlagt (NIBIS-KARTENSERVER, 2015). Bei der Bodenart handelt es sich um lehmigen Schluff (Ut2 bzw. Ut3). Die Humusversorgung des Oberbodens ist bei Gehalten zwischen 2,7 bzw. 2,9 % als mittel humos einzustufen. Die Grundnährstoffversorgung (P und K) bewegte sich in Gehaltsklasse C, jedoch wurde im Jahr 2010 für Kalium ein leichter Mangel festgestellt (Gehaltsklasse B).

Am 5.8.2008 (vor dem 1. Erntejahr) sowie am 14.8.2009 (vor dem 2. Erntejahr) wurde ein nicht-legumes Zwischenfruchtgemenge (+ZF) ausgesät. Das Gemenge bestand aus Hafer (Sorte Husky, 250 Körner m⁻²) und Sonnenblumen (Sorte Methasol, 15 Körner m⁻²). Die Vorfrucht war jeweils Sommergerste. Der Zwischenfruchtanbau ermöglichte eine effiziente Aufnahme des bodenbürtigen Stickstoffs und dessen Festlegung in der oberirdischen Biomasse. Die über Winter absterbenden Zwischenfrüchte bildeten eine Mulchauflage, die im Folgejahr auf Teilen der Untersuchungsfläche verblieb. Dadurch sollten zwei Ziele erreicht werden: Steigerung der symbiotischen N₂-Fixierleistung der Körnerleguminose sowie verminderter Wuchs der Segetalvegetation. Als Vergleich wurden Flächen ohne Bewuchs angelegt (-ZF), indem Kräuter und Gräser von Mitte August bis Ende Oktober mit einem Abflamngerät beseitigt wurden.

Zur Hauptkultur Ackerbohnen wurden folgende Bodenbearbeitungsvarianten verglichen:

- (1) Direktsaat ohne Grundbodenbearbeitung
- (2) reduzierte, flache (ca. 15 cm) Bodenbearbeitung mit Flügelschargrubber und unter Pflugverzicht
- (3) tiefwendende (ca. 25 cm) Bodenbearbeitung mit dem Pflug

Bezüglich der drei Bodenbearbeitungsvarianten betrug die Parzellengröße jeweils 360 m² (24 m Breite, 15 m Länge). Die Aussaat der Ackerbohnen (35 Körner m⁻²) erfolgte in den beiden pfluglosen Varianten mit der sogenannten Cross-Slot-Direktsaattechnik. Kennzeichnend ist ein Saatschlitz mit kreuzförmigem Querschnitt bis ca. 6 cm Tiefe. Das Saatgut wird durch kleine Scharflügel seitlich neben dem Scheibensech abgelegt. Auf diese Weise soll das Saatgut in ungestörten Bodenschichten genügend Feuchtigkeit für die Keimung erhalten. Zudem wird das ungewünschte Einschmieren von Stroh verhindert (EMMINGER, 2011). Nach Wendepflugbearbeitung (Variante 3) nebst Saatbettbereitung mit der Kreiselegge wurden die Ackerbohnen mit einer Einzelkornsämaschine (Monoair, Fa. Fähse) ausgebracht. Die Arbeitsbreite betrug mit beiden Sägeräten jeweils 1,5 m, so dass bei einem Reihenabstand von ca. 38 cm jeweils vier Drillreihen gesät wurden. In jeder Parzelle (6 m Breite, 15 m Länge) waren somit 16 Drillreihen vorhanden. Die Aussaat erfolgte jeweils am 8. April (2009 und 2010). Praxisübliche mechanische Regulierungsmaßnahmen wie Striegeln oder Hacken wurden in den Ackerbohnen-Beständen nicht durchgeführt, um die Mineralisierung von Stickstoff im Boden nicht zusätzlich zu fördern. Diese Maßnahmen unterblieben, um mögliche Effekte des Zwischenfruchtanbaus hinsichtlich der symbiotischen Stickstoff-Fixierung der Ackerbohnen zu verdeutlichen. Stattdessen wurden die Ackerwildkräuter Mitte Juni mit einem Reihenmulcher (Fa. Gardena) mehrfach oberflächennah

abgeschnitten. Diese Biomasse verblieb auf der Fläche. Die Trockenmasse der Ackerwildkräuter (Tab. 1) sowie der Ackerbohnen (ohne Tabelle) wurde parzellenweise auf Kleinteilflächen (ca. 1 m²) Ende Mai oder Anfang Juni sowie Mitte August erfasst. Die symbiotische Stickstoff-Fixierung der Ackerbohnen wurde zur Kornernte (Mitte August) mit der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (SHEARER und KOHL, 1986) und der erweiterten Differenzmethode (STÜLPNAGEL, 1982) berechnet. Als Referenzpflanze diente Sommerweizen (Sorte Granny), der benachbart zu den Ackerbohnen angebaut wurde.

Ergebnisse

Das nicht-legume Zwischenfrucht-Gemenge unterdrückte im Herbst die Ackerwildkräuter sehr effizient. Zeiternten der ZF-Grünmasse auf Kleinteilflächen (ca. 0,7 m²) jeweils Ende Oktober 2008 bzw. Ende Oktober 2009 ergaben einen Ertrag in Höhe von 28 bzw. 14 dt TM ha⁻¹. Die maximale Bestandeshöhe betrug 0,7 m bzw. 0,5 m. Entsprechend gering war das Aufkommen der Ackerwildkräuter: 0,5 bzw. 1,5 dt TM ha⁻¹. Das Wachstum der Ackerwildkräuter wurde durch die Zwischenfrüchte, die als Nährstoff- und Licht-Konkurrenten anzusehen sind, reduziert. Die Zwischenfrüchte akkumulierten wie erhofft relativ hohe Stickstoff-Mengen (Ende Oktober bis zu 65 kg N ha⁻¹).

Die in Tabelle 1 dargestellten TM-Erträge der Segetalvegetation bewegten sich im Mai bzw. Juni zwischen 4,7 und 13,3 dt ha⁻¹. In der Direktsaatvariante wurden die höchsten Ackerwildkraut-Erträge beobachtet (10 bis 13 dt ha⁻¹). Keinen Unterschied gab es jedoch zwischen reduzierter, flacher Bodenbearbeitung und tiefwendender Pflugbearbeitung. Ferner zeigte sich, dass der Anbau von Zwischenfrüchten vor Ackerbohnen im Vergleich zur Schwarzbrache vor Ackerbohnen zu einer moderaten Verringerung der Ackerwildkraut-Trockenmasse beitrug (Tab. 1).

Tab. 1 Trockenmasse-Ertrag (dt TM ha⁻¹) der Segetalvegetation in den Ackerbohnen-Beständen der Untersuchungsjahre 2009 und 2010. Regulierungsmaßnahmen wurden jeweils zwischen dem ersten und zweiten Probenahmetermin (Mitte Juni) durchgeführt. Arithmetischer Mittelwert, vier Feldwiederholungen.

Tab. 1 Biomass (DM yield in dt ha⁻¹) of arable weeds 2009 and 2010 in faba bean plots. Weed control was carried out in mid-June between first and second sample date. Arithmetic means, four replications.

| | 2009 | | 2010 | |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 25.05. | 17.08. | 02.06. | 10.08. |
| BBCH Ackerbohnen | 55 | 87 | 35 | 89 |
| Bodenbearbeitung | | | | |
| ohne, Direktsaat | 10,4 | 5,4 | 13,3 a | 3,9 |
| reduziert, Grubber | 6,4 | 7,0 | 5,7 b | 5,8 |
| tiefwendend, Pflug | 9,0 | 6,4 | 4,7 b | 5,7 |
| GD 5 % Tukey | 5,2 n.s. | 3,8 n.s. | 4,7* | 4,3 n.s. |
| Zwischenfrucht | | | | |
| +ZF | 8,0 | 5,8 | 6,4 | 4,5 |
| -ZF | 9,2 | 6,7 | 9,5 | 5,8 |
| GD 5 % Tukey | 3,5 n.s. | 2,6 n.s. | 3,2 n.s. | 2,9 n.s. |
| Gesamt-Mittel | 8,6 | 6,3 | 7,9 | 5,1 |

Neben Acker-Senf (*Sinapis arvensis*) wurden für die in Tabelle 1 aufgeführten TM-Erträge folgende Arten häufig beobachtet: Windenknöterich (*Fallopia convolvulus*), Acker-Hellerkraut (*Thlaspi arvense*), Taubnessel-Arten (*Lamium purpureum* und *L. amplexicaule*), Ehrenpreis-Arten (*Veronica hederifolia* und *V. persica*), Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*) und Vogelmiere (*Stellaria media*). Weitere Arten kamen zerstreut oder selten vor, z.B. Acker-Schöterich (*Erysimum cheiranthoides*), Acker-Gauchheil (*Anagallis arvensis*) oder Acker-Lichtnelke (*Silene noctiflora*).

Die Abundanz des Acker-Senfs wurde in den Ackerbohnen-Beständen signifikant von den Bodenbearbeitungsmaßnahmen und vom Vorhandensein der Zwischenfrüchte beeinflusst (Abb. 1). Zudem wurden im Jahr 2009 Wechselwirkungen zwischen den zwei

Untersuchungsfaktoren festgestellt. Die höchsten Abundanzen des Acker-Senfs fanden sich in den Teilflächen mit Pflugbearbeitung und ohne vorangestellte Zwischenfrucht, die geringste Individuenzahl wurde in den Teilflächen mit Direktsaat und vorheriger Zwischenfrucht festgestellt.

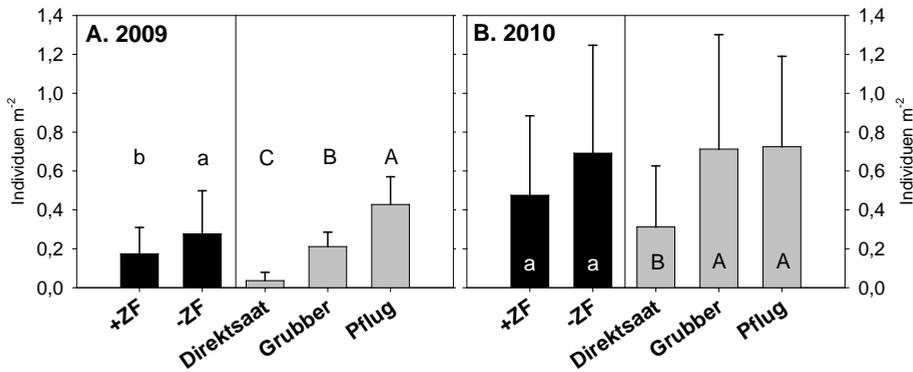


Abb. 1 Abundanz von Ackersenf (*Sinapis arvensis*) in Ackerbohnen differenziert nach Zwischenfruchtanbau und Bodenbearbeitung, jeweils Mitte Juli 2009 (A) und 2010 (B). Arithmetische Mittelwerte und Standardabweichung.

Fig. 1 Abundance of wild mustard (*S. arvensis*) in faba bean plots with respect to cover crops and soil cultivation. Observations in mid-July 2009 (A) and 2010 (B). Arithmetic means and standard deviation.

Im Jahr 2009 blieb die Abundanz der Acker-Kratzdistel von den Untersuchungsfaktoren „Bodenbearbeitung“ und „Zwischenfrucht“ unbeeinflusst (Tab. 2). Im Jahr 2010 wurde Anfang Mai ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Abundanz der Acker-Kratzdistel beobachtet. Demnach war bei Direktsaat das Vorkommen der Acker-Kratzdistel signifikant höher als bei Einsatz des Wendepfluges. Reduzierte Bodenbearbeitung mit dem Flügelschargrubber führte jedoch nicht zu einer deutlichen Reduzierung der Acker-Kratzdistel (Tab. 2).

Tab. 2 Abundanz (Anzahl Triebe pro 10 qm) der Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) in den untersuchten Ackerbohnen-Beständen Mitte Juli 2009¹ sowie Anfang Mai 2010².

Tab. 2 Abundance (number of shoots per 10 sqm) of creeping thistle (*C. arvense*) in faba bean plots 2009¹ (mid-July) and 2010² (early May).

| | 2009 | 2010 |
|-------------------------|-----------|-----------|
| Bodenbearbeitung | | |
| ohne, Direktsaat | 1,5 a | 13,5 a |
| reduziert, Grubber | 1,9 a | 8,2 ab |
| tiefwendend, Pflug | 1,3 a | 1,8 b |
| GD 5 % Tukey | 1,16 n.s. | 8,00* |
| Zwischenfrucht | | |
| +ZF | 1,7 a | 9,2 a |
| -ZF | 1,4 a | 6,3 a |
| GD 5 % Tukey | 0,78 n.s. | 5,36 n.s. |

¹ Ackerbohnen: BBCH 78; ² Ackerbohnen: BBCH 12

Die symbiotisch fixierten Stickstoffmengen der Ackerbohnen (Kornertrag inklusive Erntereste ohne Wurzelmasse) bewegten sich in Abhängigkeit von der Berechnungsmethode zwischen 111 kg N ha⁻¹ und 146 kg N ha⁻¹. Die Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten waren bezüglich der Stickstofffixierleistung nur gering ausgeprägt, während vorangestellter

Zwischenfruchtanbau im Vergleich zur Schwarzbrache bis zu 10 % höhere N₂-Fixieraten erbrachte.

Diskussion

Die meisten Ackerwildkrautarten zeigten in den Feldversuchen erwartungsgemäß ihre höchste Trockenmasse und Abundanz in der Direktsaat-Variante (Tab. 1, 2). Bei Acker-Senf (*Sinapis arvensis*) hingegen war das Gegenteil der Fall (Abb. 1), allerdings war die Anzahl der Individuen pro m² sehr gering (<1). In den Jahren 2009 und 2010 war Acker-Senf auf vielen Ackerschlägen der langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen des Versuchsgutes Reinshof als Leitunkraut anzusprechen. Möglicherweise wurde die Art in den Vorjahren durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen, wie z.B. intensives, tiefgründiges Pflügen gefördert. Acker-Senf ist ein Therophyt, der eine hohe Zahl an Samen bilden kann. Diese können viele Jahre im Boden überdauern. Der Wendepflug bringt vergrabene Samen wieder an die Oberfläche. Dort sind die Keimbedingungen für diese Art ideal. Zudem fördert ein erhöhtes Angebot an bodenbürtigem Stickstoff den Acker-Senf zusätzlich. Dies wurde in der Variante –ZF (Abb. 1) beobachtet.

In beiden Untersuchungsjahren, aber besonders im Jahr 2010, war die Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) ein relativ häufig anzutreffendes perennierendes Ackerwildkraut. Es ist bekannt, dass die Acker-Kratzdistel durch bestimmte Bewirtschaftungsmaßnahmen gefördert werden kann, z.B. Verschleppung von Wurzelteilen mit Bodenbearbeitungsgeräten. Eine Hypothese besagt, dass der Einsatz des Flügelschargrubbers im Vergleich zur Direktsaat zur Reduzierung der Acker-Kratzdistel beiträgt (LUKASHYK und KÖPKE, 2005). Dies konnte nicht eindeutig verifiziert werden (Tab. 2). Nichtwendende Grundbodenbearbeitung führte in den Versuchen tendenziell zu einer Zunahme der Acker-Kratzdistel. Diese Feststellung deckt sich mit Ergebnissen anderer Autoren (PEKRUN et al., 2003).

Literatur

- EMMINGER, R. (Hrsg.), 2011: Sätechnik für Mulch- und Direktsaat. Sonderheft „Landwirtschaft ohne Pflug“. Verlag Emminger & Partner GmbH, Berlin. 115 S.
- LUKASHYK, P. und U. KÖPKE : 2005: Strategies to control *Cirsium arvense* under organic farming conditions. In: Researching Sustainable Systems - International Scientific Conference on Organic Agriculture, Adelaide, Australia, Sept. 21–23. 679 S.
- MASSUCATI, L.F.P., 2013: Temporäre Direktsaat von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) im Ökologischen Landbau. Dissertation Universität Bonn. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau. Verlag Dr. Köster, Berlin. 158 S.
- NIBIS-KARTENSERVER, 2015: <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/> besucht im September 2015. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.
- SCHMIDT, H. (Hrsg.), 2010: Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Verlag Dr. Köster, Berlin. 288 S.
- SHEARER, G. und D.H. KOHL, 1986: N₂ fixation in field settings: estimation based on natural ¹⁵N abundance. Australian Journal of Plant Physiology **13**, 699–756.
- STÜLPNAGEL, R., 1986: Schätzung der von Ackerbohnen symbiontisch fixierten Stickstoffmenge im Feldversuch mit der erweiterten Differenzmethode. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau **151**, 446–458.
- PEKRUN, C., A. HÄBERLE und W. CLAUPEIN, 2003: Bedeutung von Grund- und Stoppelbearbeitung für die Kontrolle der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) im ökologischen Landbau. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft **255**, 29–34.

Robotic intra-row weed hoeing in maize and sugar beet

Roboter-gesteuerte Unkrauthacke in der Reihe von Mais und Zuckerrüben

Roland Gerhards^{1*}, Markus Sökefeld¹, Gerassimos Peteinatos¹, Adnan Nabout A², Johann Maier³, Peter Risser³

¹University of Hohenheim, Germany

²University of Wuppertal, Germany

³Südzucker AG Mannheim, Germany

*Corresponding author, gerhards@uni-hohenheim.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.062

Abstract

A prototype of robotic intra-row weed hoeing in maize and sugar beet is presented in this study. Weeds in the crop rows were identified using a bi-spectral image analysis system and shape analysis. Positions of weeds in the images were recorded. Selective weed control in the row was performed with a modified finger weeder driven by electrical motors. Speed of the finger weeder was increased at positions where only weeds were classified. The system was triggered by an encoder and controlled by a micro-controller.

Keywords: Digital image analysis, mechanical weed control, precision farming

Zusammenfassung

Ein Prototyp einer roboter-gesteuerten Hacke zur Unkrautbekämpfung in den Reihen von Mais und Zuckerrübe wird in dieser Studie vorgestellt. Unkräuter und Kulturpflanzen wurden mit einer bi-spektralen Kamera und Formenanalyse erkannt. Die Positionen der Unkräuter im Bild wurden bestimmt. Die selektive Unkrautbekämpfung in der Reihe geschah mit einer modifizierten Fingerhacke, die über Elektromotoren angetrieben werden. Die Fingerhacke wurde beschleunigt, wenn nur Unkräuter in der Reihe klassifiziert wurden. Das System wurde mit einem Inkrementalgeber getriggert und über einen Micro-Controller gesteuert.

Stichwörter: Digitale Bildverarbeitung, mechanische Unkrautkontrolle, Precision Farming

Introduction

Vision-based and GNSS-based row guidance systems for inter-row hoeing have been developed for maize, soybean, sugar beet and other crops with wide row spacing. NØRREMARK et al. (2008), SUN et al. (2010), PEREZ-RUIZ et al. (2012), RASMUSSEN et al. (2012) and SLAUGHTER et al. (2012) have created crop seed/plant maps using RTK-GNSS technology that can later be used for intra-row mechanical weed control and spot spraying. RUCKELSHAUSEN et al. (2006) integrated a multi-sensor approach for weed identification in maize with a robotic system for selective weed control within maize rows. Selective intra-row weeding however has not yet been realized for many other arable crops. Weeds within crop rows and close to the crop are difficult to remove without damaging the crop. Intra-row weeding can be carried out in several different ways. We developed a prototype intra-row hoe for robotic weeding in maize and sugar beet.

Materials and Methods

A bi-spectral camera taking simultaneously a picture in the infrared and red spectrum and image analysis algorithms were developed to automatically identify weed species in maize and sugar beet based on shape features. Geometric shape features and fourier descriptors of the outer contour were computer for a training set of sugar beets and weed species commonly occurring in sugar beet. A step-wise classifier was developed for automatic weed/crop classification. Positions of crops and weeds were recorded in the classification results. Thresholds of one weed in each image were set to decide when the speed of the finger weeder was increased. Electric motors were rotating the finger weeder with a fluctuating speed. An encoder was mounted in the axis of a non-driven wheel running over the ground providing information concerning distance. After calibration, the distance between two images and between classified plants in the image and the finger weeder, were known to the system. A micro-controller gathered the information from the

encoder, and the classification program, triggered the camera and the finger weeder. If weeds were close to crops or if no weeds were identified, the speed of the finger weeder was not increased (Fig. 1).

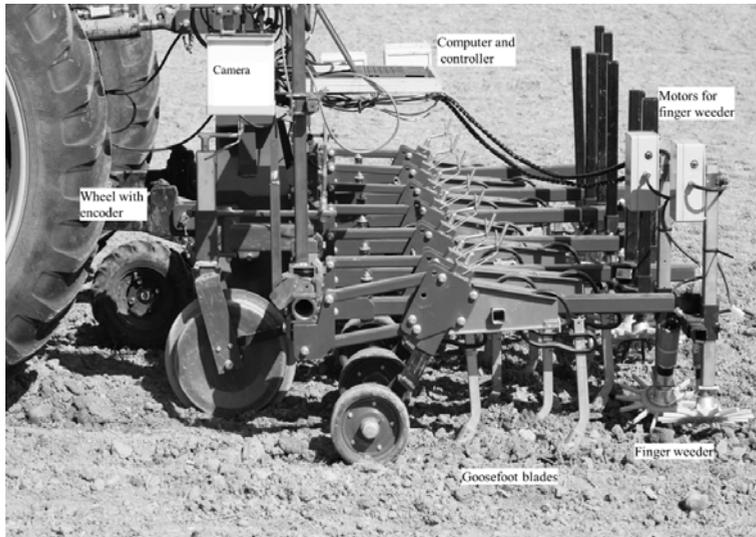


Fig. 1 Sensor-guided hoe with goosefoot blades operating between crop rows and an electronically controlled finger weeder in the intra-row area.

Abb. 1 Sensor-gesteuerte Hacke mit Gänsefußscharen zwischen den Reihen und einer elektronisch geregelten Fingerhacke in der Reihe.

Results and Discussion

At driving speed (2 km h^{-1}), the finger weeder worked selectively and did not damage the crops. At 8 km h^{-1} , the finger weeder removed all plants in the row.

So far, the prototype presented in this study has not been tested in field trials. Therefore, no results are presented in this manuscript. Field trials will be carried out in spring 2016 with different speeds, weed infestations and soil types in maize and sugar beet. We further plan to combine intra-row hoeing with camera-guided inter-row hoeing.

References

- NØRREMARK, M., H-W. GRIEPENTROG, J. NIELSEN and H. TANGEN SØGAARD, 2008: The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intra-row mechanical weed control in row crops. *Biosystems Engineering* **101**, 396-410.
- PÉREZ-RUIZ, M., D.C. SLAUGHTER, C.J. GLIEVER and S.K. UPADHYAYA, 2012: Automatic GPS-based intra-row weed knife control system for transplanted row crops. *Computers and Electronics in Agriculture* **80**, 41-49.
- RASMUSSEN, J., H-W. GRIEPENTROG, J. NIELSEN and C. BUGGE HENRIKSEN, 2012: Automated intelligent rotor tine cultivation and punch planting to improve the selectivity of mechanical intra-row weed control. *Weed Research* **52** (4), 327-337.
- RUCKELSHAUSEN, A., R. KLOSE, A. LINZ, J. MARQUERING, M. THIEL and S. TÖLKE, 2006: Autonomous robots for weed control [Autonome Roboter zur Unkrautbekämpfung]. *Journal of Plant Diseases and Protection Sonderheft* **XX**, 173-180.
- SLAUGHTER, D.C., M. PÉREZ-RUIZ, F. FATHALLAH, S. UPADHYAYA, C.J. GLIEVER and B. MILLER, 2012: GPS-based intra-row weed control system: performance and labor savings. *Proc. Int. Conf. of Agricultural Engineering CIGR-AgEng*, 8-12.
- SUN, H., D.C. SLAUGHTER, M. PÉREZ RUIZ, C. GLIEVER, S.K. UPADHYAYA and R.F. SMITH, 2010: RTK GPS mapping of transplanted row crops. *Computers and Electronics in Agriculture* **71** (1), 32-37.

Entwicklung eines Prüfsystems zur Erfassung und Bewertung der Unkraut unterdrückenden Wirkung für Blaue Lupinen

Development of a testing system for the documentation and evaluation of the weed-suppressing ability of blue lupins

Herwart Böhm

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau
herwart.boehm@ti.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.063

Zusammenfassung

Im Rahmen eines Verbundprojektes zur züchterischen Weiterentwicklung von Blauen und Gelben Lupinen, das in Kooperation mit dem Julius Kühn-Institut, Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen (Koordination), der Saatzeit Steinach und dem IPK Gatersleben durchgeführt wird, wird in dem am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau bearbeiteten Teilprojekt (I) ein Prüfsystem zur Erfassung und Beurteilung der Unkraut unterdrückenden Wirkung für Blaue Lupinen entwickelt, und (II) dieses Prüfsystem an Prebreeding-Linien der Blauen Lupine getestet. Hierzu wurden im ersten Projektjahr Parzellenversuche in 3-facher Feldwiederholung mit zwei sich phänologisch stark unterscheidenden Sorten (cv. Boruta [endständiger Typ], cv. Boregine [verzweigter Typ]) in Kombination mit ausgewählten Partnern in jeweils vier Aussaatstärken angelegt. Als Partner kommen zum einen monokotyle Pflanzen (z.B. Getreidearten) als auch dikotyle Arten (Leindotter) bzw. ein Artengemisch aus Raps, Phacelia und Buchweizen zum Einsatz. Erfasst wurden zweimal in der Vegetationsperiode und zur Ernte die Biomasseaufwüchse, getrennt nach Lupine, Partnern und Unkräutern.

Die Ergebnisse aus dem ersten Projektjahr zeigen, dass die Partner, die als künstliche Unkräuter fungieren sollen, alle erfolgreich etabliert werden konnten. Leindotter führte dabei zu der stärksten Beeinträchtigung der Entwicklung der Lupinen, die in diesen Varianten die geringsten Biomasseaufwüchse aufwiesen. Im Vergleich der ausgesäten Partner zeigten die Leindottervarianten zudem die höchsten Biomasseaufwüchse und gleichzeitig die geringsten Biomasseaufwüchse der natürlich am Standort vorkommenden Unkräuter. Das Artengemisch aus Raps, Phacelia und Buchweizen führte dagegen zu den geringsten Biomasseaufwüchsen, gleichzeitig wurde der Biomasseaufwuchs der Lupinen in diesen Varianten nur wenig beeinflusst. Im Vergleich der beiden angebaute Lupinensorten zeigte sich eine bessere Unkraut unterdrückende Wirkung bei der Sorte Boruta.

Stichwörter: *Lupinus angustifolius*, Ökologischer Landbau, Sorte, Unkrautunterdrückung

Abstract

Within the framework of a joint research project for breeding advancement of blue and yellow lupins, which is being conducted in cooperation with the Julius Kühn-Institute, Institute for Breeding Research on Agricultural Crops (coordinator), Saatzeit Steinach and the IPK Gatersleben, in a sub-project at the Thünen-Institute of Organic Farming (I) a test system for detection and assessment of weed-suppressing effect of blue lupins will be developed, and (II) this test system will be tested to pre-breeding lines of blue lupin. In the first year of the project, plot trials were conducted in 3-fold field repetition with two phenological widely differing varieties (cv. Boruta [terminated type], cv. Boregine [branched type]) in combination with selected partners with four different seed rates. As partners, monocotyledonous species (e.g., cereals) and dicotyledonous species (false flax) or resp., a mixture of oil seed rape, phacelia and buckwheat, are used. Twice during the growing season and at harvest, the aboveground biomass, separated by lupin, partners and weeds, were recorded.

The results of the first project year show that all the partner plants which should serve as artificial weeds were successfully established. False flax leads to the strongest effect on the development of lupins, which showed the lowest biomass production in these variants. In comparison to the sown partners, the false flax variants also showed the highest biomass production, while the lowest biomass production was recorded for the natural weeds occurring at the site. The species mixture of oil seed rape, phacelia and buckwheat, however, led to the lowest biomass production; contemporaneously the biomass production of lupins in these variants was only affected slightly. Comparing the two cultivated lupin varieties, Boruta showed a better weed suppressive effect.

Keywords: *Lupinus angustifolius*, organic farming, variety, weed suppression

Einleitung

Viele anbaubegleitende Maßnahmen, wie z.B. homogene Pflanzenbestände mit einer ausreichenden Pflanzendichte und optimierter Standraumzumessung, optimale Saattermine, angepasste Düngung mit entsprechender Ausbringtechnik bzw. Platzierung, tragen zu einer guten Unkrautunterdrückung bei (BLACKSHAW et al., 2007; KÖPKE, 2000). Vor dem Hintergrund der im Nationalen Aktionsplan (NAP) formulierten Ziele zur Stärkung des vorbeugenden Pflanzenschutzes kommt allen Maßnahmen, die das Pflanzenwachstum befördern und somit suppressive Wirkungen gegenüber Unkräutern aufweisen, eine herausragende Bedeutung sowohl im ökologischen als auch im integrierten Anbau zu. Somit stellen konkurrenzstarke Sorten ebenfalls eine wichtige und zugleich kostengünstige Option zur integrierten Unkrautregulierung dar (ANDREW et al., 2015).

Bereits EISELE (1992) konnte unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus für Weizen belegen, dass morphologisch differenzierte Weizensorten eine unterschiedliche Bodenbeschattung bewirken, die sich mit steigendem Blattflächenindex erhöht. Sorten mit planophiler Blattstellung konnten die Einstrahlung am effizientesten reduzieren, das Beschattungsvermögen erhöhen sowie die Massenentwicklung und den Deckungsgrad von Unkräutern deutlich reduzieren. Weiterführende Untersuchungen von DREWS et al. (2009) sowie eine Reihe weiterer Untersuchungen (LEMERLE et al., 1996; NIEMANN, 2000; ANDREW et al., 2015) sowie SCHMIDTKE et al. (2013) bestätigen diese Ergebnisse für unterschiedliche Anbaubedingungen unter den Bedingungen des ökologischen und des konventionellen Anbaus. VERSCHWELE (2014) konnte zudem nachweisen, dass die unterschiedliche Konkurrenzkraft von Weizensorten die Bekämpfungswirkung von chemischen und mechanischen Unkrautregulierungsverfahren unterstützt. Diese Ergebnisse unterstützen die im NAP formulierten Ziele und zeigen, dass die Wahl spezifischer Sorten im konventionellen Anbau auch einen Beitrag zur Reduzierung der Herbizidaufwandmengen leisten oder in Strategien zum Herbizid-Resistenzmanagement eingebunden werden kann (VERSCHWELE, 2014). Die an Getreide durchgeführten Untersuchungen zeigen zudem, dass neben der Blattarchitektur (planophile versus erektophile Blattstellung, Blattgröße etc.) weitere Faktoren wie z.B. die Pflanzenhöhe, eine rasche Jugendentwicklung, die Bestockungsrate als auch die Wurzelarchitektur z.B. hinsichtlich der Erschließung von Nährstoffen von entscheidender Bedeutung sind (ANDREW et al., 2015).

Auch bei anderen Kulturarten wurden Unkraut unterdrückende Effekte nachgewiesen. So verfügen Erbsen über eine Vielzahl von Wuchstypen, d.h. halbblattlose und normalblättrige sowie kurz- und langstrohige Typen. GRONLE et al. (2014) sowie GRONLE und BÖHM (2014) konnten an Wintererbsen zeigen, dass normalblättrige Typen über ein besseres Unkrautunterdrückungspotential als halbblattlose Typen verfügen. Normalblättrige, langstrohige Sorten können jedoch nur im Gemenge mit Getreide angebaut werden, da das Getreide als Stützfrucht fungiert, um eine ausreichende Standfestigkeit der Bestände für eine sichere Beerntung zu gewährleisten. Ebenfalls wurden entsprechende Effekte für Reis, Sojabohne, Mais, Kartoffeln und weitere Kulturarten wie z.B. der Lupine nachgewiesen (vgl. NIEMANN, 2000). Auch BÖHM und AULRICH (2011) konnten zeigen, dass Sorten des verzweigten Typs der Blauen Lupine eine bessere Unkrautunterdrückung aufweisen als die des determinierten Typs.

Zur Prüfung der Unkraut unterdrückenden Wirkung können unterschiedliche Methoden zum Einsatz kommen. Zum einen können Untersuchungen mit der natürlich am Standort vorkommenden Verunkrautung durchgeführt werden, was bei nicht gleichmäßiger Verunkrautung in den Versuchspartellen schnell zu Problemen bei der Datenauswertung bzw. der statistischen Absicherung führen kann. Zum anderen kann mit sogenannten „künstlichen Unkräutern“ oder „Modellunkräutern“ gearbeitet werden. Hierzu werden entweder bestimmte Arten (HUEL und HUCL, 1996; HILTBRUNNER et al., 2012) oder Artengemische, oft bestehend aus mono- und dikotylen Arten (HARKER et al., 2008; SEIFFERT und HORNEBURG, 2013) eingesetzt.

Im Frühjahr 2015 wurde das vom BÖLN geförderte Projekt „LupiBreed“ unter der Federführung des JKI, Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen, begonnen, an dem die

Saatzucht Steinach als auch das IPK Gatersleben sowie das Thünen-Institut für Ökologischen Landbau beteiligt sind. Das Gesamtziel des Vorhabens ist die züchterische Verbesserung der Produktivität der Blauen und der Gelben Süßlupine im Hinblick auf Kornertrag, Ertragsicherheit und -stabilität bzw. Inhaltsstoffqualität. Darüber hinaus soll die enge genetische Basis dieser Fruchtarten durch Einbeziehung pflanzengenetischer Ressourcen verbreitert werden, um das Potenzial für die züchterische Weiterentwicklung zu vergrößern. Im Rahmen eines Arbeitspaketes werden am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau pflanzenbauliche Optionen zur Unkrautregulierung und zum Gemengeanbau erforscht. Hierbei steht die Erfassung und Bewertung der Konkurrenzkraft von Sorten bzw. neuen Züchtungslinien gegenüber Unkräutern bzw. gegenüber Mischungspartnern im Gemengeanbau im Mittelpunkt. Ziel der Untersuchungen ist es, dass bereits bei der Züchtung/Selektion auf besondere Merkmale wie z. B. Frohwüchsigkeit, Blattmorphologie und Wuchstyp selektiert werden kann, die dazu beitragen, den vorbeugenden Pflanzenschutz zu stärken, in dem der Aufwand der Unkrautregulierung reduziert wird.

Material und Methoden

In 3-jährigen Versuchen wird die Konkurrenzkraft von Lupinen durch gezielte Ausbringung verschiedener Partner mit unterschiedlichen Saatchichten geprüft, wodurch unterschiedlich starke Konkurrenzsituationen geschaffen werden.

Im ersten Projektjahr 2015 wurden die beiden Sorten der Blauen Lupine, Boruta (BL_E, endständiger Typ, 130 keimfähige Körner m⁻²) und Boregine (BL_V, verzweigter Typ, 100 keimfähige Körner m⁻²), in einem Feldversuch am Standort Trenthorst (sandiger Lehm, 706 mm Niederschlag, 8,8 °C Jahresdurchschnittstemperatur) in Schleswig-Holstein in einer dreifaktoriellen Blockanlage mit drei Feldwiederholungen angebaut. Als Partner fungierten die monokotylen Arten Sommerweizen (SW) und Hafer (HA) sowie die dikotylen Arten Leindotter (LD) sowie in Anlehnung an SEIFFERT und HORNEBURG (2013) ein Gemenge mit „künstlichen Unkräutern“ (KU) bestehend aus gleichen Anteilen, bezogen auf die Anzahl an Körnern m⁻², Raps, Phacelia und Buchweizen. Die Partner wurden in 4 Saatchichten (SD_1 bis SD_4) gedreht, wobei Weizen, Hafer und das Gemenge mit „künstlichen Unkräutern“ mit 30, 60, 90 und 120 keimfähigen Körnern m⁻² sowie Leindotter mit 100, 200, 300 und 400 keimfähigen Körnern m⁻² ausgesät wurden. Als Kontrolle dienten Reinsaaten mit den jeweiligen Sorten der Blauen Lupine (BL_E_RS, BL_V_RS), die von Unkraut frei gehalten wurden, sodass eine Konkurrenz gegenüber Beikräutern ausgeschlossen war.

Zu verschiedenen Entwicklungsstadien (Sprossentwicklung, Blüte, Ernte) der Blauen Lupinen wurden in den Versuchspartellen Beprobungen in Form von Quadratmeterschnitten (je nach Entwicklungsstand 0,5 oder 1,0 m²) durchgeführt und die oberirdische Biomasse der Lupinen, Partner und Unkraut quantifiziert. Ergänzend fanden wiederholt Bonituren zum Deckungsgrad als auch Messungen zur photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) statt.

Im zweiten und dritten Versuchsjahr werden die aus dem ersten Versuchsjahr erfolgsversprechendsten Varianten bzw. Saatchichten der Partner bzw. der „künstlichen Unkräuter“ in dem Prüfsystem für acht ausgewählte Prebreeding-Linien getestet, wobei die beiden Referenzsorten ebenfalls weitergeprüft werden.

Ergebnisse

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der oberirdischen Biomasse der beiden angebauten Lupinensorten, der dazu ausgesäten Partnern, der Unkräuter sowie der Summe der Partner und der Unkräuter für den ersten (Tab. 1) und den zweiten Beprobungstermin (Tab. 2) vorgestellt. Eine Wechselwirkung trat nur beim ersten Termin für Lupine x Partner auf (Abb. 1), sodass in den Tabellen die Ergebnisse für die Hauptfaktoren dargestellt sind.

Zu beiden Beprobungsterminen wies die oberirdische Biomasse von BL_E signifikant höhere Werte auf als von BL_V. Gleichzeitig war die Unkrautbiomasse im Vergleich zu BL_E in BL_V

signifikant höher. In Abhängigkeit der gewählten Lupinensorten zeigte sich zu beiden Terminen kein signifikanter Einfluss auf die gebildete oberirdische Biomasse der Partner. Die zusätzlich geprüften Reinsaaten ohne Unkrautkonkurrenz zeigten zu beiden Probenahmetermenen für BL_E_RS geringere Biomasseaufwüchse als für BL_V_RS.

Tab. 1 Oberirdische Biomasse [g m⁻²] von Blauen Lupinen, Partnern und Unkraut zum ersten Beprobungstermin zu ‚Sprossentwicklung der Lupine‘ (BL_E: Boruta, BL_V: Boregine, _RS: Reinsaat ohne Unkraut, SW: Sommerweizen, HA: Hafer, LD: Leindotter, KU: künstliche Unkräuter, SD: Saatlöcher, _1 ... _4: Saatlöcher 1 bis 4).

Tab. 1 Aboveground biomass [g m⁻²] of blue lupins, partners and weeds at the first sampling date at the 'shoot development of lupins' (BL_E: Boruta, BL_V: Boregine, _RS: sole crop without weeds, SW: spring wheat, HA: oat, LD: false flax, KU: artificial weeds, SD: seed density, _1 ... _4: seed densities 1 to 4).

| | | Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻²] von | | | | | | | |
|------------|---------|---|------|---------|------|---------|---|-------------------|----|
| | | Lupine | | Partner | | Unkraut | | Partner + Unkraut | |
| Lupine | BL_E_RS | 101,27 | | - | | - | | - | |
| | BL_V_RS | 116,87 | | - | | - | | - | |
| | BL_E | 132,10 | b | 111,25 | n.s. | 40,33 | a | 151,58 | a |
| | BL_V | 109,56 | a | 114,92 | n.s. | 50,99 | b | 165,91 | b |
| Partner | SW | 124,09 | n.s. | 112,08 | b | 49,21 | b | 161,29 | ab |
| | HA | 126,25 | n.s. | 111,52 | b | 51,64 | b | 163,16 | b |
| | LD | 111,38 | n.s. | 139,10 | c | 30,92 | a | 170,02 | b |
| | KU | 121,60 | n.s. | 89,63 | a | 50,88 | b | 140,52 | a |
| Saatlöcher | SD_1 | 133,33 | b | 76,04 | a | 62,85 | c | 138,89 | a |
| | SD_2 | 121,48 | ab | 85,67 | a | 51,82 | b | 137,48 | a |
| | SD_3 | 112,43 | a | 141,15 | b | 38,63 | a | 179,78 | b |
| | SD_4 | 116,09 | a | 149,48 | b | 29,36 | a | 178,83 | b |

Tab. 2 Oberirdische Biomasse [g m⁻²] von Blauen Lupinen, Partnern und Unkraut zum zweiten Beprobungstermin zur ‚Blüte der Lupine‘ (BL_E: Boruta, BL_V: Boregine, _RS: Reinsaat ohne Unkraut, SW: Sommerweizen, HA: Hafer, LD: Leindotter, KU: künstliche Unkräuter, SD: Saatlöcher, _1 ... _4: Saatlöcher 1 bis 4).

Tab. 2 Aboveground biomass [g m⁻²] of blue lupins, partners and weeds at the second sampling date at the 'flowering of lupin flowering' (BL_E: Boruta, BL_V: Boregine, _RS: sole crop without weeds, SW: spring wheat, HA: oat, LD: false flax, KU: artificial weeds, SD: seed density, _1 ... _4: seed densities 1 to 4).

| | | Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻²] von | | | | | | | |
|------------|---------|---|----|---------|------|---------|---|------------------|------|
| | | Lupine | | Partner | | Unkraut | | Partner+ Unkraut | |
| Lupine | BL_E_RS | 283,07 | | - | | - | | - | |
| | BL_V_RS | 352,67 | | - | | - | | - | |
| | BL_E | 283,61 | b | 165,03 | n.s. | 44,54 | a | 209,57 | n.s. |
| | BL_V | 248,18 | a | 166,39 | n.s. | 56,83 | b | 223,08 | n.s. |
| Partner | SW | 263,24 | ab | 188,10 | c | 50,18 | b | 238,27 | b |
| | HA | 285,38 | b | 157,17 | b | 52,67 | b | 209,83 | ab |
| | LD | 244,31 | a | 199,16 | c | 35,41 | a | 234,57 | b |
| | KU | 270,65 | ab | 118,42 | a | 64,19 | c | 182,61 | a |
| Saatlöcher | SD_1 | 291,52 | c | 99,27 | a | 75,61 | c | 174,88 | a |
| | SD_2 | 274,51 | bc | 155,93 | b | 52,73 | b | 208,66 | b |
| | SD_3 | 241,40 | a | 199,51 | c | 39,78 | a | 238,88 | c |
| | SD_4 | 256,16 | ab | 208,14 | c | 34,73 | a | 242,87 | c |

Der Hauptfaktor Partner hatte beim ersten Beprobungstermin keinen Einfluss, während zum zweiten Beprobungstermin Hafer eine signifikant höhere Biomasse aufwies als Leindotter. Die Unkrautbiomasse zeigte zu beiden Terminen die signifikant geringsten Werte in den

Leindottervarianten, zum zweiten Termin war die Biomasse der künstlichen Unkräuter signifikant am höchsten. Von den Biomasseaufwüchsen der vier Partner zeigten zu beiden Terminen die Leindottervarianten, gefolgt von Sommerweizen, die höchsten Werte, während die künstlichen Unkräuter die geringsten Biomasseaufwüchse aufwiesen. Die zum ersten Termin ausgewiesene Wechselwirkung Lupine x Partner (Abb. 1) zeigte, dass die Leindottervarianten bei BL_E die signifikant geringsten Biomasseaufwüchse aufwiesen, nicht aber bei BL_V, wo keine signifikanten Unterschiede auftraten. Die Biomasseaufwüchse von Sommerweizen und Hafer waren zudem bei BL_E signifikant höher als bei BL_V.

Der Faktor Saatedichte zeigte für alle untersuchten Parameter signifikante Effekte, wobei die von den Lupinen gebildete Biomasse mit zunehmender Saatedichte der Partner abnahm, während die oberirdische Biomasse der Partner zunahm und die Biomasse der Unkräuter wiederum abnahm. Diese Ergebnisse wurden bei der zweiten Beprobung weitestgehend bestätigt.

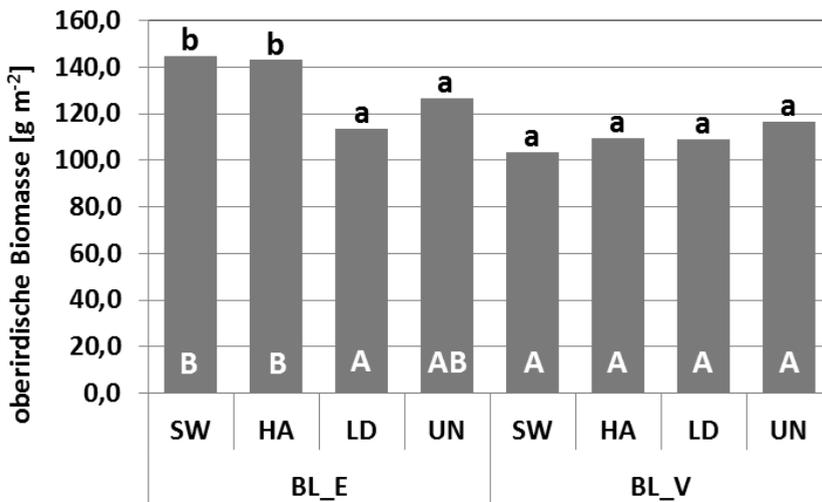


Abb. 1 Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m^{-2}] der Blauen Lupinensorten Boruta (BL_E) und Boregine (BL_V) in Abhängigkeit der Partner Sommerweizen (SW), Hafer (HA), Leindotter (LD) sowie des Gemenges aus künstlichen Unkräutern (KU) zum ersten Beprobungstermin, Sprossentwicklung der Lupinen'. Verschiedene große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Partnern innerhalb der jeweiligen Lupinensorte, verschiedene kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den beiden Lupinensorten innerhalb des jeweiligen Partners.

Fig. 1 Aboveground biomass [g m^{-2}] of the blue lupin varieties Boruta (BL_E) and Boregine (BL_V) depending on the partners spring wheat (SW), oat (HA), false flax (LD) and the mixture of artificial weeds (KU) at the first sampling date at 'shoot development of the lupins'.

Different capital letters indicate significant differences between the partners within each lupin variety, different lowercase letters indicate significant differences between the lupin varieties within each partner.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigten für den Hauptfaktor Lupine höhere Biomasseaufwüchse für BL_E als für BL_V, wohingegen die Biomasseaufwüchse in Reinsaat zu einem gegenteiligen Ergebnis führten. Die Arbeitshypothese, dass eine verzweigte Sorte (am Beispiel der Sorte Boregine) aufgrund ihres verzweigten Blattapparates, vor allem auch in Richtung der Nachbarreihen, eine bessere Unkraut unterdrückende Wirkung im Vergleich zu einer endständigen, aufrecht wachsenden Sorte (am Beispiel der Sorte Boruta) aufweist, konnte nicht bestätigt werden und steht im Gegensatz zu früheren Ergebnissen von BÖHM und AULRICH (2011). Zudem zeigten die Biomasseaufwüchse der Partner keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit der Lupinensorten.

Von den zu den Lupinen gesäten Partnern wurden die höchsten Biomasseaufwüchse für Leindotter gemessen, die gleichzeitig jedoch zu den geringsten Biomasseaufwüchsen bei den Lupinen und den Unkräutern führten. Leindotter kann aufgrund seiner Rosettenbildung in der Jugendentwicklung somit gut Unkraut unterdrücken, kann aber gleichzeitig die Entwicklung der Hauptkultur Lupine in ihrer Entwicklung behindern. Die gute Unkraut unterdrückende Wirkung von Leindotter wurde auch von SAUCKE und ACKERMANN (2006) für den Gemengeanbau mit Erbsen sowie von PAULSEN et al. (2007) für den Gemengeanbau mit Erbsen oder Blauen Lupinen nachgewiesen. Die etablierten Gemenge aus zweikeimblättrigen künstlichen Unkräutern (KU) wiesen von den Partnern die geringsten Biomasseaufwüchse auf und führten zu keiner deutlichen Beeinträchtigung der Lupinenaufwüchse, sodass die Lupinenentwicklung hierdurch nicht zu stark eingeschränkt wurde. Ein entsprechendes Gemenge aus zweikeimblättrigen, künstlichen Unkräutern sollte in ein Prüfsystem zur Unkraut unterdrückenden Wirkung einbezogen werden, um diese Gruppe der Unkräuter zu repräsentieren. Zwischen den Ergebnissen von Hafer und Sommerweizen sind aufgrund der Ergebnisse des ersten Versuchsjahres keine gravierenden Unterschiede erkennbar. Da gleichzeitig die Eignung dieser Partner für den Gemengeanbau geprüft wird, bleibt abzuwarten, wie sich die Ertragsleistungen der Lupinen darstellen.

Höhere Saatkichten der Partner führten zu beiden Terminen zu geringeren Biomasseaufwüchsen bei der Lupine und damit zu einer zunehmenden Konkurrenzsituation. Deutlich abnehmende Lupinen-Biomasseaufwüchse konnten jedoch vor allem für die beiden höheren Saatkichten festgestellt werden. Dies wiederum führte auch zu deutlich höheren Biomasseaufwüchsen bei den Partnern bzw. zu deutlich geringeren Biomasseaufwüchsen der natürlich am Standort vorkommenden Unkräuter. Sollen unterschiedliche Konkurrenzsituationen für die Kulturpflanze Lupine geschaffen werden, kann aus den bisherigen Ergebnissen des ersten Versuchsjahres abgeleitet werden, dass die Saatkichte SD_2 geeignet sein könnte, eine Situation mit geringerer und SD_4 eine entsprechende mit höherer Konkurrenz abzubilden. Die Versuche werden unter Einbeziehung ausgewählter Prebreeding-Linien weitere zwei Versuchsjahre fortgeführt.

Danksagung

Die Untersuchungen werden gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen der BMEL Eiweißpflanzenstrategie (FKZ 2814EPS007).

Literatur

- ANDREW, I.K.S., J. STORKEY und D.L. SPARKES, 2015: A review of the potential for competitive cereal cultivars as a tool in integrated weed management. *Weed Research* **55**(3), 239-248.
- BLACKSHAW, R.E., R.L. ANDERSSON und D. LEMERLE, 2007: Chapter 3: Cultural weed management, In: UPADHYAYA, M. K. , R. E. BLACKSHAW, (eds.): *Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*, 35-48. CAB International, Wallingford, UK.
- BÖHM, H. und K. AULRICH, 2011: Effects of different row distances and seed densities on yield and quality of blue lupin (*L. angustifolius*) in organic farming. *Lupin crops: an opportunity for today, a promise for the future*. Proceedings of the 13th International Lupin Conference, Posnan, Poland, 6-10 June 2011, 144-148.
- DREWS, S., D. NEUHOFF und U. KÖPKE, 2009: Weed suppression ability of three winter wheat varieties at different row spacing under organic farming conditions. *Weed Research* **49**, 526-533.
- EISELE, J.-A., 1992: *Sortenwahl bei Winterweizen im Organischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung der morphologisch bedingten Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern*. Dissertation Universität Bonn.
- GRONLE, A., H. BÖHM und J. HEß, 2014: Effect of intercropping winter peas of differing leaf type and time of flowering on annual weed infestation in deep and shallow ploughed soils and on pea pests. *Landbauforschung – Appl. Agric. Forestry Res.* **64**(1), 31-44.
- GRONLE, A. und H. BÖHM, 2014: Untersuchungen zur Unkrautkonkurrenz in Rein- und Mischfruchtbeständen von Wintererbsen unterschiedlichen Wuchstyps. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 431-440.
- HARKER, K.N., G.W. CLAYTON und R.E. BLACKSHAW, 2008: Comparison of leafy and semileafless pea for integrated weed management. *Weed Technology* **22**(1), 124-131.
- HILTBRUNNER J., C. LUGINBÜHL, U. BUCHMANN, C. HERZOG, H. HUNZIKER und C. SCHERRER, 2012: Mechanical control of weeds within the crop row of organically grown soybeans. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 251-256.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- HUEL, D.G. und P. HUCL, 1996: Genotypic variation for competitive ability in spring wheat. *Plant Breeding* **115**, 325-329.
- KÖPKE, U., 2000: Konzept der Unkrautregulierung im ökologischen Landbau. *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* **72**, 57-70.
- LEMERLE, D., B. VERBEEK, R.D. COUSENS und N.E. COOMBES, 1996: The potential for selecting wheat varieties strongly competitive against weeds. *Weed Research* **36**, 505-513.
- NIEMANN, P., 2000: Sortenwahl - Ein Element zur Unkrautunterdrückung. *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* **72**, 27-34.
- PAULSEN, H.M., M. SCHOCHOW und H.J. REENTS, 2007: Unkrautvorkommen und Unkrautunterdrückung in Mischfruchtanbausystemen mit Ölpflanzen im ökologischen Landbau. *Landbauforschung* **SH 309**, 81-95.
- SAUCKE, H. und K. ACKERMANN, 2006: Weed suppression in mixed cropped grain peas and false flax (*Camelina sativa*). *Weed Research* **46**(6), 453-461.
- SCHMIDTKE, K., B. WUNDERLICH und A. MEYERCORDT, 2013: Lassen sich Winterweizensorten hinsichtlich ihres Beschattungsvermögens statistisch gesichert in Landessortenversuchen voneinander unterscheiden? *Beitr. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn*, 184-187.
- SEIFFERT, S. und B. HORNEBURG, 2013: Weed tolerance in soybean: A selection system. In: *Breeding for Nutrient Efficiency. Joint Meeting of EUCARPIA Section Organic & Low-Input Agriculture and EU NUE-Crops Project. Conference Booklet. Göttingen, Germany, 24. – 26. September 2013*, 86.
- VERSCHWELE, A., 2014: Potenziale von Sorteneigenschaften zur Integrierten Unkrautbekämpfung in Weizen. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 465-474.

Entwicklung eines Standard-Prüfverfahrens für Geräte zur thermischen Unkrautbekämpfung

Development of a standard test procedure for devices on thermal weed control

Arnd Verschwele*, Detlef Stieg

Julius Kühn-Institut, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, Deutschland
*Korrespondierender Autor, arnd.verschwele@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.064

Zusammenfassung

Im Gegensatz zur umfangreichen Prüfung und Bewertung der Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln und der Prüfungen von Spritzgeräten für Pflanzenschutzmittel gibt es derartige objektive Tests für Geräte zur thermischen Unkrautbekämpfung derzeit noch nicht. Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es, ein Standard-Prüfverfahren zur Bestimmung der Temperaturverteilung und Wirksamkeit thermischer Geräte zu entwickeln. Damit sollen Grundlagen für eine Qualitätsprüfung geschaffen werden, die praktische Anwender direkt nutzen können. Außerdem können die aufgezeigten Mängel dazu führen, die Geräte konstruktiv zu verbessern. Die Ergebnisse zu einem Abflamngerät (Green-Flame 850 E) zeigten bereits entsprechende Potenziale auf. Mit steigender Fahrgeschwindigkeit von 0,35 m/s auf 0,81 m/s sank die Temperatur von 159 °C auf 89 °C. Die Heterogenität der Temperaturen über die Arbeitsbreite des Geräts war außerordentlich hoch: In Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit lag die Spannbreite zwischen Minimal- und Maximaltemperatur zwischen 60 °C und 79 °C. Die biologische Wirksamkeit, geprüft an der Modellpflanze *Sinapis arvensis* war ebenfalls abhängig von der Fahrgeschwindigkeit bzw. den erreichten Temperaturen. Bei Geschwindigkeiten von bis zu 0,53 m/s konnte *Sinapis arvensis* mit mindestens 95 % ausreichend bekämpft werden. Bei der höchsten geprüften Fahrgeschwindigkeit von 0,81 m/s lag der Wirkungsgrad nur noch bei 66 %. Folglich liegt die notwendige wirksame Temperatur zwischen 89 °C und 106 °C. *Lolium perenne* ließ sich hingegen unter den geprüften Bedingungen nur mit 72 % bekämpfen - eine Dosis-Wirkungsbeziehung war hier nicht erkennbar. Die Temperaturverteilung, wie auch die biologische Wirksamkeit, waren insgesamt sehr heterogen und im Sinne eines wirtschaftlichen und wirkungssicheren Einsatzes nicht zufriedenstellend. Ähnliche Ergebnisse liegen auch für andere Geräte zur thermischen Unkrautbekämpfung vor.

Stichwörter: Konstruktion, Nichtkulturland, physikalische Unkrautbekämpfung, Wirksamkeit

Abstract

In contrast to the standard evaluation of the efficacy of pesticides and the testing of spraying equipment there are no comparable testing procedure for equipment of thermal weed control. It is the aim of the investigations described here to develop a standard procedure for assessing temperature distribution and biological efficacy. This will be the basis for quality testing which can be directly used by practical users. Also it can help engineers to improve devices if constructive gaps will be identified by these tests. The results from testing a flaming device (Green-Flame 850 E) demonstrated such a potential for technical improvement: The temperature decreased from 159 °C to 89 °C by increasing driving speed from 0.35 m/s to 0.81 m/s. The variation of the temperature related to the working width was extremely high: The range was 60 °C at highest speed and 79 °C at lowest speed, respectively. The biological efficacy against the test plant species *Sinapis arvensis* was also affected by the driving speed and the corresponding temperature. A driving speed not higher than 0.53 m/s resulted in efficacy rates of almost 95%. However, the efficacy was only 66% at the highest tested speed of 0.81 m/s. Thus, the needed effective temperature is between 89 °C und 106 °C. In contrast, *Lolium perenne* was controlled by only 72% under the tested conditions. Here a dose-response relationship was not observed. The variation of the temperature, as well as the biological efficacy, was extremely heterogeneous and not satisfying in terms of an economic and safe use. Similar results were found for other devices on thermal weed control.

Keywords: Efficacy, engineering, non-cropping area, physical weed control

Einleitung

Die Unkrautbekämpfung auf Wegen und Plätzen sowie anderen befestigten Flächen erfolgte in der Vergangenheit häufig mit Herbiziden. Aufgrund des hohen Risikos der Belastung von Grund- und Oberflächenwasser durch Abschwemmung sind die Anwendungen jedoch ständig restriktiver geworden. Für den Herbizideinsatz auf Wegen und Plätzen sind derzeit nur Herbizide mit den

Wirkstoffen Essigsäure, Flumioxazin, Pelargonsäure, Glufosinat und Glyphosat zugelassen. Nach dem Pflanzenschutzgesetz dürfen Pflanzenschutzmittel auf befestigten Freilandflächen grundsätzlich nur in begründeten Ausnahmen angewendet werden (Genehmigungsverfahren gemäß §12). Durch strengere Auflagen und weitere Anwendungsbestimmungen wird der Herbizideinsatz jedoch zumindest auf Flächen mit Abschwemmungsgefahr nahezu unmöglich. Hinzu kommen generelle Verbote auf Landesebene durch entsprechende Erlasse und der freiwillige Verzicht von Herbiziden auf Flächen einiger Kommunen und Städte.

Unabhängig davon nehmen Unkrautprobleme durch Resistenzgefahren und Wirkungslücken beim Einsatz der wenigen verbleibenden Wirkstoffe zu.

Die Risiken des chemischen Pflanzenschutzes und der daraus resultierende öffentliche Druck haben dazu geführt, dass Pflanzenschutzgeräte bereits weitgehend optimiert sind und weitere Einsparungen von Pflanzenschutzmitteln auf diesem Wege nur schwer zu realisieren sind. Für die nicht-chemisch arbeitenden Geräte, insbesondere solche mit thermischem Wirkprinzip, gilt dies nicht. Grundlegende biologische und physikalische Arbeiten sind zwar für Ackerbaukulturen durchgeführt worden (ASCARD, 1995; BERTRAM, 1996), entsprechende Daten fehlen aber für den Bereich Nichtkulturland. Entsprechende Versuche unter Praxisbedingungen (RASK und KRISTOFFERSON, 2007; VERSCHWELE, 2012) und Erfahrungen von Anwendern lassen vermuten, dass diese Geräte noch ein erhebliches Optimierungspotenzial aufweisen. Als weiteres Problem wurde erkannt, dass kaum unabhängige und belastbare Informationen über die reale Leistungsfähigkeit einzelner Geräte verfügbar sind. Dies führte zu der Überlegung ein objektives Prüfverfahren zu entwickeln, durch das objektive und vergleichbare Aussagen zur Qualität vorhandener Geräte möglich sind und das den Herstellern Hinweise zur Weiterentwicklung der Geräte geben kann. Man kann erwarten, dass ein solches Vorgehen einen signifikanten Innovationsschub auslösen wird.

Material und Methoden

Im Herbst 2013 wurde mit Planung und Bau eines Prüfstandsprototypen begonnen (Abb. 1). Ziel ist es, sowohl die Temperaturverteilung als auch die biologische Wirkung der Geräte zu testen. Hierbei erfolgt die Temperaturerfassung über die gesamte Zielfläche bzw. Arbeitsbreite. Somit sind Aussagen zur geräteabhängigen Variabilität und zur Beziehung zwischen den Parametern Temperaturhöhe, Temperaturdauer und Wirksamkeit möglich.

Zur Durchführung des Tests wird das entsprechende Gerät mit definierter, konstanter Geschwindigkeit auf einem Schiene-Schlitten-System (Abb. 1 und 2) über die Zielfläche (4) bewegt. Die Zielfläche ist ausgerüstet mit Thermoelementen (S), den Modellpflanzen (P) und wahlweise sogenannten Temperaturindikatoren (I). Diese Indikatoren, z.B. Kunststoffteile, können durch Verformung anzeigen, ob die erforderliche Temperaturen erreicht werden (Ergebnisse hier nicht dargestellt). Thermoelemente und Modellpflanzen liegen in Arbeitsrichtung fluchtend, wodurch eine direkte Korrelation zwischen gemessener Temperatur und Verhalten der weiteren Zielobjekte erwartet werden kann. Die Temperaturen werden zeitgleich in einem Intervall von 0,08 s erfasst, wodurch auch eine zeitliche Differenzierung der wirksamen Temperaturen möglich ist. Zur Verfeinerung des Messrasters kann das Gerät auf dem Schlitten - quer zur Arbeitsrichtung - verschoben werden. Bei einem physischen Messraster von 20 cm wird für die Prüfungen somit eine Messauflösung von 10 cm generiert. Die Geräte wurden mit abgestuften Fahrgeschwindigkeiten von 0,35 m/s; 0,42 m/s; 0,53 m/s und 0,81 m/s über die Prüfbahn gezogen. Der Antrieb erfolgt über eine elektrisch betriebene Seilwinde (5), wobei die Geschwindigkeiten mittels Lichtschranken (3) gemessen wurden. Jede Überfahrt wurde dreifach wiederholt.

Durch die Erfassung des zeitabhängigen Temperaturverlaufs besteht auch die Möglichkeit die Effekte von Temperaturmaximum und Einwirkdauer zu analysieren. Die Sensoren (Mantelthermoelemente, D = 1 mm, Typ K) sind versenkt angeordnet, sodass sich die Spitzen der Thermoelemente im Zentrum von 50 mm-Bohrungen auf Höhe der Bodenoberfläche befinden. Diese Einbaulage dient einerseits dem mechanischen Schutz der Sensoren und ermöglicht zudem

eine Aussage darüber, wie sensibel das geprüfte Gerät auf Abschattung der Zielpflanzen reagiert, etwa durch unebene Bodenplatten oder andere Pflanzen.

Als Modellpflanzen wurden die dikotyle Pflanzenart Weißer Senf (*Sinapis alba*) und das monokotyle Deutsche Weidelgras (*Lolium perenne*) gewählt, die zu den Entwicklungsstadien BBCH 12-14 und BBCH 16-18 behandelt wurden. Im Gegensatz zu natürlich vorkommenden Unkrautarten weisen diese Kulturpflanzenarten eine homogenere Wuchsform und Entwicklung auf und sind somit besser für eine Standardprüfung geeignet. In Abhängigkeit von Pflanzenart und Entwicklungsstadium sind unterschiedliche Empfindlichkeiten bzw. Wirkungsgrade zu erwarten. Beide Pflanzenarten und Entwicklungsstadien wurden simultan, d.h. während einer Überfahrt getestet.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm Statgraphics Centurion XV (© StatPoint Technologie Inc., USA).

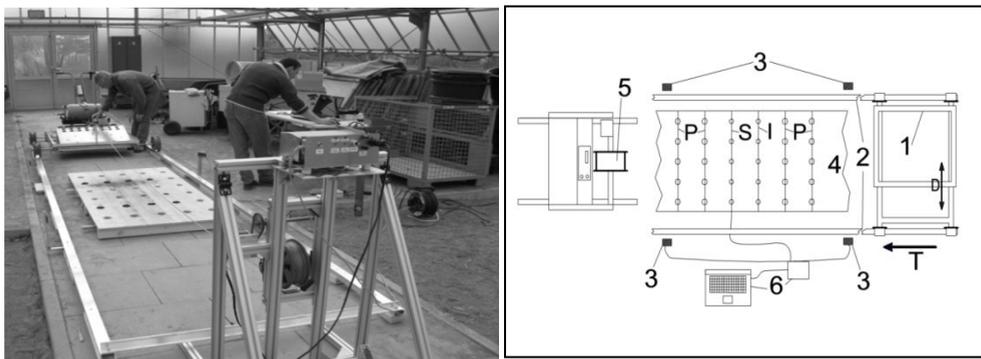


Abb. 1 Aufbau des Prototyps für einen Geräteprüfstand (Erklärung siehe Text).

Fig. 1 Prototype of standard testing equipment (see text for further explanation).

Ergebnisse

Nachfolgend werden beispielhaft die Ergebnisse für das Abflammgerät Green-Flame 850 E (Fa. Nesbo A/S, DK-9550 Mariager, Dänemark) beschrieben und diskutiert. Wie zu erwarten, nahmen die Temperaturen mit steigender Arbeitsgeschwindigkeit ab: Von durchschnittlich 159 °C bei 0,35 m/s sank sie auf nur 89 °C bei 0,81 m/s (Abb. 2). Die für eine erfolgreiche Unkrautbekämpfung notwendige Mindesttemperatur von ca. 60 °C (BERTRAM, 1996) wird in diesem Fall nicht mehr zuverlässig über die gesamte Arbeitsbreite erreicht. Eine hohe Variabilität wies auch die Temperaturverteilung über die Arbeitsbreite des Abflammgeräts auf (Abb. 3). Nach außen fällt die Temperatur deutlich ab, wobei diese Abnahme in Fahrtrichtung rechts stärker war als in Fahrtrichtung links. Der Geräteaufbau ließ eine solche asymmetrische Temperaturverteilung nicht erwarten. Tendenziell nimmt aber die Temperatur an allen Geräte-Positionen in ähnlicher Weise ab, wenn die Fahrgeschwindigkeit zunimmt.

Insgesamt zeigten die Versuche, dass die gerätebedingte Variabilität der Temperatur sehr hoch war. Die Standardabweichung nahm jedoch nicht mit steigender Geschwindigkeit ab (Tab. 1). Bei hoher Geschwindigkeit (0,81 m/s) betragen die Spannweiten 40 °C (60 bis 100 °C) während sie bei der geringsten Geschwindigkeit (0,35 m/s) 75 °C betrug (110 °C bis 185 °C).

In Bezug auf die Frischmasse der Modellunkräuter bzw. der Wirksamkeit zeigte sich ein ähnliches Bild. Allerdings wurde *Lolium perenne* bei keiner der Varianten sicher bekämpft. Im Durchschnitt lag der Wirkungsgrad bei nur 72 %. Für *Lolium perenne* reichten selbst Temperaturen von über 180 °C nicht zur vollständigen Abtötung aus, unabhängig vom Entwicklungsstadium der Testpflanze. Die Wirkungsgrade zeigten eine Spannweite von 58 % bis 92 %, eine Dosis-Wirkungsbeziehung

war innerhalb der geprüften Fahrgeschwindigkeiten bzw. Temperaturen nicht erkennbar. Im Gegensatz dazu konnte *Sinapis arvensis* mit Fahrgeschwindigkeiten von bis zu 0,53 m/s sicher, d.h. mit Wirkungsgraden von mindestens 95 % bekämpft werden. Bei 0,81 m/s lag der Wirkungsgrad im Mittel nur noch bei 66 % und an den Randbereichen des Abflammgeräts deutlich darunter (Tab. 1). Daraus lässt sich ableiten, dass die notwendige, wirksame Temperatur zwischen 89 °C und 106 °C liegt, zumindest für thermisch sensitive Pflanzenarten wie *Sinapis arvensis*.

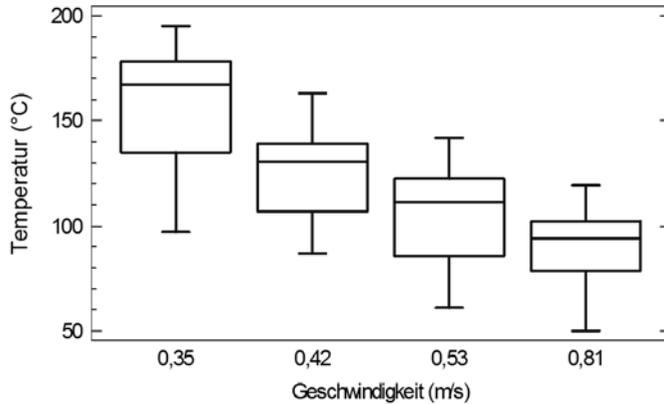


Abb. 2 Temperatur (°C) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (n=24).

Fig. 2 Effect of driving speed on temperature (°C) (n=24).

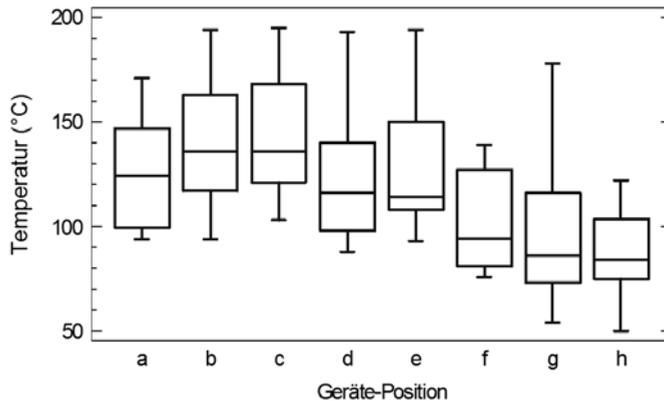


Abb. 3 Temperatur (°C) in Abhängigkeit von der Geräteposition (n=24).

Fig. 3 Effect of position of device on temperature (°C) (n=24).

Die zeitliche Variabilität der Temperaturen wurde mit 3 Überfahrten ermittelt. Somit liegen für jede der acht Gerätepositionen und für alle vier Geschwindigkeiten jeweils drei Temperaturwerte vor (siehe Tabelle 1: Standardabweichung der Temperatur). Besonders bei der geringsten Fahrgeschwindigkeit (0,35 m/s) traten hohe Unterschiede von mehr als 40 °C (= 24 %) an einigen Gerätepositionen auf. Die relativen Abweichungen betragen bei 0,53 m/s und 0,81 m/s maximal 12 % bzw. 19 %. Die zeitliche Variabilität war dabei in den Außenbereichen nicht höher als im Zentrum des Abflammgeräts.

Tab. 1 Einfluss von Fahrgeschwindigkeit und Geräte-Position auf Temperatur und Wirkungsgrad.**Tab. 1** Effect on driving speed and position on temperature and efficiency.

| Geschwindigkeit (m/s) | Geräte-Position | | | | | | | | Ø |
|--|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | a | b | c | d | e | f | g | h | |
| Temperatur (°C) Mittelwert | | | | | | | | | |
| | a | b | c | d | e | f | g | h | Ø |
| 0,35 | 165 | 173 | 185 | 180 | 170 | 133 | 153 | 110 | 159 |
| 0,42 | 135 | 141 | 154 | 129 | 143 | 112 | 93 | 99 | 126 |
| 0,53 | 111 | 122 | 131 | 118 | 119 | 87 | 89 | 70 | 106 |
| 0,81 | 94 | 99 | 109 | 100 | 99 | 79 | 60 | 69 | 89 |
| Ø | 126 | 134 | 145 | 132 | 133 | 103 | 99 | 87 | 120 |
| Temperatur (°C) Standardabweichung | | | | | | | | | |
| | a | b | c | d | e | f | g | h | Ø |
| 0,35 | 6,6 | 16,4 | 7,1 | 9,5 | 18,3 | 4,0 | 26,5 | 10,2 | 27,8 |
| 0,42 | 2,4 | 13,1 | 12,7 | 9,8 | 9,9 | 13,6 | 4,1 | 13,8 | 23,3 |
| 0,53 | 5,3 | 4,1 | 7,9 | 5,4 | 8,8 | 6,7 | 7,6 | 6,6 | 20,9 |
| 0,81 | 0,5 | 3,6 | 6,9 | 3,6 | 6,3 | 2,4 | 9,0 | 13,4 | 17,6 |
| Ø | 27,1 | 29,2 | 29,4 | 30,6 | 28,9 | 22,7 | 36,7 | 21,1 | 34,5 |
| Wirkung gegen <i>Sinapis alba</i> (%) | | | | | | | | | |
| | a | b | c | d | e | f | g | h | Ø |
| 0,35 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 83 | 95 | 100 | 97 |
| 0,42 | 100 | 100 | 100 | 92 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 |
| 0,53 | 89 | 89 | 90 | 96 | 100 | 100 | 96 | 100 | 95 |
| 0,81 | 55 | 69 | 57 | 64 | 82 | 78 | 75 | 50 | 66 |
| Ø | 86 | 89 | 87 | 88 | 95 | 90 | 91 | 88 | 89 |
| Wirkung gegen <i>Lolium perenne</i> (%) | | | | | | | | | |
| | a | b | c | d | e | f | g | h | Ø |
| 0,35 | 64 | 75 | 67 | 81 | 74 | 80 | 73 | 77 | 74 |
| 0,42 | 73 | 92 | 74 | 76 | 67 | 72 | 70 | 65 | 74 |
| 0,53 | 71 | 77 | 67 | 73 | 78 | 80 | 74 | 85 | 76 |
| 0,81 | 60 | 75 | 58 | 67 | 64 | 74 | 62 | 68 | 66 |
| Ø | 67 | 80 | 66 | 74 | 71 | 76 | 70 | 74 | 72 |

Diskussion

Am Beispiel eines handgeführten Abflamngeräts konnte gezeigt werden, dass derartige Geräte grundsätzlich nach einem standardisierten Protokoll in einem Prüfstand getestet und bewertet werden können. Das Verfahren erwies sich als geeignet, sowohl die Temperaturverteilung als auch Wirkungsgrade für ausgewählte Modellpflanzen reproduzierbar zu erfassen. Allerdings zeigten die biologischen Kenngrößen (Frisch-Sprossmasse, Vitalität der Modellpflanzen) eine höhere Streuung als die physikalischen Parameter. Dies zeigte sich schon bei den unbehandelten Kontrollpflanzen.

Nach den derzeitigen Erkenntnissen und Erfahrungen erfüllen Aufbau und Messmethodik des Prüfverfahrens die Voraussetzungen für Standardtests. Erste Erfahrungen liegen nicht nur für das beschriebene Abflamngerät, sondern auch für ein Heißluftgerät und ein Heißwassergerät vor. Allerdings stellte sich heraus, dass für die Verfahren auf Heißwasser- und Heißschaumbasis noch technische Anpassungen am Prüfstand erforderlich sind. Eine abschließende und umfassende Geräte-Bewertung in Bezug auf Temperaturverteilung und Wirkungssicherheit kann daher erst erfolgen, wenn belastbare Vergleichswerte anderer Geräte vorliegen. Unabhängig von dieser Validierung des Prüfverfahrens ist aber bereits deutlich geworden, dass Angaben einiger Hersteller zu erreichbaren Temperaturen und Fahrgeschwindigkeiten nicht vollständig bestätigt werden konnten. Um Energie-Effizienz und biologische Wirkung zu verbessern, ist es dringend erforderlich, die zeitliche und räumliche Heterogenität der Temperaturen zu verringern. Hier zeigten die Untersuchungen weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarf zur konstruktiven Optimierung derartiger Geräte.

Das Prüfverfahren wird im Julius Kühn-Institut weiterentwickelt, so dass mittelfristig Bewertungen von anderen Geräten zur thermischen Unkrautbekämpfung vorliegen werden.

Danksagung

Die Autoren danken Martina Kracht und Werner Löhr für die hervorragende technische Unterstützung der Untersuchungen.

Literatur

- ASCARD, J., 1995: Effects of flame weeding on weed species at different developmental stages. *Weed Research* **35**, 397–411.
- BERTRAM, A., 1996: Geräte- und verfahrenstechnische Optimierung der thermischen Unkrautbekämpfung. Dissertation, Technische Universität München, Weihenstephan.
- RASK, A.M. und P. KRISTOFFERSEN, 2007: A review of non-chemical weed control on hard surfaces. *Weed Research* **47**, 370–380.
- VERSCHWELE, A., 2012: Unkräuter auf Wegen und Plätzen und ihre Bekämpfung. 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 13.-15. März 2012, Braunschweig, *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 273-280.

The effect of mulches on *Elytrigia repens* spreading under conditions of organic agriculture

Einfluss von Mulch auf die Elytrigia repens-Ausbreitung im ökologischen Landbau

Darija Jodaugienė*, Rita Pupalienė, Aušra Sinkevičienė, Kristina Bajorienė

Aleksandras Stulginskis University, Institute of Agroecosystems and Soil Science,
Studentu str. 11, 53361 Akademija, Kaunas distr., Lithuania

*Corresponding author, darija.jodaugiene@asu.lt



DOI 10.5073/jka.2016.452.065

Abstract

Elytrigia repens is the most important and widely spread perennial weed in Lithuania. Infestation with *E. repens* in organic agriculture is an increasing problem in many parts of Europe. Non-chemical weed management strategies against *E. repens*, based on cultivation tactics and different mulching, have received very high attention for many years. The two factor stationary field experiment was carried out at the Experimental Station of the Aleksandras Stulginskis University. The influence of organic mulches and different thickness of mulch layer on weed density was investigated in 2004–2009, the residual effect of the mulches and mulch layer was studied in 2010–2012.

At the beginning of the experiment higher density of *E. repens* was estimated in plots with straw mulch and lower in plots mulched with peat and grass mulch. In 2007–2009 all investigated organic mulches reduced *E. repens* emergence. Peat, sawdust and grass had the strongest influence on the decrease of *E. repens* re-growth. Significantly higher density of *E. repens* sprouts was estimated in experimental plots mulched with 5 cm mulch layer compared with this in plots mulched with 10cm mulch layer during 2004–2009 except 2007.

The residual effect of all examined organic mulches on *E. repens* spreading was unequal. The previously six years used and incorporated organic mulches did not significantly decrease *E. repens* numbers in 2010–2012 because they do not mechanically suppress weed emergence. The residual effect of mulch layers on *E. repens* sprout numbers was not significant. A tendency of decreased densities of *E. repens* was estimated during the first two years of the mulch residual effect studies.

Keywords: *Elytrigia repens*, organic farming, organic mulch, residual effect of mulch

Zusammenfassung

Elytrigia repens ist das wichtigste und am weitesten verbreitete mehrjährige Unkraut in Litauen. Befall mit *E. repens* in der ökologischen Landwirtschaft ist ein zunehmendes Problem in vielen Teilen Europas. Nicht-chemische Managementstrategien gegen *E. repens*, basierend auf ackerbaulichen Maßnahmen und verschiedenen Mulch-Verfahren, haben eine sehr hohe Aufmerksamkeit seit vielen Jahre erhalten. Der Zwei-Faktoren Feldversuch wurde auf der Versuchsstation der Aleksandras-Stulginskis-Universität durchgeführt. Der Einfluss organischer Mulche und unterschiedlicher Dicke der Mulchschicht auf die Unkrautdichte wurde in 2004-2009 untersucht, und im Zeitraum 2010-2012 wurde die Nachwirkung der Mulchauflagen und der Mulchschichtstärken erfasst.

Zu Beginn des Experiments traten höhere Dichten von *E. repens* in Parzellen mit Strohmulch auf, schwächer in Parzellen mit Torf und Grasmulch. In 2007-2009 reduzierten alle angewandten Mulchverfahren die Entwicklung von *E. repens*. Torf, Sägemehl und Gras hatten den stärksten Einfluss auf die Abnahme von *E. repens*. Deutlich höhere Dichten von *E. repens* wurden auf Versuchsflächen mit 5 cm Mulchauflage im Vergleich mit 10 cm Auflage in den Jahren 2004 bis 2009, außer 2007, festgestellt.

Die Nachwirkung aller untersuchten organischen Mulchauflagen auf die Entwicklung von *E. repens* war unterschiedlich. Die vor 6 Jahren ausgebrachten organischen Mulchauflagen verringerten die Dichte von *E. repens* im Zeitraum 2010-2012 nicht signifikant, weil sie das Unkraut nicht mechanisch unterdrücken. Die Nachwirkung der Mulchauflagen auf die Dichte von *E. repens* war nicht signifikant. Eine Tendenz verringerter Dichte von *E. repens* wurde während der ersten zwei Jahre der Mulch-Nachwirkungs-Studien beobachtet.

Stichwörter: *Elytrigia repens*, ökologischer Landbau, organischer Mulch, Restwirkung des Mulchens

Introduction

The use of organic mulches is a traditional weed control method maintaining soil quality (DONGGEUN et al., 2009). The effectiveness of mulch as weed control means was high in preventing emergence of most annual weeds (HOGUE et al., 2003; NEILSEN et al., 2004). The influence of organic mulches on emergence and re-growth of perennial weeds was unequal (PUPALIENE et al., 2015). CLINE et al. (2011) reported chopped cereal straw as a good mulching material providing a durable barrier.

The perennial weed *Elytrigia repens* is the most important and widely spread weed in Lithuania. Infestation with *E. repens* in organic agriculture is an increasing problem in many parts of Europe. Non-chemical management strategies against *E. repens*, based on soil cultivation and different mulching, have received very high attention for many years. According to LICZNAR–MALANCZUK (2014), *Elymus repens* (L.) GOULD (or *Elytrigia repens* (L.) NEVSKI) was found to be the most persistent perennial weed species in the field experiment with living mulches.

The aim of this study was to estimate the influence and the residual effect of organic mulches and the thickness of mulch layers on *Elytrigia repens* density in horticultural crops.

Material and Methods

Study site

A two factor stationary field experiment was carried out at the Experimental Station of Aleksandras Stulginskis University (previously Lithuanian University of Agriculture) (54°53'N, 23°50'E). The mean annual temperature of the study site is 6.0-6.5 °C, mean annual precipitation is 600-650 mm and mean annual length of sun shine is 1750-1800 hours (Lithuanian Hydrometeorological Service). The soil type is *Calc(ar)i- Endohypogleyic Luvisol*.

Design of the experiment

The influence of organic mulches and different thickness of mulch layers on weed density was investigated in 2004–2009, in 2010–2012 the residual effect of the mulches and mulch layer was studied. Treatments of the experiment: Factor A – mulch: 1) without mulch; 2) straw mulch (chopped wheat straw); 3) peat mulch (medium decomposed fen peat); 4) sawdust mulch (from various tree species); 5) grass mulch (regularly cut from grass-plots). Factor B – thickness of mulch layer: 1) 5 cm; 2) 10 cm. Randomised design was used. Individual plot size was 2 x 6 m. The experiment involved 4 replications.

Data collection and analysis

Crops were grown in all experimental plots: common bean in 2004, common onion in 2005, red beet in 2006, white cabbage in 2007, potatoes in 2008, common bean in 2009. In 2010 common onion, in 2011 red beet and in 2012 white cabbage were grown.

In 2004–2009 mulch was spread manually in a 5 cm and 10 cm thick layer shortly after sowing (planting). Remains of the mulch were inserted into the soil by ploughing after crop harvest in autumn.

During all periods of the experiment the crops were grown employing common organic crop production technologies. *E. repens* sprouts were counted in each plot in 4 permanent 0.2 x 0.5 m sites. Assessments were done every 10 days from May to October. During each assessment, the *E. repens* were pulled out and counted. The number of *E. repens* shoots was re-calculated into numbers m⁻².

The means were compared using Fisher's protected LSD test at $P(\text{level}) < 0.05$ with ANOVA procedure with SYSTAT 10 (SPSS, 2000). Data transformations $\lg(x+1)$ were used as necessary to achieve statistical normality. Probability level: * = 95%, ** = 99%, *** = 99.9%.

Results

The results of our experiments indicated the non-equal influence of organic mulches on perennial weed *Elytrigia repens* density in different agricultural crops. Only one organic mulch from four investigated is evidently suitable for *E. repens* control. The significantly lower number of *E. repens* sprouts was investigated in experimental plots mulched with grass mulch during all experimental period in 2004-2009 (Fig. 1). Grass mulch effect on germination of many weed species prolonged to the middle of summer (JODAGUIENÉ et al., 2006; MUNIKIENÉ et al., 2014), but it had significant effect on *E. repens* density. From the beginning of experiment the tendency of increasing *E. repens* density in plots with straw mulch was established. A lower density of this perennial weed in straw mulched plots was investigated after 4 years from the beginning of experiment. In 2009, significantly lower density of *E. repens* was investigated in all mulched plots. Significantly lower *E. repens* sprout numbers were observed in plots mulched with peat in 2004, 2005, 2008 and 2009.

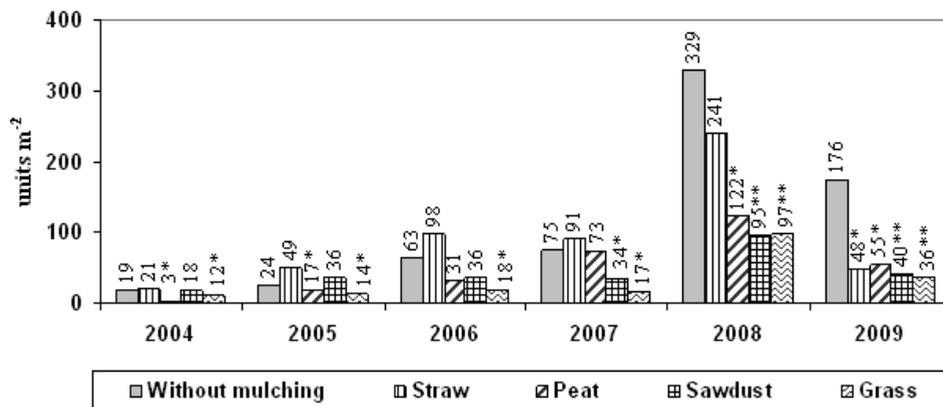


Fig. 1 The influence of organic mulches on *Elytrigia repens* density, 2004-2009. * = 95% probability level, ** = 99% probability level.

Abb. 1 Einfluss von organischem Mulch auf die Dichte von *Elytrigia repens* 2004-2009. * = 95 % Wahrscheinlichkeit, ** = 99 % Wahrscheinlichkeit.

Sawdust mulch was indicated as organic mulch suppressing no weeds but also agricultural plants (SINKEVIČIENÉ et al., 2009). The density of *E. repens* was significantly lower in plots mulched with sawdust in 2007-2009. At the beginning of the experiment a significant influence of sawdust mulch on *E. repens* density was not established.

The thicker 10 cm mulch layer is a good mean for *E. repens* control in organic farming system. Significant differences of *E. repens* sprout numbers were obtained between experimental plots mulched with 5 cm mulch layer and 10 cm mulch layer except 2007 (Fig. 2).

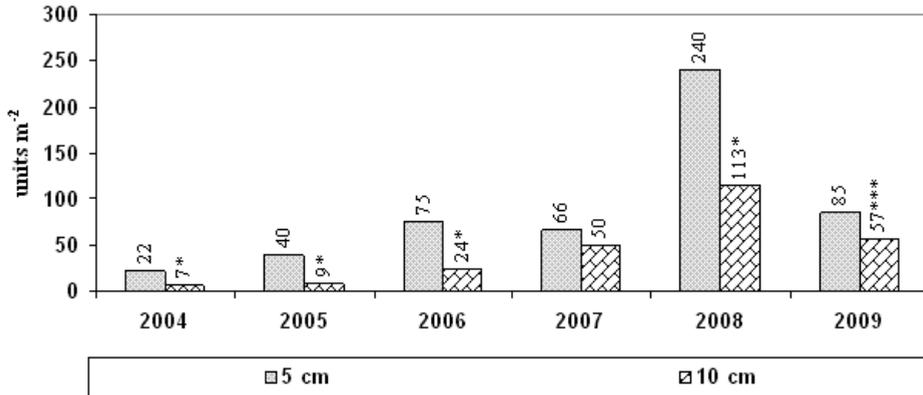


Fig. 2 The influence of different thickness of mulch layer on *Elytrigia repens* density, 2004-2009. * = 95% probability level, *** = 99.9% probability level.

Abb. 2 Einfluss der Stärke der organischen Mulchlage auf die Dichte von *Elytrigia repens*, 2004-2009. * = 95 % Wahrscheinlichkeit, *** = 99,9 % Wahrscheinlichkeit.

During the period when the residual effect of organic mulches was examined the *E. repens* density in not-mulched plots and plots mulched with organic mulches varied (Fig. 3). It belonged not only on mulch type, but also on other reasons. Such as agricultural crop and its smothering ability, meteorological conditions, crop density in experimental plots. White cabbage in 2012 suppressed weeds better than common onion in 2010 or red beet in 2011.

The tendency of lower *E. repens* density in plots previously mulched with sawdust was investigated. The significant residual effect of sawdust on *E. repens* density was observed in 2011. The number of *E. repens* sprouts in plots previously mulched with straw became higher in 2010, the first year without organic mulches. The lower number of *E. repens* sprouts in plots previously mulched with straw was obtained in 2011 and 2012. The tendency of lower density of *E. repens* in plots with grass mulch prolonged by 3 years of experiment.

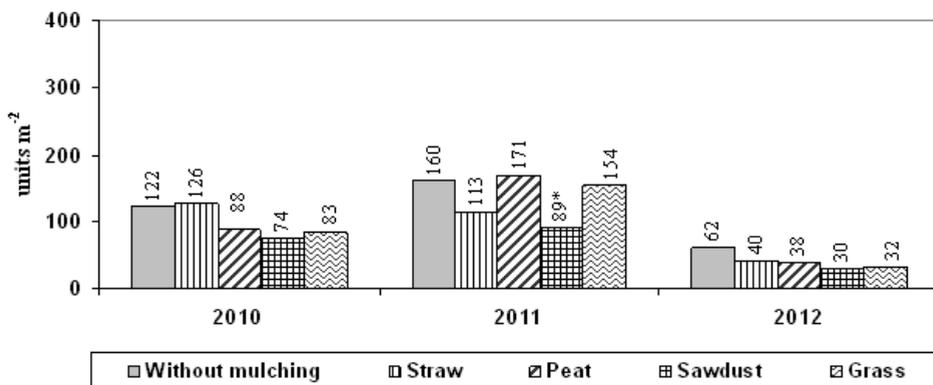


Fig. 3 Residual effect of organic mulches on *Elytrigia repens* density, 2010-2012. * = 95 % probability level.

Abb. 3 Nachwirkung von organischem Mulch auf die Dichte von *Elytrigia repens*, 2010-2012. * = 95 % Wahrscheinlichkeit.

The residual effect of mulch layers on *E. repens* sprout number was not significant. In the first and the second year of the investigation of residual effect of mulch layers the density of *E. repens* sprouts was 8.4 – 11.5% lower in plots mulched with thicker mulch layer (Fig. 4). In 2012 the density of *E. repens* sprouts was equal in plots previously mulched with different mulch layers.

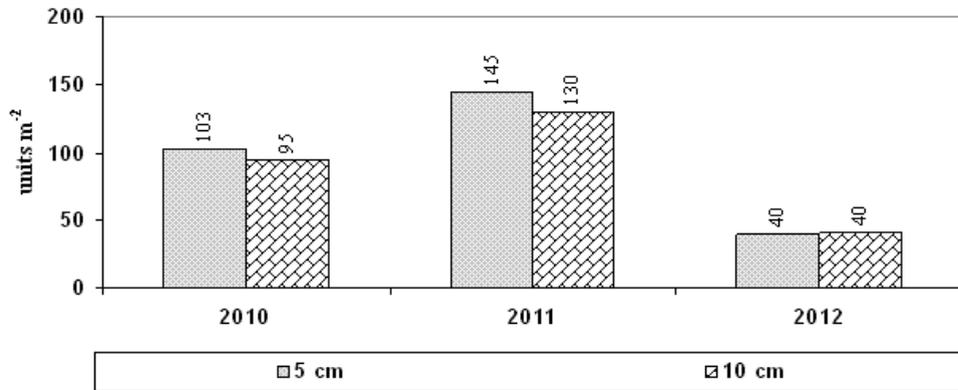


Fig. 4 Residual effect of the thickness of organic mulch layer on *Elytrigia repens* density, 2010-2012. $P > 0.050$.

Abb. 4 Nachwirkung der Stärke der organischen Mulchlage auf die Dichte von *Elytrigia repens*, 2010-2012. $P > 0,050$.

The organic mulches' effect as a barrier is more important for the control of this perennial weed compared with allelopathic effects.

Discussion

At the beginning of the experiment higher density of *E. repens* was investigated in plots with straw mulch and lower in plots mulched with peat and grass mulch. In 2007–2009 all investigated organic mulches reduced *E. repens* emergence. But there is an opposite opinion: PUSZTAI (2010) summarized the results of a six years' field experiment and concluded that only plastic foil mulch as soil cover can be a possible solution for non-chemical weed control of *E. repens*. Organic mulches (grass, weed clippings, legume clippings) did not significantly reduce *E. repens* density in tomato crop. Legume clippings mulch and grass clippings mulch were competitive mulching methods regarding total yield of tomato but their weed management effect was weak. Other investigated organic mulches (peat, sawdust and grass) had a stronger influence on the decrease of *E. repens* re-growth. GAISLER et al. (2008) recommended grass mulching applied at least twice a year as suitable way for non-chemical restriction of perennial weeds such as *Cirsium arvense* or *Elytrigia repens*. Significantly higher number of *E. repens* sprouts was investigated in experimental plots mulched with 5 cm mulch layer compared with this in plots mulched with 10 cm mulch layer during 2004–2009 except 2007. The residual effect of all examined organic mulches on *E. repens* spreading was unequal. The previously six years' use and incorporation of organic mulches did not significantly decrease *E. repens* density in the following years 2010–2012 because they do not mechanically suppress weed emergence. The residual effect of mulch layers on *E. repens* sprout numbers was not significant. A tendency of decreased density of *E. repens* was observed during the first two years of the mulch residual effect studies.

References

CLINE, J., G. NEILSEN, E. HOGUE, S. SHAWN KUCHTA and D. NEILSEN, 2011: Spray-on-mulch Technology for Intensively Grown Irrigated Apple Orchards: Influence on Tree Establishment, Early Yields, and Soil Physical Properties. *HorTechnology* **21**(4), 398-411.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- DONGGEUN, C., S. BYUNGSUN and K. INKYU, 2009: Changes of soil, growth, and fruit quality by soil surface management under tree in sod culture of apple orchard. *Korean J. Hort. Sci. Technol.* **27**, 174-180.
- GAISLER, J., V. PAVLU and M. HEJCMAN, 2008: Effect of different defoliation practices on weeds in an upland meadow. *Journal of Plant Diseases and Protection* 115, Special Issue **XXI**, 541-545.
- HOGUE, E.J., G.H. NEILSEN, T. FORGE and D. NEILSEN, 2003: Use of a spray-on-mulch of waste paper fiber in integrated fruit production. *Proc. 2nd Can. Organic Residuals Recycling Conf.*, 883- 899.
- JODAGIENĖ, D., P. PUPALIENĖ, M. URBONIENĖ, V. PRANCKIETIS and I. PRANCKIETIENĖ, 2006: The Impact of Different Types of Organic Mulches on Weed Emergence. *Agronomy Research* **4**, 197-201.
- LICZNAR-MALANCZUK, M., 2014: The diversity of weed species occurring in living mulch in an apple orchard. *Acta Agrobotanica* **67**(1), 47-54.
- MUNIKIENĖ, J., A. SINKEVIČIENĖ, D. JODAGIENĖ and V. STEPONAVIČIENĖ, 2014: Organinių mulčių poveikis vegetalinei florai ir augalų derlingumui. *Žemės ūkio mokslai* **21**(4), 209-220.
- NEILSEN, G.H., E.J. HOGUE, D. NEILSEN and T. FORGE, 2004: Use of organic applications to increase productivity of high density apple orchards. *Acta Hort.* **638**, 347-356.
- PUPALIENĖ, R., A. SINKEVIČIENĖ, D. JODAGIENĖ and K. BAJORIENĖ, 2015: Weed Control by Organic Mulch in Organic Farming System. In: *Weed Biology and Control*. Editor Pilipavicius, V., Rijeka: In Tech, ISBN 9789535121312. p. 65-86.
- PUSZTAI, P., 2010: Comparative evaluation of mulching methods in tomato production. Thesis of PhD dissertation. Budapest, Corvinus University of Budapest, 19.
- SINKEVIČIENĖ, A., D. JODAGIENĖ, R. PUPALIENĖ and M. URBONIENĖ, 2009: The influence of organic mulches on soil properties and crop yield. *Agronomy Research* **7**(1), 485-491.

Autoren – Authors

A

Anderson, Monte35
 Andert, Sabine..... 263

B

Bajorienè, Kristina..... 477
 Balgheim, Natalie..... 327
 Becker, Daniel 347
 Becker, Jörg 297
 Beffa, Roland 35, 42
 Below, Michael..... 183
 Belz, Regina G. 103
 Bergmann, Elke 371
 Bergmann, Henning 342
 Bernhard, Ulrich 355
 Bessai, Johannes..... 318
 Best, Fabian27
 Böhm, Herwart 439, 464
 Bornemann, Lüder..... 163
 Bozic, Dragana..... 225
 Brathuhn, Arne 187
 Brauckmann, Hans-Jörg.....84
 Bremer, Hagen 318
 Bürger, Jana..... 119, 263

C

Casaña-Giner, Victor 335
 Clausein, Wilhelm 206

D

de Gaujac, Xavier 355
 Dicke, Dominik 68
 Drobny, Hans G. 19, 305
 Drobny, Hans Günther 359
 Dücker, Rebecka 35
 Dzikowski, Marcin..... 297

E

Ewert, Katrin 371

F

Festner, Thomas..... 385, 412, 418
 Fischer, Jenny..... 439

Förtsch, Andreas.....305, 359

G

Gast, Roger 297
 Gehring, Klaus 145, 385, 412, 418
 Gerhards, Roland.....57, 68, 171, 424, 446, 462
 Gerowitt, Bärbel..... 13, 93, 119, 123, 263, 270, 452
 Gfeller, Aurélie.....431
 Gimeno, Barbara.....335
 Gimeno, Miguel 335
 Glemnitz, Michael..... 84
 Gruber, Sabine 206
 Günningmann, Albert347

H

Haarstrich, Felix..... 163
 Hahn, Juliane 123
 Hämmerle, Hermann.....335
 Heiermann, Monika 123
 Heilmann, Hartmut 136
 Helinski, Christian..... 359
 Hemerik, Lia 100
 Henschke, Christian 68
 Herrmann, Johannes 42
 Hess, Martin..... 42
 Hofmeijer, Merel452
 Holtschulte, Bernd 327
 Hölzel, Norbert..... 76
 Hull, Richard..... 35

J

Jabran, Khawar..... 177
 Jodaugienè, Darija 477
 Jung, Rüdiger..... 457

K

Kamerichs, Benedikt.....297
 Kämpf, Immo 76
 Kehlenbeck, Hella..... 279
 Kemou-Gao, Issa 119
 Kerlen, Dirk.....310, 365
 Kiehl, Kathrin..... 76
 Koning, Laurie Anne.....270
 Koops, Anke 355
 Krebs, Mathias 232

Kühling, Insa.....76
 Kunz, Christoph..... 171, 446

L

Larelle, Dominique..... 297
 Leskovsek, Robert..... 201
 Li, Hui.....57
 Lorentz, Lothar35
 Lübcke, Jörg 217

M

Maier, Johann 462
 Mathiassen, Solvejg K..... 210
 Meinlschmidt, Ewa 371
 Melander, Bo 452
 Moss, Stephen35
 Mumme, Heinrich..... 327

N

Nabout A, Adnan 462
 Naunheim, Peter 310, 365
 Nordmeyer, Henning.....232, 241, 279, 290

P

Pallutt, Bernhard 130, 194
 Pannwitt, Heike93
 Parzych, David 123
 Pavlovic, Danijela.....225
 Peteinatos, Gerassimos..... 462
 Petersen, Jan27, 50, 68, 154, 187, 403
 Pflanz, Michael..... 241
 Pupalienè, Rita..... 477

R

Raffel, Hans.....27
 Rauber, Rolf 457
 Rautmann, Dirk..... 232
 Reismüller, Matthias 335
 Richter, Otto42
 Riemens, Marleen24
 Rissel, Dagmar 393
 Risser, Peter 462
 Rosenhauer, Maria.....50, 403
 Rosinger, Chris.....50

S

Salonen, Jukka.....452
 Saltzman, Jovanka279
 Sattin, Maurizio201
 Scheid, Luitpold163
 Scheliga, Maria 154
 Schläfer, Sascha318
 Schmalstieg, Heiko371
 Schönhammer, Alfons318
 Schulte, Michael.....249, 255
 Schwabe, Sebastian.....206
 Schwarz, Jürgen..... 130, 194, 279
 Schweers, Wilko217
 Sefzat, David270
 Sievernich, Bernd403
 Sinkevičienė, Aušra477
 Sinkkonen, Aki..... 103
 Söchting, Hans-Peter 111
 Sökefeld, Markus462
 Sölter, Ulrike.....210
 Steinfeld, Benjamin..... 163
 Steingröver, Paul 163
 Steinmann, Horst-Henning249, 255
 Stibbe, Carsten.....327
 Stieg, Detlef.....471
 Stojicevic, Darko225
 Stomph, Tjeerd-Jan 100
 Streck, Harry 42
 Sturm, Dominic Johannes424

T

Theuvsen, Ludwig 249
 Thyssen, Stefan 145, 385, 412, 418
 Tümler, Christine217, 371

U

Uhl, Thomas305
 Ulber, Lena393

V

van der Werf, Wopke 100
 van Mourik, Tom A..... 100
 Vantieghem, Herve318
 Vasileiadis, Vasilis 201
 Verschwele, Arnd 201, 210, 471
 Verwijst, Theo452
 von Redwitz, Christoph 93

Vrbnicanin, Sava..... 225

W

Wang, Pei57

Weber, Ernst Albrecht 206

Weber, Jonas Felix..... 171, 446

Wegener, Martin 327

Werner, Bernhard 163

Westerman, Paula R.....100, 123

Wiese, Armin.....249, 255

Wirth, Judith431

Z

Zarina, Livija452

Zotz, Agnes355

Zwenger, Peter.....111, 279

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 (<http://pub.jki.bund.de>) zu lesen.

Öffentlichkeit und Fachwelt versorgen wir zusätzlich mit verschiedenen Informationsangeboten über alle Aspekte rund um die Kulturpflanzen. Hierfür stehen Broschüren, Faltblätter, Fachzeitschriften und Monographien, Datenbanken und Themenportale im Internet zur Verfügung.

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>**.

Spezielle Anfragen wird Ihnen unsere Pressestelle (**pressestelle@jki.bund.de**) gern beantworten.

Anschrift für **Tauschsendungen**:

Please address **exchanges** to:

Adressez **échanges**, s'il vous plait:

Para el **canje** dirigirse por favor a:

Informationszentrum und Bibliothek
Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Königin-Luise-Straße 19
D-14195 Berlin, Germany
E-Mail: ib@jki.bund.de

27. 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 wieder. Im Mittelpunkt der Fachtagung stehen Inhalte zu Forschung und Entwicklung zu Themen im Bereich der Herbizidresistenz bei Unkräutern, Populationsdynamik und Biodiversität, Unkrautmanagement ohne Herbizide, nichtselektive Herbizide, Entwicklungen bei Herbiziden und Herbizidmanagement. 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).

27th 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, population dynamics and biodiversity, weed management without herbicides, non-selective herbicides, developments in herbicides and herbicide management. 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 27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung wird freundlicherweise unterstützt durch:

