

4 5 8

Julius-Kühn-Archiv

Henning Nordmeyer, Lena Ulber

Tagungsband

28. Deutsche Arbeitsbesprechung
über Fragen der

Unkrautbiologie und – bekämpfung

27. Februar - 1. März 2018, Braunschweig

Proceedings

28th German Conference on

Weed Biology and Weed Control

February 27 - March 1, 2018, Braunschweig, Germany



Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI)

Das Julius Kühn-Institut ist eine Bundesoberbehörde und ein Bundesforschungsinstitut. Es umfasst 17 Institute zuzüglich gemeinschaftlicher Einrichtungen an 10 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 <https://www.julius-kuehn.de>. Spezielle Anfragen wird Ihnen unsere Pressestelle (pressestelle@julius-kuehn.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 17 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 <https://www.julius-kuehn.de>. For more specific enquiries, please contact our public relations office (pressestelle@julius-kuehn.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@julius-kuehn.de
Internet: <http://www.julius-kuehn.de/> Bereich "Das JKI/Wer wir sind/Fördervereine"

4 5 8

Julius-Kühn-Archiv

Henning Nordmeyer, Lena Ulber

Tagungsband

28. Deutsche Arbeitsbesprechung
über Fragen der

Unkrautbiologie und – bekämpfung

27. Februar - 1. März 2018, Braunschweig

Proceedings

28th German Conference on

Weed Biology and Weed Control

February 27 - March 1, 2018, 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)
Boris Schröder-Esselbach (Technische Universität Braunschweig)
Klaus Gehring (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft)
Bärbel Gerowitt (Universität Rostock)
Henning Nordmeyer (Julius Kühn-Institut)
Jan Petersen (Technische Hochschule Bingen)
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

Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*)
Arno Littmann, Julius Kühn-Institut

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

Bückmann, Heidrun, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
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
Wellhausen, Christina, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
Zwerger, Peter, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland

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 978-3-95547-054-8
DOI 10.5073/jka.2018.458.000



Alle Beiträge im Julius-Kühn-Archiv sind unter einer
Creative Commons - Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen -
4.0 Lizenz veröffentlicht.

Inhaltsverzeichnis – Table of contents

Vorwort - Preface	13
--------------------------	-----------

Einleitende Referate Keynote presentations

Biodiversität in Agrarlandschaften Biodiversity in Agricultural Landscapes Werner Wahmhoff, Lili Hofmann	14
Mit Spot Farming zur nachhaltigen Intensivierung in der Pflanzenproduktion Spot Farming for sustainable intensification of plant production Jens Karl Wegener, Dieter von Hörsten, Lisa-Marie Urso	19

Sektion 1: Biodiversität Session 1: Biodiversity

Unkraut-Monitoring 2.0 - Erste Ergebnisse zur aktuellen Unkrautvegetation im Mais Weed survey 2.0 - First results of the recent weed vegetation in maize Heike Pannwitt, Christoph Krato, Bärbel Gerowitt	24
The influence of farming on weed flora in the Gäu region of Southwestern Germany with an emphasis on rare arable weed species Einfluss der Bewirtschaftung auf die Unkrautflora und insbesondere seltene Ackerunkräuter der Gäu-Region von Baden-Württemberg Matthias Schumacher, Ann-Kathrin Hahn, Roland Gerhards	30
Biodiversität einer mehrjährigen Wildpflanzenmischung für die Biogasproduktion Biodiversity of a perennial wild flower mixture for biogas production Friederike de Mol, Laura Tamms, Bärbel Gerowitt	35
Wildpflanzen-Samen in der Biogas-Anlage: Screening des Überlebensrisikos verschiedener Arten Wildflower seeds in the biogas reactor: Screening the risk of survival of different species Juliane Hahn, David Parzych, Julia Schulz, Paula R. Westerman, Bärbel Gerowitt	41

- Maßnahmen gegen Jakobskreuzkraut *Senecio jacobaea* - langfristige Aspekte auf Wirksamkeit und biologische Vielfalt** 47
Influence of different measures against *Senecio jacobaea* concerning efficacy and biological diversity
Bernd Augustin, Susan Oehme, Gunter Mattern, Werner Roth
- Weed vegetation in organic winter cereals in the region of Mecklenburg-Vorpommern as influenced by site and management** 54
Ackerunkrautvegetation ökologisch bewirtschafteter Wintergetreideflächen in Mecklenburg-Vorpommern unter dem Einfluss von Standort und Management
Merel A.J. Hofmeijer, Henrike M. Lederer, Bärbel Gerowitt
- Changes in weed community composition in a long-term trial with different crop rotations and herbicide treatments** 58
Langzeitstudie über Veränderung der Unkrautflora unter dem Einfluss von Fruchtfolgen und Herbizidbehandlungen
Markéta Mayerová, Jan Mikulka, Michaela Kolářová, Josef Soukup

Sektion 2: Herbizidresistenz

Session 2: Herbicide resistance

- Wird die ALOMY-Bekämpfungseffizienz einer ‚Atlantis‘-Behandlung im Frühjahr durch den vorausgehenden ‚Lexus‘-Einsatz im Herbst eingeschränkt? – Stichwort: Resistenzkonditionierung** 67
Will the efficacy of an ALOMY treatment with ‚Atlantis‘ in spring be reduced by a prior application of ‚Lexus‘ in autumn? – Keyword: Conditioning for resistance
Friedrich G. Felsenstein, Saúl Molina-Herrera
- Effektivität von Propyzamid als Maßnahme zur Minderung des Selektionsdruckes auf ACCase-Hemmer bei Ackerfuchsschwanz im Winterraps** 76
Performance of propyzamide against black grass as a strategy to minimize selection pressure of ACCase inhibitors
Bernd Augustin, Kerstin Hüsgen
- Untersuchung pflanzenbaulicher Maßnahmen zur Zurückdrängung von Herbizid-resistentem Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*)** 82
Investigation of crop management strategies for control of herbicide-resistant blackgrass (*Alopecurus myosuroides*)
Christina Wellhausen, Lena Ulber, Dagmar Rissel

- Herbizidresistenz auf deutschen Betrieben: Wie schätzen Landwirte das Resistenzrisiko und die Wirksamkeit von Anti-Resistenzstrategien ein?** 87
Herbicide resistance awareness and application of management strategies among German farmers
Lena Ulber
- Selektion einer *Apera spica-venti*-Population mit reduzierter Sensitivität gegenüber Iodosulfuron** 94
Selection for reduced iodosulfuron sensitivity in *Apera spica-venti*
Dagmar Rissel, Lena Ulber
- Simulation zukünftig zu erwartender Wirkungsgrade von Herbiziden der HRAC-Klasse B gegenüber Windhalm in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsparametern** 99
Simulation of expected future efficacy from HRAC group B herbicides against loose silky-bent grass, depending on cropping factors
Dominik Dicke, Christian Henschke, Andreas Büchse
- Herbicide mixtures for control of herbicide resistant *Apera spica-venti* populations** 106
Herbizidmischungen für die Kontrolle von herbizidresistenten Windhalm-Populationen
Jan Petersen
- Stand und Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern** 113
Situation and development of herbicide resistance in Black-grass (*Alopecurus myosuroides*) in Bavaria
Klaus Gehring, Stefan Thyssen, Thomas Festner
- Entwicklung nachhaltig wirkender Methoden zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.)** 121
Development of effective non-chemical methods for controlling black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.)
Ulrich Henne, Manja Landschreiber, Constanze Schleich-Saidfar
- Resistenzsituation bei Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Niedersachsen und Maßnahmen zur langfristigen Resistenzvermeidung** 132
Resistance situation in *Alopecurus myosuroides* in Lower Saxony and activities to prevent resistance
Goßswinth Warnecke-Busch, Dirk Michael Wolber, Lisa Köhler, Matthias Breiding

Resistenzentwicklung von *Alopecurus myosuroides* HUDS. (Acker-Fuchsschwanz) gegenüber ALS-Hemmern nach unterschiedlichen Vorbehandlungen **143**

Development of resistance in *Alopecurus myosuroides* HUDS. (blackgrass) against ALS inhibitors after different pre-treatments

Dirk Michael Wolber, Goßswinth Warnecke-Busch, Lisa Köhler

Herbizidresistenzen bei *Apera spica-venti* - Sachstand in Niedersachsen **148**

Resistance of herbicides against *Apera spica-venti* in Lower Saxony

Goßswinth Warnecke-Busch, Dirk Michael Wolber, Lisa Köhler, Matthias Breiding

Sanierung einer ALS-resistenten *Apera spica-venti*-Population - Ein dreifaktorieller Dauerversuch **156**

Remediation of an ALS resistant *Apera spica-venti* population - a three-factorial long-term experiment

Lisa Köhler, Goßswinth Warnecke-Busch, Dirk Michael Wolber, Matthias Breiding

Sektion 3: Herbizid-Management
Session 3: Herbicide management

Predicting hormesis in mixtures of herbicidal compounds – where are we and how far can we go? **162**

Vorhersage hormetischer Mischwirkungen von herbiziden Wirkstoffen – wo stehen wir und wie weit können wir kommen?

Regina G. Belz, Stephen O. Duke

Niederhaltung von *Bromus sterilis* L. in Wintergetreide - Auswertung der Ringversuche der Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen von 2014-2017 **169**

Suppression of *Bromus sterilis* L. in winter cereals - Evaluation of field trials in the states Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia

Ewa Meinlschmidt, Katrin Ewert, Christine Tümmeler, Elke Bergmann

Effizienz der chemischen Unkrautregulierung in Mais (*Zea mays*) in Bayern **178**

Efficiency of chemical weed control in maize (*Zea mays*) in Bavaria

Klaus Gehring, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Erfahrungen mit einem neuen Programm zum gezielten und reduzierten Einsatz von Herbiziden in Mais (DSS-IWM) **186**

Experiences with a new program for a targeted and reduced herbicide application in maize (DSS-IWM)

Arnd Verschwele, Karl-Josef Behr, Klaus Gehring, Kerstin Hüsgen, Ewa Meinlschmidt, Christine Tümmeler

Implementation of control strategies against yellow nutsedge (<i>Cyperus esculentus</i> L.) into practice	189
Einführung von Bekämpfungsstrategien gegen Erdmandelgras (<i>Cyperus esculentus</i> L.) in der Praxis Christian Bohren, Judith Wirth	
Validation of yellow nutsedge (<i>Cyperus esculentus</i>) control strategies in maize in an on-farm, large-scale field trial	198
Validierung verschiedener Strategien zur Bekämpfung von Erdmandelgras (<i>Cyperus esculentus</i>) anhand eines on-farm Großparzellenversuchs Martina Keller, René Total, Jürgen Krauss, Reto Neuweiler	
DSS-IWM: An improved European Decision Support System for Integrated Weed Management	205
DSS-IWM: Ein verbessertes europäisches Entscheidungshilfesystem für die integrierte Unkrautbekämpfung Heidrun Bückmann, Ole Mission Bøjer, Jose Maria Montull, Manfred Röhrig, Per Rydahl, Andreu Taberner, Arnd Verschwele	
Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden in <i>Solanum sisymbriifolium</i>	209
Efficiency and crop compatibility of different herbicides in <i>Solanum sisymbriifolium</i> Bernd Augustin, Sebastian Weinheimer	
Versuche zur Unkrautbekämpfung in Ackerbohnen im Nachauflauf	214
Trials for post-emergence weed control in faba beans Verena Haberlah-Korr, Iris Henneken, Chantal Meschede	
Mechanische und chemische Unkrautbekämpfung im Mischanbau von Mais und Bohne	223
Mechanical and chemical weed control in intercropped maize and bean Sabine Andert, Bärbel Gerowitt	
Auswirkung von Grasuntersaaten auf die Unkrautvegetation im Silomais - Eine Einführung in die Untersuchungen	231
Effects of catch crops on the weed vegetation in maize - an introduction to the study Jens Wienberg, Heike Pannwitt, Rolf Bünthe, Bärbel Gerowitt	

Sektion 4: Nichtselektive Herbizide

Session 4: Non-selective herbicides

- Zusammenhang zwischen der Intensität selektiver Herbizidmaßnahmen und dem Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung** **237**
Relationship between selective herbicide use intensity and pre-harvest glyphosate applications
Sabine Andert, Jana Bürger, Bärbel Gerowitt
- Beschreibung von Glyphosat-Anwendungsmustern im norddeutschen Ackerbau - Vergleich zweier unterschiedlicher Ansätze.** **245**
Describing glyphosate use pattern in north German arable farming - Comparison of two different approaches
Jan-Erik Mutz, Sabine Andert, Armin Wiese, Horst-Henning Steinmann, Bärbel Gerowitt
- Zum künftigen Umgang mit Glyphosat im Ackerbau - Ein Diskussionsbeitrag** **253**
On the future use of glyphosate in arable farming systems - a discussion statement
Horst-Henning Steinmann, Ludwig Theuvsen, Bärbel Gerowitt
- Variabilität in der Wirkung von Glyphosat gegen *Alopecurus myosuroides* HUDS. (Acker-Fuchsschwanz) in Niedersachsen** **261**
Variability in glyphosate efficacy in *Alopecurus myosuroides* HUDS. (blackgrass) in Lower Saxony
Dirk Michael Wolber, Goßswinth Warnecke-Busch, Lisa Köhler, Malena Kregel, Markus Radziejewicz
- Reaktion einer Population von *Lolium multiflorum* var. *westerwoldicum* auf wiederholten Einsatz von Glyphosat** **270**
Reaction of a population of *Lolium multiflorum* var. *westerwoldicum* to repeated use of glyphosate
Laura Tamms, Laurie Anne Koning*, Friederike de Mol, Bärbel Gerowitt
- Control of *Heracleum sosnowskyi* in Lithuania** **276**
Bekämpfung von *Heracleum sosnowskyi* in Litauen
Darija Jodaugienė, Aušra Marcinkevičienė, Aušra Sinkevičienė

Sektion 5: Unkrautmanagement ohne Herbizide

Session 5: Weed management without herbicides

- Der Einfluss der Fruchtfolge auf die Beikrautflora im ökologischen Landbau** **282**
The effect of crop rotation on weeds in organic arable fields
Franziska Mayer, Gisbert Kuhn, Peer Urbatzka, Adelheid Castell
- The regional weed vegetation in organic spring-sown cereals as shaped by local management, crop diversity and site** **288**
Eine regionale Analyse der Unkrautvegetation von Sommergetreideflächen auf Öko-Betrieben unter dem Einfluss von Unkrautbekämpfung, Kulturvielfalt und Standort
Merel A.J. Hofmeijer, Bärbel Gerowitt
- Unkrauttoleranz und Unkrautunterdrückungsvermögen der Blauen Lupine (*Lupinus angustifolius*)** **295**
Weed tolerance and weed-suppressing ability of blue lupin (*Lupinus angustifolius*)
Charlotte Kling, Herwart Böhm
- Effect of different soil cultivation methods on the emergence of *Apera spica-venti*** **303**
Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Auflauf von *Apera spica-venti*
Jürgen Schwarz
- The influence of crop density and sowing delay on weed germination in winter wheat** **307**
Einfluss von Bestandesdichte und späterem Aussaatzeitpunkt auf die Unkrautkeimung in Winterweizen
Auskalniene Ona, Kadziene Grazina, Jomantaite Birute

Sektion 6: Entwicklungen bei Herbiziden

Session 6: Developments in herbicides

- Croupier - Ein breit wirksames Klettenlabkraut-Herbizid als innovative, flüssige Formulierung zur Anwendung in Getreide** **311**
Croupier - a broad spectrum cleaver effective herbicide as an innovative liquid formulation for the use in cereals
Lena Nicke, Hans Glattkowski

- The herbicide Zypar™ with the new active ingredient Arylex™ as tankmix partner for graminicides for spring application in cereals** **316**
Das Herbizid Zypar™ mit dem neuen Wirkstoff Arylex™ als Tankmischpartner für Gräserherbizide in Wintergetreide im Frühjahr.
Wolfgang Dietrichs, Marcin Dzikowski, Matthias Donner, Jörg Becker
- Avoxa - neue Wege in der Ungrasbekämpfung in Winterweichweizen, Winterroggen und Wintertriticale** **322**
Avoxa - new ways of grass weed control in winter wheat, winter rye and winter triticale
Christoph Krato, Hans Raffel
- Efficacy of natural fatty acid based herbicides on mixed weed stands** **328**
Wirksamkeit von natürlichen, auf Fettsäuren basierten Herbiziden auf Unkrautbestände
Ivanna Crmaric, Martina Keller, Jürgen Krauss, Nicolas Delabays
- Clearfield®-Clentiga® Runway® Pack - eine flexible Komplettlösung für die Unkrautbekämpfung in Winterraps im Nachauflauf** **334**
Clearfield®-Clentiga® Runway Pack: A flexible solution for complete post-emergence weed control in winter oilseed rape
Alfons Schönhammer, Hagen Bremer, Joachim Freitag
- BELKAR™ - a new herbicide for the control of a wide range of broadleaf weeds in winter oilseed rape applied post-emergence in autumn** **345**
BELKAR™ - ein neues Herbizid zur Bekämpfung eines breiten Spektrums von dikotylen Unkräutern in Winterraps im Nachauflauf Herbst
Agnes Zotz, Ulrich Bernhard, Jürgen Bonin
- Two new cereal herbicides containing new Arylex™ active: Zypar™ and Pixxaro™ EC against various *Geranium* species** **350**
Zwei neue Getreideherbizide mit dem neuen Wirkstoff Arylex™ active: Zypar™ und Pixxaro™ EC gegen verschiedene Storchschnabel-Arten
Marcin Dzikowski, Wolfgang Dietrichs, Matthias Donner, Jörg Becker
- Flufenacet an interesting mix partner for Viper™ Compact and GF-1546 against grass weeds in autumn** **355**
Flufenacet als interessanter Mischpartner für Viper™ Compact und GF-1546 gegen Ungräser im Herbst
Matthias Donner, Marcin Dzikowski, Wolfgang Dietrichs, Jörg Becker

- KORVETA™ - a new herbicide for the control of a wide range of broadleaf weeds in winter oilseed rape applied in spring** **359**
KORVETA™ - ein neues Herbizid zur Bekämpfung eines breiten Spektrums dikotyler Unkräuter in Winterraps im Frühjahr
Agnes Zotz, Ulrich Bernhard, Jürgen Bonin

Sektion 7: Smart Farming

Session 7: Smart Farming

- From traditional weed mapping to an autonomous robot: developments and results from Hungary** **363**
Von traditioneller Unkrauterfassung zum autonomen Roboter: Entwicklungen und Ergebnisse aus Ungarn
Péter Reisinger, István Borsiczky

- Teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung - eine Innovation zur präzisen Applikation im Pflanzenbau** **373**
Site-specific weed control by direct injection - an innovation for precision spraying in crop production
Jan-Philip Pohl, Dirk Rautmann, Henning Nordmeyer, Dieter von Hörsten

- Räumlich hochauflösende Unkrautererkennung mittels Flugroboter und merkmalsextrahierender Bildverarbeitung** **379**
Drone based weed monitoring with an image feature classifier
Michael Pflanz, Michael Schirrmann, Henning Nordmeyer

- Precision harrowing using a bispectral camera and a flexible tine harrow** **385**
Präzises Striegeln mit justierbarerem Kamerazinkenstriegel
Gerassimos Peteinatos, Fiona Gierer, Roland Gerhards

- Does weed control by precision spray technology favour the emergence of resistance?** **390**
Begünstigt die teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung die Entwicklung von Resistenzen?
Otto Richter, Roland Beffa, Dirk Langemann

Sektion 8: Populationsdynamik

Session 8: Population dynamics

- Bekämpfung und Entwicklung ausdauernder Rasenunkräuter** **398**
Control and development of perennial lawn weeds
Hans-Peter Söchting, Peter Zwerger

- Pyrrolizidinalkaloid-haltige Beikräuter in Arznei- und Gewürzpflanzenkulturen - Verbreitung und Gefahr der Kontamination von Ernteprodukten in Deutschland** **408**
Pyrrolizidine alkaloid-containing weeds in medical and herb plant cultures - Distribution and danger of contamination in crop products in Germany
Jens Nitzsche, Andreas Plescher, Susanne Wahl
- Germination base temperature and relative growth rate of 13 weed species - comparing populations from two geographical origins** **419**
Basistemperatur der Keimung und relative Wachstumsrate von 13 Unkrautarten im Vergleich der Samen aus zwei mitteleuropäischen Herkünften
Jana Bürger, Natalie Colbach
- Seed potential and germination dynamic of *Abutilon theophrasti* in subsequent crops** **427**
Samenpotential und Auflaufdynamik von *Abutilon theophrasti* in Folgefrüchten
Maria Scheliga, Jan Petersen
- Echinochloa kompensiert Keimlingsverluste durch erhöhte Biomasseproduktion** **435**
Echinochloa compensates seedling losses by increased biomass production
Christian Selig, Friederike de Mol, Bärbel Gerowitt
- Erfassung und Management invasiver Neophyten auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zur Sicherung der Produktionsbedingungen** **442**
Monitoring and management of invasive neophytes on cropland to ensure productivity
Matthias Haase, Antje Birger, Jens Birger, Phillip Martini, Elke Schenke, Katrin Schneider, Ulrike Sölter, Florian Thürkow, Arnd Verschwele
- Keimung, Auflaufen und Pyrrolizidinalkaloid-Gehalte von Gemeinem Kreuzkraut (*Senecio vulgaris*)** **446**
Germination, emergence and pyrrolizidine-contents of common groundsel (*Senecio vulgaris*)
Sabine Gruber, Pia Stoll, Sabine Zikeli
- Effects of crop rotation, herbicide application and nitrogen on the emergence of *Vicia* spp.** **451**
Einfluss von Fruchtfolge, Herbiziden und Stickstoffdüngung auf den Auflauf von *Vicia* spp.
Jürgen Schwarz

Allelopathic effects of *Abutilon theophrasti*, *Asclepias syriaca* and *Panicum rudera* on maize 454

Die allelopathische Wirkung von *Abutilon theophrasti*, *Asclepias syriaca* und *Panicum rudera* auf Mais

Erzsébet Nádasy, György Pásztor, Imre Béres, Gábor Szilágyi

Study on the allelopathic effect of *Amaranthus retroflexus* L., *Datura stramonium* L. and *Panicum miliaceum* L. on the germination of maize 459

Untersuchung zur allelopathischen Wirkung von *Amaranthus retroflexus* L., *Datura stramonium* L. and *Panicum miliaceum* L. auf die Keimung von Mais

Rita Szabó, Erzsébet Nádasy, György Pásztor

The implications of *Panicum miliaceum* in the viral epidemiology of cereals 469

Die Bedeutung von *Panicum miliaceum* in der viralen Epidemiologie von Getreide

György Pásztor, Erzsébet Nádasy, András Takács

Yield losses in vegetable and arable crops caused by yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) in farmers fields in Switzerland 473

Ertragsverluste durch Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) in Feld- und Gemüsekulturen in der Schweiz

René Total, Lutz Collet, Jonathan Heyer, Martina Keller

Keimverhalten und Bekämpfung tropanalkaloidhaltiger Unkräuter 478

Germination and control of tropanalkaloid-containing weeds

Hans-Peter Söchting, Saskia Pfundheller

Sektion 9: Unkrautmanagement in Zuckerrüben
Session 9: Weed management in sugar beets

Versuche zur Bekämpfung aussamender Zwischenfrüchte als Unkraut in nachfolgenden Zuckerrüben 486

Trials to combat seed building catch crops as weeds in following sugar beets

Verena Haberlah-Korr, Iris Henneken, Franz Stuke

Aspekte einer Systemanalyse zur Bewertung des CONVISO® SMART Systems 494

Aspects of a system analysis contributing to an evaluation of the CONVISO® SMART SYSTEM

Nicol Stockfisch, Nelia Nause

Übersicht zu Wirksamkeitsversuchen von Conviso® One in Zuckerrüben 498

Survey of efficacy trials for Conviso® One in sugar beet

Philipp Götze, Christine Kenter, Moritz Jasper Wendt, Erwin Ladewig

Examination of efficacy and selectivity of herbicides in ALS-tolerant sugar beets	501
Untersuchungen zur Wirksamkeit und Selektivität von Herbiziden in ALS-toleranten Zuckerrüben Anja Löbmann, Jan Petersen	
CONVISO Smart - Erste Erfahrungen zum Einsatz	510
CONVISO Smart - first experiences with the new sugar beet production system Natalie Balgheim, Martin Wegener, Heinrich Mumme	
Autoren – Authors	516

Vorwort - Preface

Die zur Zeit in der Öffentlichkeit teils sehr emotional geführten Diskussionen über den Einsatz von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln im Allgemeinen und von Herbiziden im Besonderen zeigen, dass der Pflanzenschutz in der Landwirtschaft und im Gartenbau vor ganz neuen Herausforderungen steht. Die von der Wissenschaft und Beratung erarbeiteten Lösungskonzepte werden nur dann tragfähig sein und damit letztlich Akzeptanz finden, wenn es gelingt, die produktionstechnischen Erfordernisse der Praxis mit den berechtigten Interessen der Öffentlichkeit in Einklang zu bringen. Für den Bereich der Unkrautbekämpfung stellen die stark zurückgehende Agro-Biodiversität, die Folgen des Klimawandels, die zunehmenden Resistenzen der Unkräuter gegen die (noch) verfügbaren Herbizide sowie die Entwicklung effektiver pflanzenbaulicher Bekämpfungsstrategien die wichtigsten Herausforderungen dar.

Mit der Einladung zur 28. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung wollen das Julius Kühn-Institut (JKI), das Institut für Geoökologie der Technischen Universität Braunschweig und der Arbeitskreis Herbologie der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft (DPG) allen an der Herbologie interessierten Kolleginnen und Kollegen der Hochschulen, Industrie, Beratung und öffentlichen Verwaltung eine Plattform bieten, um sich den genannten Herausforderungen zu stellen. Diese, inzwischen vierte Veranstaltung in Braunschweig, findet für das JKI im zehnten Jahr seiner Gründung statt. Mit dem Slogan „10 Jahre JKI – 120 Jahre Forschung für Kulturpflanzen von morgen“ wird sowohl die Bewahrung des Erreichten als auch unsere Verantwortung für das Kommende betont. Dabei kommt gerade neuen und innovativen Anbauverfahren und Technologien eine besondere Bedeutung zu.

Die „Unkrauttagungen“ bieten eine einzigartige Möglichkeit sich über aktuelle Erkenntnisse und neue Forschungsergebnisse im Bereich der Herbologie auszutauschen sowie innovative Verfahren für die Unkrautbekämpfung vorzustellen und zu diskutieren. Um den aktuellen Erkenntnisstand zusammenfassend wiederzugeben haben die Veranstalter an dem Ziel festgehalten, die Manuskripte der Vorträge und Poster in einem Tagungsband zusammenzustellen und zu veröffentlichen. Die Manuskripte aller angenommenen Vorträge und Poster wurden einer Begutachtung unterworfen und redigiert. Auswahl, Zuordnung und Strukturierung der vielfältigen Beiträge sowie die Ausgestaltung des wissenschaftlichen Programms sind immer wieder eine schwierige Aufgabe, die ohne die maßgebliche Mitwirkung des Programmkomitees nicht zu bewerkstelligen gewesen wäre. Daher ergeht an dieser Stelle ein ganz besonderer Dank an die Mitglieder des Programmkomitees für ihre Unterstützung.

Die wissenschaftlichen Beiträge befassen sich neben der Unkrautbiologie und Populationsdynamik mit den aktuellen Schwerpunktthemen Biodiversität, Herbizidresistenz, Smart Farming, Anwendung von Glyphosat sowie mit einem effektiven Unkrautmanagement durch alternative, nicht-chemische Verfahren. Darüber hinaus werden ausgewählte Themengebiete im Rahmen von parallel stattfindenden Workshops vertiefend diskutiert. 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 2018

Henning Nordmeyer, Lena Ulber und Peter Zwerger

Einleitende Referate

Keynote presentations

Biodiversität in Agrarlandschaften

Biodiversity in Agricultural Landscapes

Werner Wahmhoff*, Lili Hofmann

Deutsche Bundesstiftung Umwelt, An der Bornau 2, 49090 Osnabrück

*Korrespondierender Autor, w.wahmhoff@dbu.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.001



Zusammenfassung

In internationalen Vereinbarungen hat sich die Weltgemeinschaft zum Erhalt der Biodiversität verpflichtet. Das gilt auch für Agrarlandschaften und ihren landwirtschaftlichen Nutzflächen. Deren Biodiversität ist eng verknüpft mit der technologischen und gesellschaftlichen Entwicklung des Menschen und folglich einem stetigen Wandel unterworfen. Durch die Intensivierung der mitteleuropäischen Landwirtschaft in den letzten hundert Jahren ist ein deutlicher Rückgang der Artenvielfalt zu beobachten. Besonders hoch waren die Verluste der Ackerwildkräuter vor 1980. Während die typischen Ackerwildkrautarten weiter zurückgehen, etablieren sich allerdings auch neue Arten, die aus anderen Lebensräumen stammen oder als Neophyten neu einwandern. Trotzdem ist im Vergleich zu 1950/60 eine Minderung der Artenvielfalt auf Einzelflächen um 20 % zu verzeichnen. Insbesondere um den Rückgang ursprünglicher Ackerwildkrautarten zu verhindern, sind auf der Grundlage von betriebsspezifischen Biodiversitätsplänen in Verantwortung der flächenbewirtschaftenden Landwirte gezielte Maßnahmen zu ergreifen. Der Trend hin zu vereinfachten Produktionsverfahren wird sich umkehren, einhergehend mit einem restriktiveren Einsatz von Herbiziden und Insektiziden.

Stichworte: Ackerwildkräuter, betriebsspezifische Biodiversitätspläne, Biodiversität, Entwicklung von Agrarräumen

Abstract

The World community has pledged themselves to the preservation and protection of biodiversity through international agreements. This applies especially for agricultural landscapes and arable land whose biodiversity is closely related to the technological and social development of men and therefore subject to continuous change. During the last century in central-European agriculture, a considerable decrease of biodiversity due to agricultural intensification could be observed. The loss of second arable weed species was especially high before the 1980s. However, while the presence of characteristic species further declined, new species, which originate from different habitats or immigrated as neophytes, established themselves. Nevertheless, a decline of biodiversity on single plots of about 20% in comparison to the 1950/60s can be documented. To prevent the further decline of native second weed species specific actions based on farm specific biodiversity plans should be taken. These plans must be under the responsibility of each farmer who cultivates the area. The trend of simplified production methods must be inverted, along with the restriction of the use of herbicides and insecticides.

Keywords: Agricultural development, biodiversity, farm-specific biodiversity plans, second weed species

Einleitung

1992 wurde in Rio de Janeiro das Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity, CBD) von der Weltgemeinschaft beschlossen. Die mittlerweile 189 Unterzeichnerstaaten haben sich verpflichtet, nationale Strategien zur Umsetzung zu entwickeln. Im Jahre 2007 hat die Bundesregierung eine „Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt“ beschlossen (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT, 2015). Sie unterstreicht, dass Wirtschaft und Gesellschaft auf die Nutzung von Natur und Landschaft angewiesen sind, und formuliert für Kulturlandschaften folgendes Ziel: „Durch nachhaltige Nutzung unter Berücksichtigung der Anforderungen des Naturschutzes und der Landschaftspflege wird die biologische Vielfalt der Kulturlandschaften bis 2020 gesteigert und ihre

Vielfalt, Schönheit und regionaltypische Eigenart bewahrt“ (NATIONALE STRATEGIE ZUR BIOLOGISCHEN VIELFALT. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007, Kapitel B 1.3.2, Abschnitt 2). Die optimale Verknüpfung von Nutzung und Schutz von Natur und Landschaft wird als eine Schlüsselfrage der nachhaltigen Entwicklung angesehen.

Der Begriff Biodiversität wurde erst 1986 von W.G. Rosen (USA) als Kurzform von "biological diversity" (biologische Vielfalt) eingeführt (WILSON, 1988). Biodiversität umfasst die Vielfalt der Ökosysteme, die Mannigfaltigkeit der Arten (Artenvielfalt) sowie die genetische Variabilität innerhalb der Arten. Nach der Biodiversitätskonvention, Art. 2 wird sie definiert als „die Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft, darunter unter anderem Land-, Meeres- und sonstige aquatische Ökosysteme, und die ökologischen Komplexe, zu denen sie gehören; dies umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten und die Vielfalt der Ökosysteme“ (UNITED NATIONS, 1992 Convention on Biological Diversity, CBD, Artikel 2, Abschnitt 2). Die Nachhaltigkeit der Landwirtschaft wird auch und gerade an der Entwicklung der Biodiversität gemessen.

Kulturlandschaften als dynamischer Lebensraum

Die heutige europäische Kulturlandschaft ist das Resultat menschlicher Nutzungen, die seit der Jungsteinzeit zu kontinuierlichen Veränderungen bis hin zur heutigen Landschaft geführt haben. Es hat sich eine Co-Evolution von menschlicher Gesellschaft, den genutzten Ökosystemen und den darin vorkommenden Arten vollzogen. Entscheidend für das Landschaftsbild waren bzw. sind die technologischen Möglichkeiten, die den Menschen im Laufe der Geschichte zur Verfügung standen. Je schneller der technische Fortschritt, desto schneller verändern sich Kulturlandschaften.

Jede Form der Landnutzung führt zu einem nutzungstypischen Arteninventar. Entsprechend bewirken Veränderungen der Landnutzung Anpassungen des Tier- und Pflanzenarteninventars. Durch das Wirken der Menschen hat sich seit dem Beginn des Ackerbaus vor rund 6.000 Jahren sowohl die Lebensraumvielfalt als auch die Zahl der vorkommenden Tier- und Pflanzenarten in Mitteleuropa erhöht. WISSKIRCHEN und HAEUPLER (1998) gehen von 2372 indigenen Gefäßpflanzenarten in Deutschland aus. Diese Zahl erhöhte sich bis zum Jahr 1500 um 256 weitere Arten, den Archäophyten, und um weitere 427 heute etablierte Neophyten. Der überwiegende Teil siedelt in Ökosystemen der Kulturlandschaften.

Wenn sich Landschaften verändern, ist es naheliegend, dass sie nicht mehr den Lebensraumansprüchen aller Arten genügen und einzelne verschwinden. Hierzu liegen Daten seit 1850 vor. Bekannt ist das Aussterben von insgesamt 47 Gefäßpflanzenarten in Deutschland (LUDWIG und SCHNITTLER, 1996). Diese Prozesse vollziehen sich in der Regel über längere Zeiträume und mit mehr oder weniger großen zeitlichen Verzögerungen. Dies wiederum erschwert Aussagen über kausale Ursachen von Biodiversitätsveränderungen.

Determinanten der Biodiversität von Kulturlandschaften

In den letzten Jahrzehnten ist ein deutlicher Rückgang der Artenvielfalt in den Agrarlandschaften Mitteleuropas festzustellen. Hauptursachen dafür sind die Verluste von Strukturelementen (Feldgehölze, Hecken, Feldraine, Kleingewässer u. a.), die Vereinheitlichung der Standorteigenschaften von Acker- und Grünlandflächen (z. B. pH-Wert, Wasserregime), die geringere Anzahl der kleinräumig nebeneinander angebauten Feldfrüchte und die zunehmend räumlich und zeitlich einheitlicher erfolgenden pflanzenbaulichen Maßnahmen.

Von Bedeutung ist auch das einheitlich hohe Nährstoffniveau der Ackerböden, die den an Nährstoffarmut angepassten Pflanzen- und Tierarten nur sehr begrenzt einen Lebensraum bieten. Als Folge davon finden sich heute von den etwa 400 auf Äckern vorkommenden Pflanzenarten 110 in einer der Kategorien der Roten Liste wieder. Ein weiterer wichtiger Grund für die steigende Zahl von Rote-Liste-Arten ist das Aufgeben früher weit verbreiteter, extensiver Landnutzungsformen. Für die Artenvielfalt wichtige Offenlandlebensräume wie Heiden, Streuwiesen oder Trockenrasen sind entweder in eine intensive landwirtschaftliche Nutzung

überführt worden oder wurden aufgegeben und haben sich bewaldet. Noch bestehende Reste werden heute durch gezielte Pflegemaßnahmen erhalten.

Zur Entwicklung der Ackerwildkräuter

Im Bereich der Ackerwildkräuter gibt es verschiedene Publikationen mit unterschiedlichen Ergebnissen. In einem Bericht der Michael Otto Stiftung wird dargelegt (MEYER, 2013), dass im Vergleich zu 1950/60 die Bestände der Ackerwildkräuter 2013 im Schnitt um 71 % zurückgegangen sind, mit einem Artenrückgang um 23 %. Dabei wurde eine einmalige Stichprobe im Feldinneren an 392 Standorten mit den Daten von 1960 verglichen. In Dänemark verglichen ANDREASEN und STRYHN (2008) Daten von 1967-70, 1987-89 und 2001-04. Hier wurde eine Populationsabnahme von Ackerwildkräutern von zunächst 58 % zwischen 1967/70 und 1987/89 festgestellt. Bis 2001-04 war dann eine Erholung zu verzeichnen, so dass der Populationsrückgang im Vergleich 1967/70 zu 2001/04 37 % betrug. Die Erholung seit den 80/90er Jahren führen sie unter anderem auf den größeren Anbauumfang von Winterweizen zu Lasten von Sommerfrüchten zurück. In dieser dänischen Studie wurden Daten aus dem Feldinneren und den Feldrändern ausgewertet.

In einer weiteren Studie aus der Tschechischen Republik (PYSEK et al., 2005) wurde zudem darauf hingewiesen, dass die Hauptfruchtart und der Zeitpunkt der Artenanalyse der auf einem Feld vorkommenden Arten von großer Bedeutung ist und die gesamte Vegetationsperiode zu betrachten ist. Hier wurde auch festgestellt, dass indigene Arten, die eher kalt-feuchtes Klima bevorzugen, zurückgehen, während Archäophyten und Neophyten, die eher auf warm-trockenes Klima ansprechen, gleichbleibende und sogar steigende Tendenzen aufweisen.

Die mit 53 Datensätzen und jeweils im Durchschnitt 252 Untersuchungsflächen umfangreichste Studie zum Wandel der Feldflora in Europa wurde von RICHNER et al. (2014) vorgelegt. Im Durchschnitt aller Untersuchungsflächen nahm die Anzahl der Pflanzenarten um 20 % ab. Insbesondere die charakteristischen Arten der Ackerunkrautgesellschaften nahmen ab, während nährstoffliebende Arten, Neophyten und monokotyle Arten seit 1980 zunahmen. Generell zeigten die nach 1980 begonnenen Studien eine Tendenz zu steigenden Artenzahlen.

Ansätze zur Förderung der Biodiversität

Der Rückgang der biologischen Vielfalt in der Agrarlandschaft wird von der Gesellschaft den heutigen modernen Produktionsverfahren angelastet. Der Verantwortung bei der Suche nach Lösungen kann die Landwirtschaft sich nicht entziehen. Sie ist gefordert, Lösungen anzubieten. Die Lösung kann nicht darin liegen, zu den alten Verfahrensweisen der Landbewirtschaftung zurückzukehren. Vielmehr kommt es darauf an, eingebunden in moderne Produktionsverfahren mit hohen Erträgen ein zu definierendes Maß an biologischer Vielfalt in der Agrarlandschaft zu erhalten.

Grundliegender Ansatz ist, auf der Ebene des landwirtschaftlichen Betriebes ein Naturschutzkonzept mit konkreten Zielen und Maßnahmen zu erarbeiten. Es wird angestrebt, die auf den Betriebsflächen vorhandenen Naturschutzpotenziale möglichst optimal auszuschöpfen, aber gleichzeitig die Flächen auch ökonomisch effizient zu nutzen.

Dafür stehen verschiedene Maßnahmen zur Verfügung, die zielgerichtet auf bestimmte Arten sind, die sich nach wie vor im Rückgang befinden. Dazu gehören angepasste Fruchtfolgen, das Anlegen von Buntbrachen und Blühsteifen, Lichtäcker, Untersaaten, Teilernten, zeitlicher Verzicht auf Bodenbearbeitung wie pflügen, walzen, schleppen oder striegeln, Drilllücken, Restverunkrautung nach Schadensschwellen, die späte Stoppelbearbeitung und andere mehr. Welche Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen ergriffen werden, ist von den schlag- und regionsspezifischen Biodiversitätszielen abhängig zu machen. Sie sind in die betrieblichen Gegebenheiten einzupassen. Durch diese strukturellen, produktionstechnischen und pflanzenbaulichen Maßnahmen kann die Landwirtschaft integrierter arbeiten und auch auf die restriktiveren Einsatzmöglichkeiten von Pflanzenschutzmitteln reagieren.

Eine Reihe dieser Maßnahmen ist den mit dem Eigentum verbundenen Verpflichtungen, die Natur und Umwelt zu schützen, zuzuordnen. Verpflichtend sind auch alle Maßnahmen, die an die Zahlung von Mitteln der gemeinsamen europäischen Agrarpolitik geknüpft sind (Cross-Compliance). Darüber hinaus gehende Maßnahmen führen landwirtschaftliche Betriebe auf freiwilliger Basis durch.

Die Entscheidungshoheit darüber, welche freiwilligen Naturschutzmaßnahmen ergriffen werden, sowie deren Umsetzung sollten beim jeweiligen Bewirtschafter der Flächen liegen. Aufwendungen und mögliche Ertragsseinbußen sind auf Basis vertraglicher Regelungen auszugleichen. Im Idealfall ist vorstellbar, dass jeder landwirtschaftliche Betrieb über ein Naturschutzkonzept mit möglichst konkreten Zielstellungen verfügt, welches er als Dienstleistung der Gesellschaft gegen einen ökonomischen Ausgleich anbietet. Die entsprechenden Instrumente zur Finanzierung gibt es bereits heute in Form von Agrarumweltmaßnahmen und Vertragsnaturschutz. Ihre derzeitige Ausgestaltung und Umsetzung führte aber bisher nicht zu den erwünschten Erfolgen.

Darüber hinaus wird die Entwicklung des Pflanzenschutzes Einfluss auf die Biodiversität nehmen. Zum einen wird es vermehrt zum Verlust von Wirkstoffen aufgrund von Resistenzbildungen seitens der Zielorganismen kommen, zum anderen gehen und gehen durch die Neuordnung der Pflanzenschutzmittelzulassung durch die EU 2009 viele alte Wirkstoffe aus der Zulassung (EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT, 2009). Dadurch wird der integrierte Pflanzenschutz wieder an Bedeutung gewinnen. Resistente Sorten, die Rückbesinnung auf ackerbauliche Maßnahmen zur Herabsetzung der Schadenswahrscheinlichkeit, Schadensschwellen und die in Zukunft sich stark erweiternden Möglichkeiten mechanischer Bekämpfungsverfahren durch autonome Arbeitsmaschinen werden chemische Maßnahmen ersetzen. Hieraus ergeben sich durchaus Ansätze für biodiversere Ackerflächen.

Die meisten der oben genannten Maßnahmen beziehen sich auf den Ackerbau und müssen fruchtspezifisch umgesetzt werden. In der Grünlandnutzung ist je nach Zielsetzung stärker zu differenzieren in Dauergrünland zur Bereitstellung hochwertiger Futtermittel und in extensiv genutztes Grünland mit vorrangiger Naturschutzzielsetzung. Beide Ziele sind erfahrungsgemäß auf einer Fläche nicht erreichbar, wohl aber in räumlicher und betrieblicher Verzahnung.

Nach dem jahrzehntelangen Bestreben der Landwirtschaft nach Vereinfachung der Produktionsprozesse im Pflanzenbau ist nun eine Rückbesinnung auf komplexere Verfahren erkennbar, um hohe Erträge zu erzielen und gleichzeitig hohen Nachhaltigkeitsstandards gerecht zu werden. Anspruchsvolle Biodiversitätsziele sind dabei ein wichtiger Teilaspekt mit hoher Priorität der Gesellschaft.

Literatur

- ANDREASEN, C. und H. STRYHN, 2008: Increasing weed flora in Danish arable fields and its importance for biodiversity. *Weed Research* **48**, 1-9.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT, 2015: Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007. 4. Auflage
https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/nationale_strategie_biologische_vielfalt_2015_bf.pdf.
- EUROPÄISCHES PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION, 2009: Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Aufhebung der Richtlinien 79/117/EWG und 91/414/EWG des Rates.
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R1107&from=de>.
- LUDWIG, G. und M. SCHNITTLER, 1996: Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands. Bundesamt für Naturschutz. Schriftenreihe für Vegetationskunde **28**. <https://www.bfn.de/fileadmin/MDb/documents/RoteListePflanzen.pdf>.
- MEYER, S., 2013: Impoverishment of the arable flora of Central Germany during the past 50 years: a multiple-scale analysis. *Biodiversity and Ecology Series*, Göttingen Centre for Biodiversity and Ecology Vol. 9, Serie B
<http://dx.doi.org/10.3249/webdoc-3898>.
- PYSEK, P., V. JAROSKY, M. CHYTRY, Z. KROPAC, L. TICHY und J. WILD, 2005: Alien Plants in temperate Weed Communities: Prehistoric and recent Invaders occupy different Habitats. *Ecology* **86**(3), 772-785.

28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig

RICHNER, N., R. HOLDEREGGER, H.-P. LINDER und T. WALTER, 2014: Reviewing change in the arable flora of Europe: a meta-analysis. *Weed Research* **55**, 1-13.

UNITED NATIONS, 1992: Convention on Biological Diversity, CBD Artikel 2, Abs. 2.
http://www.dgvr.de/fileadmin/user_upload/DOKUMENTE/UN-Dokumente_zB_Resolutionen/UEbereinkommen_ueber_biologische_Vielfalt.pdf.

WILSON, E. O., 1988: Biodiversity. National Academies Press. ISBN 978-0-309-03739-6.

WISSKIRCHEN, R. und H. HAEUPLER, 1998: Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Mit Chromosomenatlas. Hrsg.: Bundesamt für Naturschutz (= Die Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Band 1). Eugen Ulmer, Stuttgart (Hohenheim) 1998, ISBN 3-8001-3360-1.

Mit Spot Farming zur nachhaltigen Intensivierung in der Pflanzenproduktion

Spot Farming for sustainable intensification of plant production

Jens Karl Wegener*, Dieter von Hörsten, Lisa-Marie Urso

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für
Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig
*Korrespondierender Autor, jens-karl.wegener@julius-kuehn.de



DOI 10.5073/jka.2018.458.002

Zusammenfassung

Die Landwirtschaft steht vor umwälzenden Veränderungen, die sich aus verschiedenen Herausforderungen ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Art ergeben. Mit einer Fortschreibung des aktuellen technischen Entwicklungspfades werden diese zukünftig nicht zu meistern sein. Daraus resultiert die Notwendigkeit, das System Pflanzenbau sowie die zur verfahrenstechnischen Ausgestaltung notwendigen Prozesse grundlegend auf den Prüfstand zu stellen, um zu der geforderten nachhaltigen Intensivierung landwirtschaftlicher Produktion zu kommen. Vor diesem Hintergrund wird das Anforderungsprofil für eine zukünftige Pflanzenproduktion definiert, sich daraus ergebende Herausforderungen formuliert und einzelne Aspekte eines alternativen Produktionssystems betrachtet, wie mit Hilfe moderner Technik neue Wege in der Pflanzenproduktion ermöglicht werden könnten. Dabei liegt der Fokus darauf, zunächst einmal die Grundansprüche der Kulturpflanze sowie weitere übergeordnete Anforderungen und Restriktionen insbesondere im Hinblick auf Strukturen zu befriedigen, um dann darauf aufbauend die erforderliche Verfahrenstechnik für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung abzuleiten. Dies steht im Gegensatz zur bisherigen Praxis, bei der u.a. auch die technische Entwicklung zur uniformen Bewirtschaftung immer größer werdender Schläge geführt hat.

Stichwörter: Autonome Maschinen, Dreiecksverband, nachhaltige Intensivierung, optimaler Standraum, Pflanzenbausystem, teilflächenspezifische Bewirtschaftung

Abstract

The agricultural sector is faced with sweeping changes arising from various challenges of economic, ecological and social nature. With a persistent prolongation of the recent technical development path, these challenges cannot be mastered in future. Therefore, it is necessary to put the plant cultivation system as well as the for operational design necessary processes under close scrutiny to achieve the demanded sustainable intensification of agricultural production. Against this backdrop, this requirement profile for a plant production in the future is defined, the resultant challenges formulated and individual aspects of an alternative production system are considered how, with the help of modern techniques, new alternatives in plant production can be explored. The focus therefore is first of all to satisfy the basic necessities of cultivated plants together with superordinate requirements and restriction particularly with regard to structures. This will provide the basis for the required process technologies for a site-specific farm management. This is in contrast with previous practice, by which i.a. the technique development in uniform farm-management leads to the increasing size of fields.

Keywords: Autonomous machinery, cropping system, optimal stand space, site specific management, sustainable intensification, triangulated sowing

Einleitung

Die Landwirtschaft steht durch global wachsende Bevölkerung, Strukturwandel, Verlust von Produktionsfläche, Ressourcenverknappung, Kostendruck und Klimawandel vor enormen Herausforderungen. Zudem hagelt es von allen Seiten mit öffentlicher Kritik: Nitrat im Grundwasser, Pflanzenschutzmittelrückstände in Lebensmitteln, gentechnisch veränderte Produkte, umstrittenes Tierwohl, industrielle Agrarstrukturen und schwindende Biodiversität, um nur einige Punkte zu nennen. Vor diesem Hintergrund kann ein "weiter so" kein überzeugender Schritt in Richtung Zukunft der Pflanzenproduktion sein.

Als ein möglicher Ausweg aus dem Dilemma wird das Prinzip der nachhaltigen Intensivierung beschrieben. Dabei geht es darum, mit weniger Ressourceneinsatz mehr Ertrag zu erzielen und

gleichzeitig Systemdienstleistungen der Landwirtschaft, wie Biodiversität, Vernetzung von Biotopen oder Naherholung zu stärken. Dieses Ziel, ursprünglich formuliert durch die BRITISH ROYAL SOCIETY (2009), ist in der Literatur vielfach aufgegriffen und weiterentwickelt worden (z.B. FOLEY et al., 2011; GARNETT und GODFRAY, 2012). Schließlich fand es seinen Weg auch bis in die Beratungsgremien der nationalen Agrarpolitik (BMELV, 2012) oder der Forschungslandschaft (WOLTERS et al., 2014). Offen blieb aber bis zuletzt, wie dieses Ziel der nachhaltigen Intensivierung im System der Pflanzenproduktion konkret und ganzheitlich umgesetzt werden kann. Ziel dieses Beitrags ist es, ein pflanzenbauliches Konzept, "Spot Farming" genannt, vorzustellen. Mit diesem Konzept können die beschriebenen Herausforderungen gemeistert und gleichzeitig die aufgeführte öffentliche Kritik berücksichtigt werden.

Grundlagen zur Entwicklung des Pflanzenbausystems "Spot Farming"

In der heutigen Pflanzenproduktion bestimmt in vielen Fällen die Technik die Art und Weise, wie Kulturpflanzen aber auch welche Kulturpflanzen angebaut werden. So sind beispielsweise Reihenabstände in Reihenkulturen nicht aus pflanzenbaulicher Perspektive definiert sondern hängen an technischen Vorgaben aus der Erntetechnik (z.B. Rübe, Mais). Futterpflanzen, wie z.B. Futterrübe oder Luzerne wurden u.a. zugunsten des Mais verdrängt, weil dieser verfahrenstechnisch viel einfacher und kostengünstiger zu mechanisieren ist. Bei der Entwicklung des Spot Farming lag die erste Handlung darin, zunächst alle technischen Vorgaben und Restriktionen auszublenden und ausschließlich aus Sicht der Nutzpflanze zu denken: Um Erträge bei gleichzeitiger Einsparung von Ressourcen zu erhöhen, sollten die Grundansprüche der Kulturpflanze bestmöglich erfüllt werden, der Kulturpflanzenbestand optimal zum Standort passen und funktionale Elemente (wie z.B. Gräben, Hecken, Blühareale) die Kulturpflanze idealerweise vor verschiedenen Umwelteinflüssen schützen. Dieser Ansatz bedingt neben dem Perspektivenwechsel eine Betrachtung auf drei Ebenen: der Einzelpflanze, dem Nutzpflanzenbestand auf dem Feld und der Kulturlandschaft als Ganzes (WEGENER et al., 2017).

Auf **Einzelpflanzenebene** bestimmen eine Reihe von Wachstumsfaktoren und Standortcharakteristika das optimale Wachstum der Nutzpflanze (MITSCHERLICH, 1922). Sie braucht

- viel Licht und Platz (ober- und unterirdisch) sowie wenig Konkurrenzdruck,
- ausreichende Bodenqualität, -textur und -fauna sowie
- adäquate Wasser- und Nährstoffversorgung.

Um Produktqualität und Ertrag zu sichern, sind zudem gesunde Fruchtfolgen und bei Bedarf Pflanzenschutzmaßnahmen erforderlich.

Auf **Feldebene** sind Anforderungen und Restriktionen im Sinne einer effizienten und umweltgerechten Pflanzenproduktion (CHRISTEN und O'HALLORAN-WIETHOLTZ, 2002) als auch im Sinne sozialer Aspekte zu berücksichtigen. Diese umfassen z. B.

- die generelle Reduktion der Nutzung von Agrarchemikalien auf das notwendige Minimum,
- die Vermeidung der Verbreitung von Agrarchemikalien über Feldgrenzen hinweg,
- Verzicht auf Mehrfachüberfahrten insbesondere mit hohen Radlasten zum Schutz des Bodens sowie
- stärkere Einbeziehung mikroklimatischer Bedingungen (z. B. Wind, Regen, Luftfeuchtigkeit, Frost, Tau, Bodenfeuchte, solare Einstrahlung) und anderer zeitabhängiger Naturereignisse (z. B. Bienenflug) bei der Durchführung pflanzenbaulicher Maßnahmen.

Auf **Landschaftsebene** sind, weiterhin mit Bezug zu einem effizienten, umweltgerechten und sozialverträglichen Anbau von Kulturpflanzen, weitere Restriktionen und Anforderungen zu berücksichtigen. Dies sind z. B.

- strukturelle Berücksichtigung natürlicher geografischer und klimatischer Bedingungen (z. B. wechselnde Bodenqualitäten, intelligente Nutzung unterschiedlicher Ertragspotenziale, Höhenlinien, geografische Orientierung, Solarstrahlungsangebot und Mikroklima),

- Etablierung von Strukturen, die auch vor dem Hintergrund des ablaufenden Klimawandels (z. B. Starkregenereignisse, längere Trockenperioden) vor Wind-, Wassererosion und Stoffverlagerungen schützen,
 - Schaffung von Pufferzonen und Refugien zur Vernetzung von Biotopen, Stärkung der Biodiversität und anderen Ökosystemdienstleistungen in der Agrarlandschaft sowie
 - Diversifizierung durch kleinere Strukturen als Grundlage für Naherholung und Freizeitgestaltung.
- Alle die genannten Anforderungen und Restriktionen können nur dann erfüllt werden, wenn Ressourcen wesentlich effizienter als heute üblich genutzt werden und die Pflanzenproduktion im übergeordneten Landschaftskontext betrieben wird. Generell kann das erreicht werden, wenn folgende Richtlinien das Handeln bestimmen:
- Verbesserung der Allokation von Kulturpflanzen zu Standorteigenschaften,
 - effizientere zeitliche und örtliche Ausnutzung vorhandener natürlichen Ressourcen,
 - effizientere Nutzung von Agrarchemikalien und
 - Stärkung funktionaler Strukturen.

Spot Farming als neuer Ansatz für den Pflanzenbau

Basierend auf der Annahme, dass viele landwirtschaftliche Produktionsstandorte in ihren Eigenschaften nicht homogen sind sowie unter Berücksichtigung der Eingangs geschilderten Restriktionen auf unterschiedlichen Ebenen, wurde die Idee des "Spot Farming" entwickelt. Der Schlüssel dieses Ansatzes liegt darin, die heterogene Produktionsfläche in Spots mit weitgehend ähnlichen Eigenschaften aufzuteilen. Diese eigenständigen Spots können dann entweder mit derselben Kulturpflanze, unter individueller Anpassung der Kulturführung oder gar mit unterschiedlichen Kulturpflanzen und eigenständigen Fruchtfolgen bewirtschaftet werden. Mit diesem Ansatz der teilflächenspezifischen Pflanzenproduktion werden die Kulturpflanzen optimal auf die natürliche Ressourcenausstattung verteilt. Für die Ableitung solcher eigenständiger Spots können bestehende Daten wie z. B. Boden- und Ertragskarten zusammen mit weiteren Informationen verschnitten werden (Abb. 1).

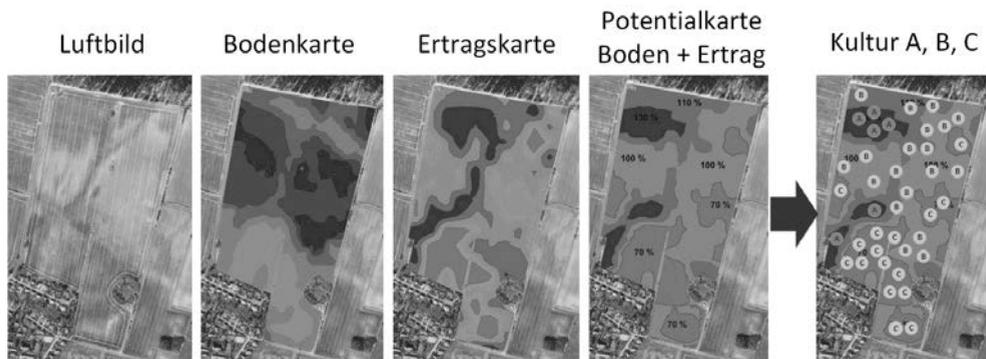


Abb. 1 Einfaches Beispiel zur Ableitung von unterschiedlichen Spots durch Informationsüberlagerung (WEGENER et al., 2017).

Fig. 1 Simple example on derivation of different spots by overlay of information (WEGENER et al., 2017).

Aus der Schnittmenge dieser Daten können dann Teilflächen mit unterschiedlichen Eigenschaften in einem Ackerschlag identifiziert werden. Dies ermöglicht eine teilflächenspezifische Anpassung der Kulturführung (z. B. Aussaattermine, Aussaatstärken, Düngermanagement). Denkbare wäre allerdings auch, wie erwähnt, der Anbau unterschiedlicher Fruchtfolgen: Auf Spots mit hoher Produktivität bzw. guter Bodenstruktur kann dann z. B. eine Zuckerrübe-Winterweizen-Mais-Winterweizen Fruchtfolge, auf Spots mit geringerer Produktivität eine andere standortspezifische

Fruchtfolge (z. B. Raps-Roggen-Mais-Roggen) realisiert werden. Spots mit sehr geringer Produktivität könnten bewusst als Refugien oder Pufferzonen z. B. mit Blühpflanzen oder auch, wo geografisch sinnvoll, zum Schutz vor Erosion, gezielt mit Landschaftselementen bestellt werden.

Um der Kulturpflanze optimale Bedingungen zu ermöglichen, ist eine Aussaat im Dreiecksverband sinnvoll, da diese der Einzelpflanze größtmöglichen ober- und unterirdischen Standraum bietet. Dies würde gleichzeitig mit einer Verringerung der Aussaatstärken einhergehen, was Ressourceneinsparung (weniger Saatgut) sowie Einsparung von Agrarchemikalien (weniger Beizmittel) umfasst. Dazu werden Säugeräte benötigt, die in der Lage sind, Saatgut hochpräzise in Bezug auf Saadmuster und Ablagetiefe zu platzieren. Erfolgt die Saat zudem georeferenziert, ergeben sich weitere verfahrenstechnische Vorteile für die spätere Kulturführung. Dies betrifft z.B. die mechanische Unkrautbekämpfung, deren Werkzeuge bei Kenntnis der Standorte von Kulturpflanzen gezielter gesteuert werden können, um selbst im pflanzennahen Bereich Unkraut zu bekämpfen. Auch die präzise Applikation von Düngemitteln in Wurzelnähe könnte mit der Kenntnis der Pflanzenstandorte realisiert werden. Beide Strategien würden eine Einsparung von Agrarchemikalien (Herbizide und Düngemittel) implizieren.

Spot Farming bietet auch im Hinblick auf die Züchtungsforschung neue Chancen. In den derzeitigen Pflanzenbausystemen, mit ihren bestandsdichten Monokulturen, muss die Züchtung wesentlich mehr genetische Ressourcen in die Toleranz- und Resistenzeigenschaften zur Gesunderhaltung der Pflanzenbestände investieren, die sich i.d.R. negativ auf den Ertrag auswirken (HUTH, 2002). Sinkt durch das Design des Pflanzenbausystems der phytosanitäre Druck auf die Kulturpflanze und können durch das Pflanzenbausystem natürliche Abwehrmechanismen der Kulturpflanze gestärkt werden, dann können genetische Ressourcen in der Züchtung zugunsten des Ertrags verlagert werden. Spannend können in diesem Zusammenhang ebenfalls Sortenkombinationen sein. So kann z.B. durch eine Kombination von Sorten mit unterschiedlichen Wuchshöhen und Blattstellungen die natürliche Ressource Licht in Bezug auf die Fläche effizienter genutzt werden.

Weitere Einsparungen an Ressourcen lassen sich durch eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung nach individuellem Pflanzenbedarf realisieren - im Extremfall wie heute im Gartenbau üblich auf Einzelpflanzenbasis. Dies betrifft die Düngung, den Pflanzenschutz sowie wo notwendig, die Bewässerung. Dazu ist zum einen permanentes Bestandsmonitoring durch Sensorfelder notwendig, um die notwendigen pflanzenbaulichen Parameter zu erheben. Zum anderen müssen die daraus resultierenden Aufgaben permanent und kleinräumig erledigt werden. Zusammen mit den kleinteiligen und unregelmäßigen Design der Spots werden solche Systeme mit heute üblicher Verfahrenstechnik nicht zu bewirtschaften sein, da diese auf Schlagkraft und Flächeneffizienz optimiert sind, um in den für schwere Maschinen geringen Bearbeitungsfenstern möglichst hohe Produktivität zu erreichen. Aus diesem Grund bedarf es für das Spot Farming völlig neuer technischer Ansätze. Mit kleinen autonomen Maschinen, die sich selbstständig im Schwarm organisieren wäre eine Umsetzung solcher neuer Pflanzenbausysteme prinzipiell möglich. Die mangelnde Schlagkraft kleiner Maschinen kann durch Anzahl, nahezu permanente Einsatzbereitschaft, wesentlich größerer Bearbeitungsfenster für leichtere Maschinen, kompensiert werden. Verfahren wie z. B. die Ernte, welche heute große Maschinen implizieren, können durch Zerlegen der einzelnen Arbeitsschritte prinzipiell auch mit kleinen Maschinen durchgeführt werden. Darüber hinaus können solche Systeme auch alternative Pflanzenschutzverfahren (z. B. Hacken, Stempeln, Abflammen, Heißschaumbehandlung etc.) durchführen und damit den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß reduzieren (SELLMANN et al., 2014; GUDE, 2012; BOSCH, 2015). Allerdings sind in diesem Zusammenhang noch viele Forschungsfragen zu klären (Energieversorgung, Logistik, Sicherheit, Recht, notwendige Sensortechnik, neue Managementsysteme, Netzinfrastruktur auf dem Land etc.), bis neue Pflanzenbausysteme und dazu passende Verfahren marktfähig werden. Dennoch bieten die aktuellen technischen Entwicklungspfade die Möglichkeit, einen landschafts- und ertragsorientierten Pflanzenbau in den Mittelpunkt zu stellen, der den eingangs skizzierten

unterschiedlichen Anforderungen gegenüber einer nachhaltigen Intensivierung gerecht werden könnte.

Schlussfolgerung

Die hier dargestellten Aspekte eines neuen Produktionssystems können eine Richtung am Anfang der Konzepterstellung zur zukünftigen nachhaltigen Intensivierung der Pflanzenproduktion aufzeigen. Grundsätzlich ist der Ansatz, zunächst die Kulturpflanze und die dem Anbau gegenüberstehenden Restriktionen in den Mittelpunkt zu setzen, um erst dann über technische Lösungsmöglichkeiten nachzudenken, ein vielversprechendes Vorgehen. Erste technische Ansätze, die dafür notwendig sind, befinden sich zum Teil in der Entwicklungsphase, wobei es bis zur tatsächlichen Marktreife noch einige Jahre dauern wird. Ein bloßes Fortschreiben des jetzigen Entwicklungspfades in der Pflanzenproduktion, das ggf. mit autonomer Technik und digitaler Vernetzung noch ein wenig weiter vorangetrieben werden kann, erscheint dagegen zukünftig an seine Grenzen zu kommen.

Danksagung

Dieses Forschungsprojekt wird durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms „Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft“ gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau
und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft

Literatur

- BMELV, 2012: Ernährungssicherung und nachhaltige Produktivitätssteigerung. Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Januar 2012, 32 Seiten.
- BOSCH, 2015: Intelligenz auf dem Acker: Agrarroboter von Bosch beseitigt Unkraut automatisch und ohne Gift. https://www.deepfield-robotics.com/de/News-Detail_151008.html, Zugriff am 18.01.17.
- CHRISTEN, O. und Z. O'HALLORAN-WIETHOLTZ, 2002: Indikatoren für eine nachhaltige Landwirtschaft. ILU Bonn. URN: https://www.researchgate.net/profile/Olaf_Christen/publication/259574761_Indikatoren_fur_eine_nachhaltige_Entwicklung_der_Landwirtschaft/links/0046352cac275b40b4000000.pdf
- FOLEY, J.A., N. RAMANKUTTY, K.A. BRAUMANN, E.S. CASSIDY, J.S. GERBER, M. JOHNSTON, N.D. MÜLLER, C. CONNELL, D.K. RAY, P.C. WEST, C. BALZER, E.M. BENNETT, S.R. CARPENTER, J. HILL, C. MONFREDA, S. POLASKY, J. ROCKSTROM, J. SHEEHAN, S. SIEBERT, D. TILMAN und D.P.M. ZAKS, 2011: Solutions for a cultivated planet. *Nature* **478** (7369), 337-342.
- GARNETT, T. und H.C.J. GODFRAY, 2012: Sustainable intensification in agriculture, Navigating a course through competing food system priorities. Report on a workshop. Food Climate Research Network and the Oxford Martin Programme on the Future of Food, University of Oxford, UK, 51 pp.
- GUDE, J., 2012: Wirksamkeit der Unkrautbekämpfung mittels Laser in Abhängigkeit verschiedener biologischer und technisch-physikalischer Parameter. Dissertation an Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- HUTH, W., 2002: Die bodenbürtigen Viren von Weizen und Roggen in Europa - ein zunehmendes aber durch ackerbauliche Maßnahmen und Anbau resistenter Sorten lösbares Problem. *Gesunde Pflanzen* **54**, Heft 2, 51-57.
- MITSCHERLICH, E. H., 1922: Das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **1** (2), 49–84
- ROYAL SOCIETY, 2009: Reaping the benefits. Science and the sustainable intensification of global agriculture. RS Policy document 11/09 issued October 2009 RS1608. London, ISBN 978-0-85403-784-1, 86 p.
- SELLMANN, F., W. BANGERT, S. GRZONKA, M. HÄNSEL, S. HAU, A. KIELHORN, A. MICHAELS, K. MÖLLER, F. RAHE, W. STROTHMANN, D. TRAUTZ und A. RUCKELSHAUSEN, 2014: Remotefarming.1: Human-machine interaction for a field-robot-based weed control application in organic farming. 4th International Conference on Machine Control & Guidance, March 19-20.
- WEGENER, J.K., L.M. URSO, D. VON HÖRSTEN, T.F. MINBEN und C.C. GAUS, 2017: Neue Pflanzenbausysteme entwickeln - welche innovativen Techniken werden benötigt? *Landtechnik* **72**(2), 91-100.
- WOLTERS, V., J. ISSELSTEIN, H. STÜTZEL, F. ORDON, C. VON HAAREN, E. SCHLECHT, J. WESSELER, R. BIRNER, M. VON LÜTZOW, N. BRÜGGEMANN, B. DIEKKRÜGER, A. FANGMEIER, H. FLESSA, H. KAGE, M. KAUPENJOHANN, I. KÖGEL-KNABNER, R. MOSANDL und R. SEPPELT, 2014: Nachhaltige ressourceneffiziente Erhöhung der Flächenproduktivität: Zukunftsoptionen der Deutschen Agrarökosystemforschung. Grundsatzpapier der DFG Senatskommission für Agrarökosystemforschung. *Journal für Kulturpflanzen* **7**, 225-236.

Sektion 1: Biodiversität

Session 1: Biodiversity

Unkraut-Monitoring 2.0 - Erste Ergebnisse zur aktuellen Unkrautvegetation im Mais

Weed survey 2.0 - First results of the recent weed vegetation in maize

Heike Pannwitt^{1*}, Christoph Krato², Bärbel Gerowitt¹

¹Professur Phytomedizin, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, Deutschland

²Syngenta Agro GmbH, Maintal, Deutschland

*Korrespondierende Autorin, heike.pannwitt@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.003



Zusammenfassung

Die Anbaufläche von Mais ist seit 2004 bundesweit um 47 % gestiegen und wird hauptsächlich für die Silomaisproduktion verwendet. Die höchsten Ernteverluste werden durch konkurrierende Unkräuter verursacht. Die Stetigkeit und Verbreitung der Unkräuter ist abhängig von den Faktoren Umweltbedingungen, Management und Zeit. In einem deutschlandweiten Unkraut-Monitoring der Universität Rostock in Kooperation mit der Syngenta Agro GmbH wurden (i) die aktuelle Unkrautvegetation im Mais sowie (ii) betriebs- und flächenspezifische Merkmale erfasst. Im Jahr 2017 wurden bundesweit 311 Flächen bonitiert. Um die aktuelle Unkrautvegetation zu erfassen, wurde in Spritzfenstern die Arthäufigkeit und der Deckungsgrad der Unkräuter im 4-8-Blatt-Stadium des Mais bestimmt. Die Bonitur erfolgte innerhalb des 100 m² großen Spritzfensters auf einer Fläche von jeweils 0.1 m² in 10-facher Wiederholung. Die erfassten Unkräuter im Mais wurden entsprechend ihrer Stetigkeit und Pflanzendichte pro m² analysiert. Im Vergleich zu vorherigen Unkrautmonitorings zeigt die Liste der 15 stetigsten Unkräuter eine ähnliche Artenzusammensetzung, Zu- bzw. Abnahme in der Bedeutung der häufigsten Arten und neue Arten in der Liste. Die Verteilung und Dichte der Unkrautarten, wie *Solanum nigrum* und *Alopecurus myosuroides* beschränkt sich entsprechend, auf den Nordwesten bzw. auf die Mitte und den Süden Deutschlands. Die Ergebnisse aus dem Unkrautmonitoring 2017 zeigen erste Trends für die aktuelle Unkrautflora im Mais. Um Sicherheit über die Ergebnisse zu erhalten, wird das Monitoring im Jahr 2018 fortgeführt.

Stichwörter: Mais, Unkrautmonitoring, Unkrautzusammensetzung

Abstract

The arable land in Germany cultivated with maize increased by about 47% since 2004. The main purpose for maize cultivation is the production of silage maize. High yield losses are caused by competition between maize and weeds. The frequency and occurrence of weeds is determined by environmental, management factors and by the factor growing season (year). To determine current weed assemblage in maize and the farm and field record, a monitoring in maize in Germany was organized by the University of Rostock in cooperation with the Syngenta Agro GmbH. Therefore, in the year 2017, 311 maize fields were assessed nationwide. To determine the current weed assembly, in an unsprayed sampling area of 100 m², weed species, number of plants and their ground cover area were identified. When the crop was at its 4- to 8-leaf stage, the assessment was done in 10 times random sampling squares of 0.1 m². Data from all fields were analysed according to their frequency and density per m². In comparison to previous monitorings in maize, results of the 15 most frequent weeds show a similar weed assembly, in- and decrease of importance of some weeds, respectively, and some new species in the list. The occurrence and density of *Solanum nigrum* and *Alopecurus myosuroides* is mostly limited to the north-western region and the mid and southern regions of Germany, respectively. The results of the weed monitoring 2017 shows first trends of the current weed assembly in maize. To provide more reliable data about weeds in maize, the maize monitoring will be continued in 2018.

Keywords: Maize, weed assemblage, weed survey

Einleitung

Mais ist die zweitwichtigste Kulturpflanze in Deutschland, deren Anbaufläche seit 2004 um 47 % angestiegen ist. Der schnelle Anstieg der Anbaufläche liegt an der Erweiterung seines wirtschaftlichen Nutzens, neben Viehfutter in Form von Silo- und Körnermais nun auch zur Energiegewinnung in Biogasanlagen. Silomais ist das Hauptsubstrat in Biogasanlagen. Die Anlagenzahl ist seit 2004 um 78 % gestiegen (DEUTSCHES MAISKOMITEE, 2016). Der Bedarf an Silomais ist demzufolge gewachsen, wodurch sich die Anbaufläche von Silomais seit 2004 bundesweit um 75 % erweitert hat (DESTATIS, 2017).

Unkräuter sind der Hauptgrund für Ertragsverluste im Maisanbau (OERKE, 2006). Durch die langsame Jugendentwicklung, die gute Nährstoffversorgung der Böden und weite Reihenabstände konkurriert der Mais mit Wärme liebenden und schnell wachsenden Unkräutern um Licht, Nährstoffe und Wasser. Um Ertragsverluste zu vermeiden, wird ein Unkrautmanagement unter Berücksichtigung der zeitbezogenen und dichtebezogenen Schadensschwelle empfohlen. Bei der zeitbezogenen Schadensschwelle wird die Mais-Unkraut-Konkurrenz in der sogenannten kritischen Periode unterdrückt, indem die Unkräuter bekämpft werden (HALL et al., 1992). Die dichtebezogene Schadensschwelle bezieht sich vor allem auf spät keimende Unkräuter, die bei Überschreiten einer bestimmten Schadensschwelle, bekämpfungswürdig sind (SWANTON et al., 1999).

Die wichtigsten Maisunkräuter wurden in einem ersten deutschlandweiten Unkrautmonitoring, von 2000 bis 2004 durch die Universität Hohenheim in Kooperation mit der Syngenta Agro GmbH identifiziert. Dazu zählen unter anderem *Chenopodium album*, *Stellaria media*, *Fallopia convolvulus*, *Echinochloa crus-galli*, *Matricaria* spp. und *Viola arvensis*. Die Verbreitung der meisten Arten ist aufgrund der individuellen Unterschiede in Stetigkeit und Anzahl Pflanzen pro m² standortspezifisch (MEHRTENS et al., 2005; DE MOL et al., 2015). Bei den häufigsten Maisunkräutern gilt jedoch, dass sie in allen Maisanbauregionen vorkommen. Unter den Hirsearten war *E. crus-galli* am weitesten verbreitet. Die Bedeutung anderer Hirsearten, wie *Digitaria ischaemum* und *Setaria* spp., war dagegen eher lokal auf das Münsterland sowie die Magdeburger Börde und das Havelland begrenzt. Das im Zuge seiner Herbizidresistenzentwicklung bedeutende Ungras *Alopecurus myosuroides* war vor allem in Mittel- und Süddeutschland verbreitet (MEHRTENS et al., 2005).

Die Zusammensetzung der Unkrautarten wird im Maisanbau vor allem durch Umweltbedingungen und Management, wie etwa die Fruchtfolge, bestimmt. Der Einfluss der Anbaujahre wird aufgrund der Pufferkapazität der Bodensamenbank als gering bewertet (DE MOL et al., 2015). Hingegen zeigten Untersuchungen zum Einfluss des Klimawandels über die Zeit eine zunehmende Verbreitung von Wärme liebenden Arten im Maisanbau (BÜRGER et al., 2014).

13 Jahre nach Ende des letzten Monitorings soll in einem neu aufgelegten deutschlandweiten Maismonitoring die aktuelle Verteilung und Dynamik der Ackerunkräuter untersucht werden. Durch einen bundesweit gestiegenen Maisanteil in den Fruchtfolgen erwarten wir eine flächendeckende Verteilung typischer Maisunkräuter wie Hirsen und Schwarzer Nachtschatten.

Material und Methoden

Unkrautmonitoring

Das Unkrautmonitoring wurde 2017 auf bundesweit 311 Silo- und Körnermaisflächen durchgeführt. Die Auswahl der Flächen erfolgte regional durch Außendienstmitarbeiter der Syngenta Agro GmbH, Versuchsansteller, Universitäten, Fachhochschulen und den amtlichen Pflanzenschutzdienst. Für die Bonitur wurde auf jeder Fläche ein 100 m² großes Spritzfenster durch den jeweiligen Landwirt angelegt. Die Bonitur der Unkräuter erfolgte zwischen dem 4- und 8 – Blatt Stadium des Maises durch Versuchsansteller und geschulte Personen. In dem Spritzfenster wurde mit 10-facher Wiederholung jeweils auf einer Fläche von 0,1 m², (i) die Anzahl Pflanzen pro Unkrautart und (ii) der Gesamtdeckungsgrad aller Unkräuter bestimmt.

Betrieb und Boniturstandort

Auf allen bonitierten Flächen wurden mit Hilfe eines Fragebogens, Informationen zum Betrieb und Boniturstandort dokumentiert. Merkmale des Betriebes wie Einsatz von Herbiziden, Betriebstyp und Kulturarten sowie des Boniturstandorts wie Bodeneigenschaften, Düngung, Maissorte und Saatdatum, Untersaat, Bodenbearbeitung und Fruchtfolge wurden erfragt.

Datenauswertung

Für die Darstellung der Verteilung der Arten in Deutschland wurden pro Boniturstandort die Dichte der Pflanzen pro m² berechnet. Für die Stetigkeit der Unkräuter wurde die Dichte der jeweiligen Unkrautart über alle Boniturstandorte berechnet. Alle Berechnungen fanden mit dem Statistik-Programm R statt (R CORE TEAM, 2014). Für die Darstellung der Verteilung der Arten wurde das Programm „maptools“ (BIVAND et al., 2016) verwendet.

Ergebnisse und Diskussion

Stetigkeit der Arten

Die Zusammensetzung der Unkrautarten, die auf nahezu 50 % aller Boniturstandorte vorkommen, hat sich in den vergangenen 13 Jahren nicht verändert. Dazu zählen die fünf Arten *Chenopodium* spp., *Fallopia convolvulus*, *Echinochloa crus-galli*, *Stellaria media* und *Viola arvensis* (Abb. 1).

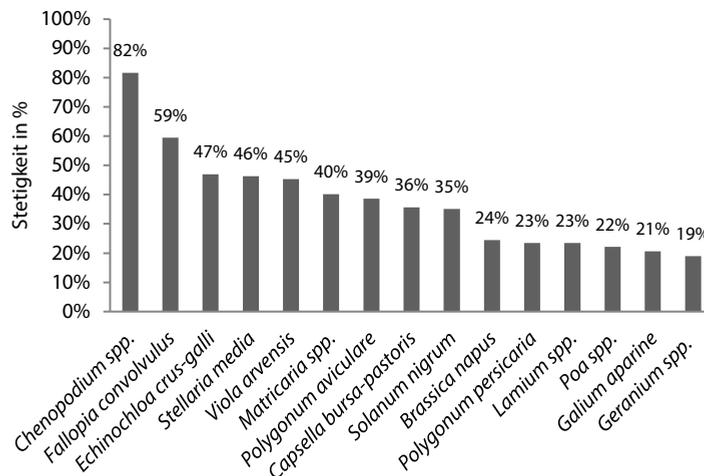


Abb. 1 Stetigkeit der 15 häufigsten Arten auf 311 Maisschlägen in Deutschland 2017.

Fig. 1 Frequency of the 15 most common species on 311 maize fields in Germany 2017.

In der Regel tritt eine eindeutige Veränderung der Artenzusammensetzung nach 15 bis 60 Jahren ein (HYÖVEN et al., 2003; MEYER et al., 2013). Die Zeitspanne zwischen den beiden Monitorings ist somit zu kurz, um extreme Veränderungen festzustellen. Außerdem, so haben es Modellierungen zur Auswirkung des Klimawandels auf die Artenzusammensetzung im Mais gezeigt, wird für diese fünf Arten bis 2070 eine hohe Stetigkeit in Mais prognostiziert (BÜRGER et al., 2014).

Einige Arten bauten ihre Bedeutung im Maisanbau 2017 aus (Abb. 1). So erhöhte sich die Stetigkeit von *Solanum nigrum* von Platz 13 (2000-2004) auf Platz 9 (2017). Die sommerannuellen und Wärme liebenden Art *Solanum nigrum* wird durch einen hohen Maisanteil in der Fruchtfolge begünstigt (DE MOL et al., 2015). In Folge der Nutzung von Mais als Substrat für Biogasanlagen ist die Maisanbaufläche und damit einhergehend der Maisanteil in der Fruchtfolge in den letzten 13

Jahren erheblich gestiegen. Die hohe Stetigkeit von *Solanum nigrum* kann eine Folge dieser Entwicklung sein.

In der Liste der 15 häufigsten Unkrautarten finden sich neue Arten, wie *Polygonum persicaria* und *Geranium* spp. (Abb. 1). Unsere Ergebnisse zu der Stetigkeit von *Polygonum persicaria* wurde bereits in Prognosen zum Einfluss von Klimawandel erwartet (BÜRGER et al., 2014). Aber auch der einseitige Einsatz von bestimmten Herbiziden fördert die Ausbreitung von *Polygonum persicaria*. Häufig werden von Landwirten die gleichen Herbizide mit einer Wirkungslücke gegen Knöterich-Arten eingesetzt (WEEDSCOUT, 2017). Überlebende Pflanzen bilden Samen mit einer Lebensfähigkeit von bis zu 30 Jahren und sichern die dauerhafte Verbreitung der Art. Ob der Einsatz bestimmter Herbizide tatsächlich der Grund für die Verbreitung ist, muss jedoch mit Hilfe von Angaben zum Einsatz von Herbiziden der untersuchten Betriebe in zukünftige Analysen überprüft werden. Die Ausbreitung der zweiten neuen Art in der Liste, *Geranium* spp., wurde bereits in Untersuchungen über Einflussfaktoren der Artenzusammensetzung von DE MOL et al., 2015 beschrieben. *Geranium* spp. ist eine typische Unkrautart im Rapsanbau (HANZLIK und GEROWITT, 2012). Die Ausbreitung von *Geranium* spp. ist ein mögliches Ergebnis einer Fruchtfolge mit hohem Raps und Maisanteil (DE MOL et al., 2015). Um diese These zu überprüfen, werden unsere Ergebnisse aus dem Unkrautmonitoring 2017 mit den Angaben der Fruchtfolge zum Boniturstandort analysiert.

Verbreitung und Dichte

Die Karte zur Verteilung von *Solanum nigrum* im Jahr 2017 bestätigt ein Vorkommen in nahezu allen beprobten Bundesländern (Abb. 3). Besonders hoch ist die Anzahl an Pflanzen m^{-2} in den Regionen des Nordens und Nordwesten. Hier findet seit z.T. Jahrzehnten ein intensiver Maisanbau in Verbindung mit Viehhaltung statt. Durch den Einsatz von organischen und mineralischen Düngern werden die Flächen häufig überdurchschnittlich gut mit Stickstoff versorgt. *Solanum nigrum* ist eine Art, die als sommeranaelles und Stickstoff liebendes Unkraut von diesem intensiven Maisanbau stark profitiert (ELLENBERG et al., 2010). *Solanum nigrum* ist somit ein typisches Maisunkraut mit besonders hohem Vorkommen im Norden Deutschlands.

Eine eher in Mittel- und Süddeutschland vorkommende Art ist *Alopecurus myosuroides*. Mit vereinzelt maximal 26 bis 100 Pflanzen pro m^2 ist *Alopecurus myosuroides* jedoch kein sehr typisches Ungras im Maisanbau 2017 (Abb. 4). Im Vergleich zu dem Monitoring 2000-2004 hat sich das Ungras nicht weiter in Richtung Norddeutschland ausgebreitet. *Alopecurus myosuroides* bevorzugt schwere und nasse Böden und kommt vorwiegend in Winterungen aber auch vermehrt in Hackfrüchten vor. Die ackerbauliche Bedeutung von *Alopecurus myosuroides* liegt in der Problematik der zunehmenden Herbizidresistenz (HEAP, 2017). Ein hoher Anteil an Winterungen in der Fruchtfolge und pfluglose Bodenbearbeitung fördern die Vermehrung von *Alopecurus myosuroides* (COLBACH und DÜRR, 2003), wohingegen ein höherer Anteil an Sommerungen in der Fruchtfolge zu einer Verringerung der Ungrasdichten führen soll (CHAUVEL et al., 2001). Unsere Ergebnisse zeigen jedoch, dass regional die Möglichkeit einer Vermehrung von *Alopecurus myosuroides* durch Sommerungen wie den Maisanbau besteht. Ein standortangepasstes Unkrautmanagement von *Alopecurus myosuroides* ist daher empfehlenswert.

Die Ergebnisse aus dem Unkrautmonitoring im Mais 2017 zeigen erste Trends. Um Sicherheit über aktuelle Entwicklung der Unkrautflora im Mais zu gewinnen, wird das Monitoring im Jahr 2018 fortgeführt. Um einen Zusammenhang zwischen bestimmten Managementfaktoren, wie der Einfluss der Untersaat und Zwischenfrüchten, auf die Verbreitung von Unkrautarten zu analysieren werden die Daten über Unkrautflora, Betrieb und Boniturstandort genutzt.



Abb. 2 311 Boniturstandorte des deutschlandweiten Unkrautmonitorings in Mais 2017.

Fig. 2 311 sampling fields of the national weed survey in maize in Germany 2017.

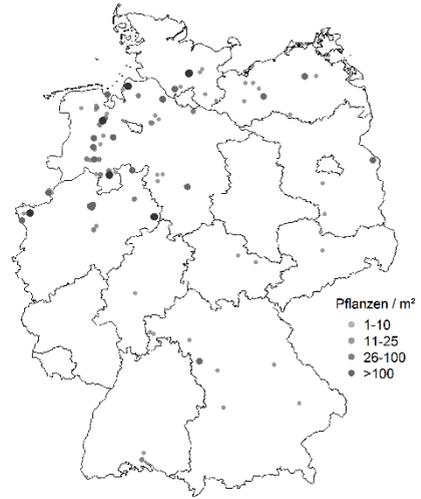


Abb. 3 Verteilung und Dichte von *Solanum nigrum* auf beprobten Maisanbauflächen Deutschlands 2017.

Fig. 3 Distribution and density of *Solanum nigrum* on sampled maize fields in Germany 2017.

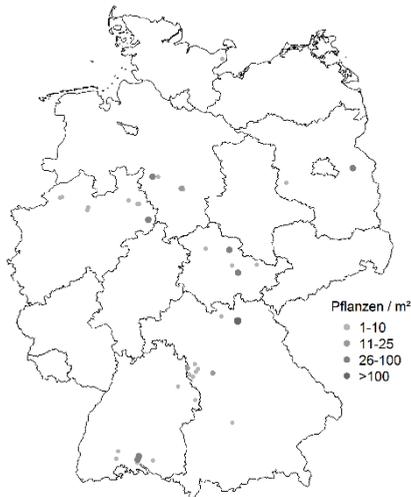


Abb. 4 Verteilung und Dichte von *Alopecurus myosuroides* auf beprobten Maisanbauflächen Deutschlands 2017.

Fig. 4 Distribution and density of *Alopecurus myosuroides* on sampled maize fields in Germany 2017.

Danksagung

Für die Finanzierung des Monitorings und die Bereitstellung von Daten und Kontakten der Landwirte danken wir der Syngenta Agro GmbH. Weiterhin danken wir Dr. Manfred Kayser, Göttingen, Prof. Dr. Joachim Kakau, Osnabrück, und Prof. Dr. Verena Haberlah-Korr, Soest, für die ausgezeichnete Zusammenarbeit.

Literatur

- BIVAND, R. und N. LEWIN-KOH, 2016: Maptools: Tools for Reading and Handling Spatial Objects. R package version 0.8-39. <http://CRAN.R-project.org/package=maptools>.
- BÜRGER, J., B. EDLER, B. GEROWITT und H.-H. STEINMANN, 2014: Prognose künftiger Problemunkräuter im Maisabbau durch Artverbreitungsmodellierung. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 379-386.
- CHAUVEL, B., J.P. GUILLEMIN, J.P., COLBACH, N. und J. GASQUEZ, 2001: Evaluation of cropping systems for management of herbicide-resistant population of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop Protection* **20**, 127-137.
- COLBACH, N. und C. DÜRR, 2003: Effects of seed production and storage conditions on blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) germination and shoot elongation. *Weed Science* **51**, 708-717.
- DE MOL, F., C. VON REDWITZ und B. GEROWITT, 2015: Weed species composition of maize fields in Germany is influenced by site and crop sequence. *Weed Research* **55**, 574-585.
- DESTATIS, 2017: Feldfrüchte und Grünland. verfügbar unter: www.destatis.de (zuletzt geprüft:13.09.2017).
- DEUTSCHES MAISKOMITEE E.V., 2016: Statistik zum Thema Biogas. Entwicklung der Anlagenzahl in Deutschland. Verfügbar unter: www.maiskomitee.de (zuletzt geprüft:13.09.2017).
- ELLENBERG, H. und C. LEUSCHNER, 2010: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, 1093-1097.
- HALL, M.R., C.J. SWANTON und G.W. ANDERSON, 1992: The critical period of weed control in grain corn (*Zea mays*). *Weed Science* **40**, 441-447.
- HANZLIK, C. und B. GEROWITT, 2012: Occurrence and distribution of important weed species in German winter oilseed rape fields. *Journal of Plant Diseases and Protection* **119**, 107-120.
- Heap, 2017: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Verfügbar unter: www.weedscience.org (zuletzt geprüft:13.09.2017).
- HYVÖNEN, T., E. KETOJA und J. SALONEN, 2003: Changes in the abundance of weeds in spring cereal fields in Finland. *Weed Research* **43**, 348-356.
- MEHRTENS, J., M. SCHULTE und K. HURLE, 2005: Unkrautflora in Mais. *Gesunde Pflanzen* **57**, 206-218.
- 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.
- OERKE, E.-C., 2006: Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science* **144**, 31-43.
- R CORE TEAM, 2014: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Wien, Österreich. www.R-project.org.
- SWANTON, C.J., S. WEAVER, P. COWAN, R. VAN ACKER, W. DEEN und A. SHRESHTA, 1999: Weed thresholds: Theory and Applicability. *Journal of Crop Production* **2**, 9-29.
- WEEDSCOUT, 2017: Floh-Knöterich (*Polygonum persicaria* L.). verfügbar unter: https://www.weedscout.com/Floh-Knoeterich-Polygonum-persicaria-L_unkrautfibel1486308804.html (zuletzt geprüft:14.09.2017).

The influence of farming on weed flora in the Gäu region of Southwestern Germany with an emphasis on rare arable weed species

Einfluss der Bewirtschaftung auf die Unkrautflora und insbesondere seltene Ackerunkräuter der Gäu-Region von Baden-Württemberg

Matthias Schumacher*, Ann-Kathrin Hahn, Roland Gerhards

Institut für Phytomedizin (360), Fachgebiet Herbolgie, Otto-Sander-Str. 5, 70599 Stuttgart, Germany

*Corresponding author, matthias.schumacher@uni-hohenheim.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.004



Abstract

Highly developed weed control strategies manage to suppress weeds and therefore contribute to a shift in weed community composition as well as a decline in rare weed occurrence. To counteract this decline fields containing rare weed species are taken under contract for preservation purposes, however only time limited. We mapped the weed flora in cereals of conventional (K) and organic (O) fields as well as current (V) and former (E) rare species conservation fields in the Gäu region of Southwestern Germany in 2016. We found similar weed species numbers in O (24 - 38 species) and V (36 - 43 species) and in C (7 - 17 species) and E (13 - 15 species). Weed community composition varied considerably between fields. By performing a CCA (Canonical Correspondence Analysis) we were able to explain 23% of the weed community composition by the parameters seeding rate and nitrogen fertilization. Nevertheless species such as *Alopecurus myosuroides*, *Geranium dissectum*, *Papaver rhoeas*, *Poa trivialis* and *Veronica persica* showed a high consistency in all observations. Rare and endangered weed species like *Papaver argemone*, *Consolida regalis*, *Ranunculus arvensis* and *Galium tricornerutum* were only present in V and occasionally E and O. This indicates a rapid decline of weed species diversity after contracts expire, which slowly leads to a similar floral composition as in conventional fields. Therefore new concepts for constant protection of rare weed species should be put into action to ensure conservation success.

Keywords: Arable weed species, farming, species conservation, weed community

Zusammenfassung

Durch hoch entwickelte Unkrautbekämpfungsmaßnahmen werden Unkräuter effektiv unterdrückt, was im gleichen Zuge zu einer Veränderung der Zusammensetzung der Unkrautflora sowie dem Rückgang von selteneren Arten führt. Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken und Arten zu schützen, werden Flächen mit seltenen Arten unter Naturschutz-Vertrag genommen, jedoch meist nur zeitlich begrenzt. Wir kartierten 2016 in der Gäu-Region Baden-Württembergs die Unkrautflora konventioneller (K) und ökologischer (O) Getreideflächen sowie früherer (E) und aktueller (V) Schutzäcker. Die Unkrautartenzahlen waren zwischen O (24 – 38 Arten) und V (26 – 43 Arten) sowie zwischen C (7 – 17 Arten) und E (13 – 15 Arten) sehr ähnlich. Die Zusammensetzung der Unkrautflora variierte beträchtlich zwischen den untersuchten Flächen. Mithilfe einer Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) war es möglich, 23 % dieser Variation durch die Parameter Aussaatstärke und Stickstoffdüngung zu erklären. Trotzdem zeigten einige Arten wie *Alopecurus myosuroides*, *Geranium dissectum*, *Papaver rhoeas*, *Poa trivialis* und *Veronica persica* eine hohe Stetigkeit in allen untersuchten Flächen. Seltene und gefährdete Unkrautarten wie *Papaver argemone*, *Consolida regalis*, *Ranunculus arvensis* und *Galium tricornerutum* waren nur in aktuellen Vertragsflächen vorhanden und traten gelegentlich in E oder O auf. Dies weist auf einen Rückgang der Artenvielfalt hin, sobald die Verträge für diese Äcker auslaufen. Die Unkrautflora nähert sich dann kontinuierlich der Florenzzusammensetzung von konventionellen Flächen an. Um einen dauerhaften Erhalt der seltenen Arten zu garantieren, sollten deshalb neue Entwürfe zum Artenschutz entwickelt und umgesetzt werden.

Stichwörter: Ackerwildkräuter, Artenspektrum, Artenschutz, Bewirtschaftung

Introduction

After the invention of herbicides in the early 1950s, agriculture was the main driver of weed species losses. In addition to herbicides also improvements in soil tillage, increased fertilizer application and the Green Revolution led to a steep decline in weed species numbers from then on (ALBRECHT and MATTHEIS, 1998; MEYER et al., 2013; HYVÖNEN and SALONEN, 2002). Not only the number of weed species but also weed coverage in general decreased over the years (MEYER et al.,

2015). A lot of the weed species that were not able to cope with the intensification of agriculture are nowadays highly endangered or even extinct (MEYER et al., 2013). Instead of a rich weed flora on the fields, a community dominated by few weed species evolved, which were able to survive intensive farming (HILTBRUNNER et al., 2008). More and more of these weed species also demonstrate resistance to current herbicides (HEAP et al., 2013).

To counteract this species loss, conservation concepts were developed to protect the remaining rare arable weeds, such as conservation fields, field margin strips and extensification of farming. These concepts often involve a contract between the government and the farmer, which states explicitly the permitted farming operations and the compensatory payments in return. Contracts are normally effective to protect these species, but are time limited.

We surveyed the weed flora of conventional and organic fields as well as current and former weed conservation fields to determine (i) if rare weed species are still present in former contract fields, (ii) if the weed community composition differs between the farming types and (iii) which farming operations affect the weed community in particular.

Materials and Methods

Experimental region

Observations were performed in the region "Gäu" in Baden-Württemberg (Southwestern Germany). This region is located between the Black Forest and the Swabian Alps. The parent rock material is Muschelkalk and in some locations Unterer Keuper (clay or sandstone). Soil types in this region range from sandy clay to heavy clay soils.

Experimental setup

Experimental fields were got from the District Office for Nature Conservation. The obtained cereal fields were either currently under contract (V) due to the occurrence of rare arable weed species or have been in the past (E). In addition conventionally (K) and organically (O) farmed cereal fields with the same site characteristics were mapped in the vicinity of these contract fields. In total the survey comprised 4 K, 4 O, 3 V and 3 E fields.

Fields were mapped according to the method of VAN ELSEN (1989). The extended BRAUN-BLANQUET scale (WILMANN, 1998) was used to record weeds on a 2m by 50m strip on the field margin and a second strip in the middle of the crop stand.

Furthermore, a survey among the farmers was performed to obtain information about farming strategies such as crop choice, fertilization, weed control and crop rotation.

Statistical Analysis

Constancy of species among the observed fields was calculated using R (version 3.1.1). Species numbers were analysed with the standard analysis of variance (ANOVA) and means compared with a Tukey-HSD test ($p \leq 0.05$).

The 29 most constant weed species together with the farming data were subjected to a canonical correspondence analysis (CCA).

Results

Weed species numbers tended to be higher at the field margins compared to the middle of the fields. Furthermore organically farmed fields and contract fields showed a similar weed species diversity, while conventionally farmed fields and former contract fields had a much lower diversity.

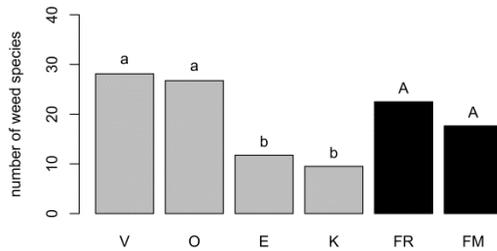


Fig. 1 Weed species numbers in conventional (K) and organic (O) fields as well as former (E) and current (V) conservation fields in the field margins (FR) or the field centre (FM). Bars represent mean values; significant differences ($p \leq 0.05$) are indicated by different letters.

Abb. 1 Mittlere Unkrautartenzahlen in konventionell (K) und ökologisch (O) bewirtschafteten Äckern sowie ehemaligen (E) und aktuellen (V) Vertragsnaturschutz-Äckern am Feldrand (FR) und in der Feldmitte (FM). Signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.

In winter wheat, 57 weed species were recorded of which 9 were constant throughout all the fields. These were namely: *Alopecurus myosuroides*, *Geranium dissectum*, *Myosotis stricta*, *Galium tricornutum*, *Papaver rhoeas*, *Poa trivialis*, *Taraxacum officinale*, *Veronica persica* and *Vicia villosa* ssp. *villosa*. Rare species like *Papaver argemone*, *Consolida regalis*, *Ranunculus arvensis* and *Galium tricornutum* had medium to low constancy and were mainly present in V, E and sometimes O fields.

Tab. 1 Weed spectrum and respective coverage (%) in winter wheat fields of conventionally (K) and organically (O) farmed fields as well as former (E) and current (V) conservation fields in condensed form. Underlined species are endangered in Baden-Württemberg.

Tab. 1 Auszug des Ackerwildkrautspektrums und der jeweiligen Deckungsgrade (%) in konventionell (K) und ökologisch (O) bewirtschafteten Winterweizenfeldern sowie ehemaligen (E) und aktuellen (V) Vertragsnaturschutz-Äckern mit Winterweizen. Hervorgehobene Arten sind in Baden-Württemberg gefährdet.

Scientific names	Field margin				Field centre			
	V	E	K	O	V	E	K	O
<i>Alopecurus myosuroides</i>	2	3	0	0.5	0	1	0	6
<u><i>Consolida regalis</i></u>	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0
<i>Convolvulus arvensis</i>	12	17	1	25	0	5	0	35
<i>Galium tricornutum</i>	0.5	1	0	5	30	13	0	20
<i>Geranium dissectum</i>	8	2	0	0.1	0	0.1	0	5
<i>Matricaria recutita</i>	0	35	0	0	0	0.5	0	0
<u><i>Myosotis stricta</i></u>	10	18	0	15	0	2	0	12
<u><i>Papaver argemone</i></u>	0.5	0	0	0	0	0	0	0
<i>Papaver rhoeas</i>	15	1	0	9	0	0.1	0	0.5
<i>Poa trivialis</i>	1	1	0	8	0	0	0	1
<u><i>Ranunculus arvensis</i></u>	0	27	0	0.5	0	1	0	2
<i>Secale cereale</i>	0	0.5	3	0	0	1	0.5	0
<i>Taraxacum officinale</i>	7	1	0	25	0	0	0	30
<i>Veronica persica</i>	1	0.1	0	0.5	0	3	0	0

Due to incomplete farming data from the farmers, only nitrogen fertilization and seeding rates were quantified and used in the CCA. *Alopecurus myosuroides*, *Fumaria officinalis* and *Lamium purpureum* were associated with a high nitrogen rate. Low nitrogen fertilization and low seeding rates were associated with species such as *Anagallis arvensis*, *Cirsium arvense* and *Sherardia arvensis*, while *Myosotis arvensis* occurred under medium seeding rates. In toto, seeding rate and nitrogen fertilization were able to explain 23% of the weed community composition.

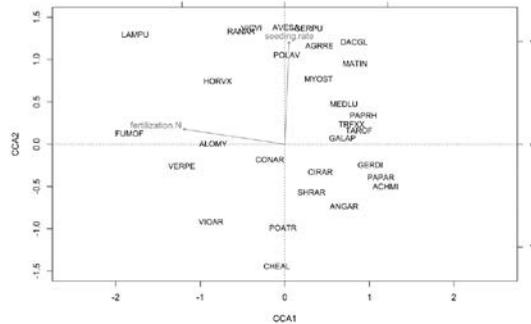


Fig. 2 Influence of farming operations on the composition of the weed flora: ordination graph of the Canonical Correspondence Analysis (CCA) with parameters seeding rate (seeding.rate) and nitrogen fertilization (fertilization.N). Total inertia was 2.7290, constrained inertia was 0.6371 with eigenvalues of 0.4388 (CCA1) and 0.01983 (CCA2) of the axes. Scientific plant names were substituted by their respective EPPO codes.

Abb. 2 Einfluss der pflanzenbaulichen Maßnahmen Aussaatstärke und Stickstoffdüngung auf die Zusammensetzung der Ackerwildkrautflora: Ordinationsdiagramm der Kanonischen Korrespondenz Analyse (CCA) mit den Parametern Aussaatstärke (seeding.rate) und Stickstoffdüngung (fertilization.N). Die Gesamtvariabilität beträgt 2,7290, Variabilität der verwendeten Achsen ist 0,6371, die Eigenwerte der Achsen sind 0,4388 (CCA1) und 0,01983 (CCA2). Wissenschaftliche Pflanzennamen wurden mit EPPO-Codes abgekürzt.

Discussion

Rare arable weed species that were present in the experimental region and considered to be endangered in Germany or Baden-Württemberg were: *Consolida regalis*, *Ranunculus arvensis*, *Galium tricornutum*, *Myosotis stricta*, *Papaver argemone* and *Valerianella ramosa*. Especially for the first two species Baden-Württemberg has a high responsibility, as they are not endangered in the experimental region yet, but extinct or highly endangered in most other parts of Germany (BREUNIG and DEMUTH, 1999).

Fields under contract, as well as organically farmed fields, seem to be most suitable for the conservation of weed biodiversity and especially rare species (CHAMORRO et al., 2014; ARMENGOT et al., 2012; VAN ELSSEN, 2000). However, due to the limited spectrum of weed control options these rare species are threatened by highly competitive species such as *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis* and *Elymus repens* (ARMENGOT et al., 2017).

It is therefore of paramount importance to conserve the present rare weed species (ROTCHÉS-RIBALTA et al., 2015a) by adequate farming operations (ROTCHÉS-RIBALTA et al., 2015b) without time limitations. Otherwise the weed community will inevitably change according to the implemented modern farming operations (RYAN et al., 2010).

The survival time of rare weed seeds in the soil is often quite short. As a consequence these species are lost rapidly. It is therefore of utmost importance to continue contracts of fields with existing populations to prevent this. The matter is even more exacerbated as climate change effects might further negatively affect rare species (RÜHL et al., 2015). To counteract this trend towards short term conservation a system similar to the „100 Fields for Diversity” project (MEYER et al., 2014) should be started, which established a dense network of protection fields all over Germany. This was realized by a close coordination between universities, farmers and nature conservation authorities with sufficient monetary and advisory support for the farmer. Especially the latter is highly important for long term collaboration.

In terms of weed community composition especially nitrogen fertilization favoured ordinary or even problematic weed species. The data regarding herbicide use of the farmers was unfortunately unavailable, but would have illuminated the process of weed community shifts (RYAN et al., 2010).

Occurring problematic weed species do not only threaten rare weed species but also the crop yield. To ensure crop safety and quality, integrated weed control strategies need to be put into action, but for the focus of diversity and nature conservation extensive methods are more suitable.

References

- ALBRECHT, H. and A. MATTHEIS, 1998: The effects of organic and integrated farming on rare arable weeds on the Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM) research station in southern Bavaria. *Biological Conservation* **86**, 347–356.
- ARMENGOT, L., L. JOSÉ-MARÍA, L. CHAMORRO and F.X. SANS, 2017: *Avena sterilis* and *Lolium rigidum* infestations hamper the recovery of diverse arable weed communities. *Weed Research* **57**, 278–286.
- ARMENGOT, L., F.X. SANS, C. FISCHER, A. FLOHRE, L. JOSÉ-MARÍA, T. TSCHARNTKE and C. THIES, 2012: The β -diversity of arable weed communities on organic and conventional cereal farms in two contrasting regions. *Applied Vegetation Science* **15**, 571–579.
- BREUNIG, T. and S. DEMUTH, 1999: Rote Liste der Farn- und Samenpflanzen Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umweltschutz, Karlsruhe. 246 S.
- CHAMORRO, L., L. ARMENGOT, L. JOSÉ-MARÍA and F.X. SANS, 2014: Organic farming enhances the recovery of ancient crops and segetal weeds in Catalonia (NE of Spain). *Building Organic Bridges* **3**, 979–982.
- HEAP, I., 2013: Herbicide resistant weeds. *Integrated Pest Management* **3**, 281–301.
- HILTBRUNNER, J., C. SCHERRER, B. STREIT, P. JEANNERET, U. ZIHLMANN and R. TSCHACHTLI, 2008: Long-term weed community dynamics in Swiss organic and integrated farming systems. *Weed Research* **48**, 360–369.
- HYVÖNEN, T. and J. SALONEN, 2002: Weed species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels - a six-year experiment. *Plant Ecology* **154**, 73–81.
- MEYER, S., C. LEUSCHNER, B. BLÜMLEIN and H. ALBRECHT– DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT, DEUTSCHER VERBAND FÜR LANDSCHAFTSPFLEGE, 2015: 100 Äcker für die Vielfalt: Initiativen zur Förderung der Ackerwildkrautflora in Deutschland. Universitätsverlag, Göttingen. 351 S.
- MEYER, S., K. WESCHE, B. KRAUSE and C. LEUSCHNER, 2013: Dramatic losses of specialist arable plants in Central Germany since the 1950s/60s - a cross-regional analysis. *Diversity and Distributions* **19**, 1175–1187.
- MEYER, S., T. VAN ELSEN, B. BLÜMLEIN, M. KAERLEIN, J. METZGER, F. GOTTWALD, S. WEHKE, M. DIETERICH, W. WAHMHOF, R. STOCK and C. LEUSCHNER, 2014: Conserving agrobiodiversity through arable field sanctuaries. *Natur und Landschaft* **9**, 434–41.
- ROTCHÉS-RIBALTA, R., J.M. BLANCO-MORENO, L. ARMENGOT, L. CHAMORRO and F.X. SANS, 2015a: Both farming practices and landscape characteristics determine the diversity of characteristic and rare arable weeds in organically managed fields. *Applied Vegetation Science* **18**, 423–431.
- ROTCHÉS-RIBALTA, R., J.M. BLANCO-MORENO, L. ARMENGOT, L. JOSÉ-MARÍA and F.X. SANS, 2015b: Which conditions determine the presence of rare weeds in arable fields? *Agriculture, Ecosystems & Environment* **203**, 55–61.
- RÜHL, A.T., R.L. ECKSTEIN, A. OTTE and T.W. DONATH, 2015: Future challenge for endangered arable weed species facing global warming: Low temperature optima and narrow moisture requirements. *Biological Conservation* **182**, 262–269.
- RYAN, M. R., R. G. SMITH, S. B. MIRSKY, D. A. MORTENSEN and R. SEIDEL, 2010: Management Filters and Species Traits: Weed Community Assembly in Long-Term Organic and Conventional Systems. *Weed Science* **58**, 265–277.
- VAN ELSEN, T., 2000: Species diversity as a task for organic agriculture in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **77**, 101–109.
- VAN ELSEN, T., 1989: Ackerwildkraut-Gesellschaften herbizidfreier Ackerränder und des herbizidbehandelten Bestandesinneren im Vergleich. *Tuexenia* **9**, 75–105.
- WILMANN, O., 1998: Ökologische Pflanzensoziologie: eine Einführung in die Vegetation Mitteleuropas. 6. Auflage, Quelle & Meyer, Wiesbaden.

Biodiversität einer mehrjährigen Wildpflanzenmischung für die Biogasproduktion

Biodiversity of a perennial wild flower mixture for biogas production

Friederike de Mol*, Laura Tamms, Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Arbeitsgruppe Phytomedizin, Satower Straße 48, 18051 Rostock

*Korrespondierende Autorin, friederike.de-mol@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.005



Zusammenfassung

Wildpflanzenmischungen zur Biogasproduktion können durch eine hohe Biodiversität bei gleichzeitiger Unkrautunterdrückung eine ökologisch sinnvolle Alternative zum Maisanbau sein. Um die Entwicklung von Artenvielfalt und Verunkrautung über drei Standjahre zu prüfen, wurden im Frühjahr 2014 an zwei nordostdeutschen Standorten Feldversuche mit der Wildpflanzenmischung „BG 70“ (Saaten Zeller) angelegt. Die Mischung ist mehrjährig, enthält 23 Arten und ist speziell für die Biomassennutzung in Biogasanlagen entwickelt. Von 2014 bis 2016 wurden jedes Jahr Ende Mai bis Mitte Juni auf je acht Parzellen pro Standort angesäte Wildpflanzen und Unkräuter gezählt und die Arten bestimmt. Die Wildarten-Biodiversität, beschrieben mit drei Diversitätsindizes, sank über die Standjahre. Die angesäten Arten Gemeiner Beifuß (*Artemisia vulgaris*), Schwarze Flockenblume (*Centaurea nigra*) und Rainfarn (*Tanacetum vulgare*) dominierten im zweiten und dritten Standjahr zunehmend. Die Individuenanzahl der Ansaatmischung blieb jedoch über die Jahre konstant und bewirkte eine sinkende Unkrautdichte. Die durch den Wildpflanzenanbau erhöhte Biodiversität könnte zu höheren Ökosystemdienstleistungen führen mit dem positiven Nebeneffekt der Produktion von Biogassubstrat, ohne dass eine Verunkrautung der Flächen in den ersten Jahren der Anlage befürchtet werden muss.

Stichwörter: Äquivalentartenzahl, Artenreichtum, Berger-Parker-Index, Blümmischung, Unkrautdichte

Abstract

Due to an expected high biodiversity wildflower mixtures for biogas production may perform a reasonable ecological alternative to maize cropping, while they at the same time suppress weeds. To test the development of biodiversity and weed abundance in three years, in 2014 field trials were established at two sites in North-East Germany. The wild flower mixture „BG 70“ (Saaten Zeller) was sown, a perennial mixture containing 23 species developed especially for the use of biomass in biogas plants. From 2014 until 2016 wild flowers and weed species and densities were counted on eight plots per site. The assessment was done each year from late May until mid June. The diversity of the wild flower mixtures decreased over the years, as described with three indices for diversity. The sown species common mugwort (*Artemisia vulgaris*), common knapweed (*Centaurea nigra*) and common tansy (*Tanacetum vulgare*) increasingly dominated starting in the second year after sowing. However, the number of individual wild flower plants was constant over the years and led to a decreasing weed density. The increased biodiversity by wild flower cultivation may enhance ecosystem services with the positive side effect of biomass production for biogas plants. At least in the first years of wild flower cultivation, growers should not fear increasing weed densities.

Keywords: Berger-Parker-index, equivalent species number, flower mixture, species richness, weed density

Einleitung

Das Hauptsubstrat für die Biogasproduktion in Deutschland ist Maissilage. Die starke Nachfrage nach Mais hat dazu geführt, dass Mais nach Weizen zur anbaustärksten Kulturart geworden ist. Negative Nebeneffekte des ausgedehnten Maisanbaus sind vereinfachte Fruchtfolgen. Die verringerte Kulturartendiversität hat eine allgemein verringerte Biodiversität zur Folge. Diese wiederum wird mit sinkenden Ökosystemdienstleistungen wie mangelhafter Bestäubung und geringer natürlicher Regulation von Schaderregern in Verbindung gebracht (TSCHARNTKE et al., 2005). Außerdem wird eine Eintönigkeit der Agrarlandschaft beklagt.

Alternative Kulturen zur Biomasseproduktion werden als Möglichkeit gesehen, die Agrarbiobiodiversität zu erhöhen (HAUGHTON et al., 2016). Mischungen aus Wildpflanzen könnten kleinräumig eine Alternative zum Maisanbau sein, Biogassubstrat liefern und gleichzeitig die Artenvielfalt besonders stark erhöhen, da bei dem Anbau von Artenmischungen neben der Begleitflora auch die Kultur bereits divers ist (DEGENBECK, 2015). Mehrjährige Wildpflanzenflächen

bieten zusätzlich den Vorteil der Bodenruhe, so dass sich andere Arten aus der Bodensamenbank etablieren können.

In den letzten Jahren wurde verschiedene mehrjährige, für die Biogasproduktion geeignete Wildpflanzenmischungen entwickelt und Anbauverfahren getestet, die in Anbauempfehlungen mündeten (<http://lebensraum-brache.de/wissen/beratung/>). Auch Methanerträge wurden untersucht (VOLLRATH et al., 2015).

In diesem Beitrag geht es darum, inwieweit die angestrebte Biodiversität mit einer für die Biogasproduktion entwickelten Wildpflanzenmischung tatsächlich erreicht wird und ob die Wildpflanzendiversität bei mehrjähriger Nutzung über die Standjahre erhalten bleibt. Ein zweites Augenmerk wird auf das Unkraut gelegt: steigt die Verunkrautung in einem mehrjährigen Wildpflanzenbestand, in dem Herbizide nicht eingesetzt werden können, an? Und wie tragen Unkräuter zur Biodiversität bei?

Material und Methoden

Versuchsaufbau

Als Wildpflanzenmischung wurde die BG 70 des Saatgutherstellers Saaten Zeller GmbH & Co. KG, gewählt. Sie wurde als mehrjährige Mischung speziell für die Biogasproduktion entwickelt (SAATEN ZELLER, 2017). Sie setzte sich aus 23 Arten zusammen, von denen vier einjährig, acht zweijährig und zwölf ausdauernde Stauden und Holzgewächse waren (Tab. 1). Obwohl „Wild“-pflanzen genannt, waren die Arten oft schon züchterisch bearbeitet. Beispielsweise enthielt die Mischung eine einjährige und eine zweijährige Sorte des Weißen Steinklees (*Melilotus albus*).

Tab. 1 Arten der mehrjährigen Wildpflanzenmischung für die Biogasproduktion BG 70 (Saaten Zeller GmbH & Co. KG). Deutscher Name (Wissenschaftlicher Name; Gewichtsanteil in der Mischung).

Tab. 1 *Species of the perennial wild flowering mixture for biogas production BG 70 (Saaten Zeller GmbH & Co. KG). German name (Scientific name; weight proportion in the mixture).*

Annuelle Arten

Buchweizen (*Fagopyron esculentum*; 8,0 %)
Malve, Quirl- (*Malva verticillata*; 6,0 %)
Sonnenblume (*Helianthus annuus*; 6,5 %)
Steinklee, Weißer (*Melilotus albus*; 6,0 %)
Bienne Arten
Fenchel (*Foeniculum vulgare*; 4,0 %)
Färberseede (*Reseda luteola*; 0,3 %)
Möhre (*Daucus carota*; 0,1 %)
Karde, Wilde (*Dipsacus sylvestris*; 0,5 %)
Königskerze, Kleinblütige (*Verbascum thapsus*; 0,2 %)
Natternkopf, Gemeiner (*Echium vulgare*; 0,5 %)
Steinklee, Echter (*Melilotus officinalis*; 7,0 %)
Steinklee, Weißer (*Melilotus albus*; 3,5 %)

Perennierende Arten

Alant, Echter (*Inula helenium*; 5,0 %)
Beifuß, Gemeiner (*Artemisia vulgaris*; 1,0 %)
Eibisch, Echter (*Althaea officinalis*; 5,5 %)
Espartette, Saat- (*Onobrychis viciifolia*; 9,0 %)
Färberhundskamille (*Anthemis tinctoria*; 0,1 %)
Flockenblume, Schwarze (*Centaurea nigra*; 20,0 %)
Lichtnelke, Rote (*Silene dioica*; 0,2 %)
Luzerne, Saat- (*Medicago sativa*; 2,0 %)
Malve, Wilde (*Malva sylvestris*; 7,0 %)
Malve, Rosen- (*Malva alcea*; 0,6 %)
Rainfarn (*Tanacetum vulgare*; 5,0 %)
Wegwarte, Gemeine (*Cichorium intybus*; 2,0 %)

Im Frühling 2014 wurden im Nordosten Deutschlands an zwei Standorten Feldversuche angelegt. Malchow lag auf sandigem Lehm (Ackerzahl 56). Im Mittel der Jahre 2014 bis 2016 betrug die Jahresdurchschnittstemperatur 9,9 °C, und es fiel 517 mm Niederschlag. Die Bodenart am Standort Rostock war lehmiger Sand (Ackerzahl 45). Die Drei-Jahres-Durchschnittstemperatur lag bei 10,5 °C, der mittlere jährliche Niederschlag bei 584 mm.

In einem Blockdesign mit sechs Versuchsgliedern und vier Wiederholungen wurden die zwei Faktoren Standzeit und Aussaatdichte in ihren Auswirkungen auf die Biodiversität untersucht. Die

Parzellen waren 18 m² (Malchow) bzw. 30 m² (Rostock) groß. Startend im Jahr 2014 wurden jährlich Anfang Mai je Block zwei Parzellen mit der Wildpflanzenmischung neu besät, davon eine mit der empfohlenen Saatgutmenge von 10 kg/ha und eine mit einer reduzierten Menge von 6,7 kg/ha. Im Sommer 2016 standen somit Wildpflanzenbestände im Ansaatzjahr, im ersten Jahr nach der Ansaat und im zweiten Jahr nach der Ansaat nebeneinander. Für den vorliegenden Beitrag wurden nur die Parzellen ausgewertet, die seit Anlage des Versuchs 2014 mit der Wildpflanzenmischung eingesät waren.

Die Ansaat erfolgte gemäß Empfehlungen der Saatgutentwickler in ein feines Saatbett von Hand, gemischt mit Sojaschrot oder Erde, um die Flugeigenschaften der Samen zu verbessern. Anschließend wurde der Boden angewalzt. Anfang bis Mitte September wurden die Bestände geschnitten und die Biomasse abgefahren. Im dritten Standjahr wurden die Parzellen mit 120 kg Stickstoff gedüngt. Weitere Pflegemaßnahmen erfolgten nicht.

Datenerfassung und Auswertung

Ende Mai bis Mitte Juni wurden jährlich pro Parzelle auf vier zufällig verteilten 0,5 m² Quadraten Wildpflanzen aus der Saatmischung und Unkräuter gezählt. Dabei wurde, wenn möglich, nach Arten unterschieden, ansonsten nach Gattungen. Für die Wildpflanzen wurden die Malvenarten und die Steinkleearten zusammengefasst, da sie im frühen Entwicklungsstadium nicht zu unterscheiden waren. Die Boniturquadrate wurden jährlich mit hochpräzisem GPS standorttreu wieder eingemessen, so dass stets auf denselben Flächen bonitiert wurde.

Für die statistische Auswertung wurden die Standorte getrennt betrachtet. Die Daten wurden innerhalb einer Parzelle gepoolt. Eine Vorauswertung ergab, dass sich die Parzellen mit empfohlener und reduzierter Saatmenge hinsichtlich ihres Wild- und Unkrautpflanzenbestands nicht voneinander unterschieden. Der Faktor Aussaatmenge wurde deshalb in den folgenden Auswertungen nicht berücksichtigt.

Die Entwicklung der Artenzusammensetzung (Wild- und Unkrautarten) über die Jahre wurde mit Nicht-metrischer Multidimensionaler Skalierung (NMDS) auf Grundlage von Bray-Curtis-Distanzen visualisiert. Der Einfluss des Standjahrs auf die Artenzusammensetzung wurde mit einem goodness-of-fit Permutationstest getestet, wobei der quadrierte Korrelationskoeffizient als Teststatistik diente.

Die Biodiversität wurde getrennt für Wildpflanzen und Unkräuter mit drei Parametern beschrieben:

- Artenreichtum.
- Äquivalentartenzahl. Die Äquivalentartenzahl ist die Exponentialfunktion des Shannon-Indizes zur Basis *e*. Sie gibt die Artenanzahl an, die bei Gleichverteilung der Arten zu derselben Diversität führen würde wie der betrachtete Bestand.
- Berger-Parker-Index. Dieser Index ist der Quotient aus der Gesamtdichte aller Arten und der Dichte der häufigsten Art.

Der Artenreichtum gibt seltenen Arten ein besonderes Gewicht, während der Berger-Parker-Index das Gewicht auf die Art mit der höchsten Dichte legt. Die Äquivalentartenzahl gewichtet seltene und häufige Arten gleich stark.

Der Einfluss des Standjahrs auf die Biodiversitätsmaße und die Pflanzendichte wurde mit dem nicht-parametrischen Friedman-Test und anschließendem post-hoc-Test ($\alpha = 0,05$) untersucht.

Für die Berechnungen wurde die Software R (R CORE TEAM, 2017) mit den Zusatzpaketen „vegan“ und „agricolae“ genutzt.

Ergebnisse

Die Artenzusammensetzung veränderte sich über die drei Standjahre auf beiden Standorten signifikant (Malchow: $r^2 = 0,74$ mit $p(r) < 0,001$, Rostock: $r^2 = 0,87$ mit $p(r) < 0,001$). Abbildung 1

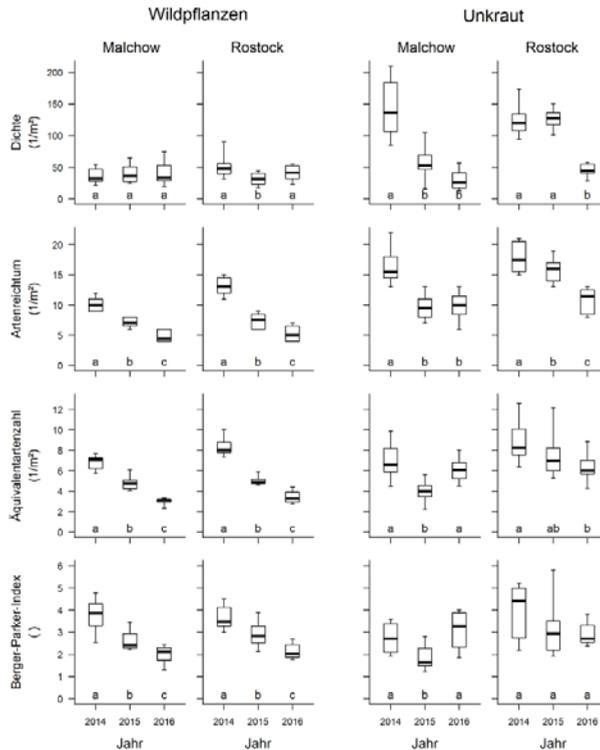


Abb. 2 Pflanzendichten und Biodiversität von Wild- und Unkrautarten auf den Versuchsstandorten Malchow und Rostock in den Jahren 2014 bis 2016 (n = 8). Die Biodiversität ist dargestellt anhand von drei Indizes (Artenreichtum, Äquivalentartenzahl und Berger-Parker-Index). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren (Friedman-Test, $\alpha = 0,05$).

Fig. 2 Plant densities and biodiversity of wild flowers and weeds on the experimental sites Malchow and Rostock from year 2014 until 2016 (n = 8). Biodiversity is shown with three diversity indices (species richness, equivalent species number and Berger-Parker-index). Different letters indicate significant differences between years (Friedman test, $\alpha = 0.05$).

Der Trend abnehmender Unkrautdiversität war anhand der Äquivalentartenzahl nur in Rostock zu sehen. Der Berger-Parker-Index änderte sich vom ersten zum dritten Anbaujahr nicht signifikant. Jedoch variierte die häufigste Art, die diesen Index bestimmt, über die Jahre. Auf beiden Standorten waren Kamille-Arten im Ansaatjahr die häufigsten Unkrautarten. Im dritten Standjahr waren auf beiden Standorten Gräserarten häufig geworden: Rispengräser (*Poa sp.*) in Malchow und Ruchgras (*Anthoxanthum odoratum*) in Rostock. Hier waren außerdem auf etlichen Parzellen ausdauernde Hornkräuter (*Cerastium sp.*) sehr häufig.

Diskussion

Die Saatgutmischung BG 70 wird vom Hersteller als Mischung mit ökologischem Schwerpunkt beschrieben (SAATEN ZELLER, 2017). Im Gegensatz zu Mischungen mit ökonomischem Schwerpunkt werden solche Mischungen auf kleinen Teilflächen oder an Schlagrändern angesät, wo sie auf jeden Fall eine Bereicherung für die Diversität der Landschaft darstellen. Für das Ziel der Biodiversitätsförderung geht das Konzept der Mischung von ein-, zwei- und mehrjährigen Arten auf. Die deutlich unterschiedlichen Bestände in den drei Standjahren können in der Landschaft zu erhöhter β -Diversität führen, wenn jährlich andere Flächen neu angesät werden. Damit steigert

die Artenmischung die β -Diversität stärker, als es die Einführung einer neuen Kultur für den Monokultur-Biomasseanbau bewirken würde.

Die Abnahme des Artenreichtums über die Jahre war zu erwarten gewesen, da ein- und zweijährige Arten in den Folgejahren ausfielen. Diese Arten konnten sich auch kaum aus Samen regenerieren. Überraschend ist, dass die Wildpflanzendichte nicht ebenfalls mit den Jahren abnahm. Das mag der geringen Anzahl aufgelaufener Sonnenblumen und Buchweizenpflanzen geschuldet gewesen sein. Die Samen beider Arten werden gerne von Vögeln gefressen und werden wegen der Saat auf die Bodenoberfläche auch leicht von Prädatoren entdeckt. Dass lediglich drei Arten im dritten Anbaujahr die Bestände dominierten, ist bei elf angesäten Mehrjährigen einerseits enttäuschend. Andererseits zeigen Äquivalentartenzahlen über drei eine bedeutend erhöhte Biodiversität im Vergleich zu jeder Monokultur an. Ebenso deutlich zeigen Berger-Parker-Indizes über zwei an, dass die jeweils dominierende Art nicht mehr als die Hälfte der Gesamtdichte ausmachte, dass also kleinräumig auch im dritten Standjahr ein heterogener Bestand etabliert war. Die dominierenden Arten Rainfarn und ein Verwandter des hier verwendeten Gemeinen Beifuß, der Wermut (*Artemisia absinthium*), werden auch in Polen als zukünftige Energiepflanzen getestet (CIESIELCZUK et al., 2016).

Die Unkrautdichte lag im Ansaatjahr um die 130 Pflanzen/m². Das entspricht einer mittleren Verunkrautung, wie sie auf unbehandelten Maisäckern zu dieser Jahreszeit üblich ist (DE MOL et al., 2015). Der Wildpflanzenbestand war auch ohne Herbizideinsatz konkurrenzkräftig genug zur Unkrautunterdrückung, so dass die Verunkrautung über die Jahre signifikant abnahm. Die Unkrautdiversität nahm nur hinsichtlich des Artenreichtums von Jahr zu Jahr signifikant ab. Es kam zu einer Artenverschiebung hin zu einem höheren Grasanteil und ausdauernden Arten, wie sie für eine Sukzession gemähter Feldränder typisch ist (DE CAUWER et al., 2005). Im Bereich der Skala der Landschaft bedeutet das auch im Unkrautbereich eine erhöhte β -Diversität.

Es lässt sich das Fazit ziehen, dass die untersuchte Wildpflanzenmischung ein hohes Potential zur Steigerung der Agrarbiiodiversität zeigte, ohne dass Unkraut auf dem Feld in den ersten Jahren des Anbaus problematisch wurde.

Danksagung

Diese Studie wurde vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) in Projektträgerschaft der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) gefördert (FKZ 22401114).

Literatur

- CIESIELCZUK, T., J. POLUSZYŃSKA, C. ROSIK-DULEWSKA, M. SPOREK und M. LENKIEWICZ, 2016: Uses of weeds as an economical alternative to processed wood biomass and fossil fuels edicated biomass. *Ecological Engineering* **95**, 485-491.
- DE CAUWER, B., D. REHEUL, K. D'HOOGHE, I. NIJS und A. MILBAU, 2005: Evolution of the vegetation of mown field margins over their first 3 years. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **109**, 87-96.
- DEGENBECK, M., 2015: Ansaat von artenreichen Wildpflanzenmischungen für die Biogasproduktion. *KTBL-Schrift* **508**, 248-261.
- DE MOL, F., C. VON REDWITZ und B. GEROWITT, 2015: Weed species composition of maize fields in Germany is influenced by site and crop sequence. *Weed Research* **55**, 574-585.
- HAUGHTON, A.J., D.A. BOHAN, S.J. CLARK, M.D. MALLOTT, V. MALLOT, R. SAGE und A. KARP, 2016: Dedicated biomass crops can enhance biodiversity in the arable landscape. *GCB Bioenergy* **8**, 1071-1081.
- R CORE TEAM, 2017: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- SAATEN ZELLER, 2017: Energie aus Wildpflanzen: gute Erträge bei geringem Aufwand, Förderung der Tierwelt und Aufwertung der Agrarlandschaft mit cleveren Saatgut-Mischungen. http://www.saaten-zeller.de/landwirtschaft/biogas-i_Zugriff am 30.9.2017.
- TSCHARNTKE, T., A.-M. KLEIN, A. KRUESS, I. STEFFAN-DEWENTER und C. THIES, 2005: Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecology Letters* **8**, 857-874.
- VOLLRATH, B., A. WERNER, M. DEGENBECK und C. MARZINI, 2015: Energetische Verwertung von kräuterreichen Ansaaten in der Agrarlandschaft - eine ökologische und wirtschaftliche Alternative bei der Biogasproduktion (Phase II), Schlussbericht. https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/energie_aus_wildpflanzen_abschlussber_fnrii_in.pdf. Zugriff am 30.9.2017.

Wildpflanzen-Samen in der Biogas-Anlage: Screening des Überlebensrisikos verschiedener Arten

Wildflower seeds in the biogas reactor: Screening the risk of survival of different species

Juliane Hahn*, David Parzych, Julia Schulz, Paula R. Westerman, Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Phytomedizin, Satower Straße 48, 18059 Rostock

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

DOI 10.5073/jka.2018.458.006



Zusammenfassung

Wenn Pflanzen-Samen in eine Biogas-Anlage gelangen, besteht das Risiko, dass sie die anaerobe Vergärung überleben und mit Ausbringung des Gärrestes verbreitet werden. Neuerdings kommt durch den Einsatz von Blümmischungen eine Vielzahl von Wildpflanzen-Samen mit dem Biogas-Prozess in Kontakt. Das von diesen Arten ausgehende Kontaminationsrisiko lässt sich derzeit nicht verlässlich abschätzen, da systematische Forschung zur Überlebensfähigkeit von Pflanzensamen fast vollständig fehlt. Um dem abzuhelfen bietet sich die Überprüfung der Thermoresistenz der Arten an, da Temperatur und Verweildauer die wichtigsten Parameter sind, von denen das Überleben der Samen in Biogas-Anlagen abhängt.

Wir haben das Überleben von 11 Wildpflanzen-Arten aus verschiedenen Familien unter den Temperatur-Bedingungen einer mesophilen Biogas-Anlage mit einem Screening im Wasserbad untersucht. Die Samen wurden bei 42 °C und pH 7 in einer wässrigen Lösung inkubiert und ihre Lebensfähigkeit über einen Zeitraum von bis zu 18 Tagen bestimmt. Zur Validierung der Ergebnisse wurden Samen ausgewählter Arten einer anaeroben Vergärung bei 42 °C im Labormaßstab ausgesetzt.

Die mittlere Inaktivierungszeit unterschied sich bei 8 der 11 untersuchten Wildpflanzen-Arten signifikant, wobei 6 Arten nur sehr langsam bzw. nicht vollständig inaktiviert wurden. Bei diesen Arten besteht das Risiko, dass sie mit dem Gärrest verbreitet werden. Mit Hilfe des Wasserbad-Screenings ließ sich das Überlebensrisikos der Samen in der mesophilen, anaeroben Vergärung verlässlich abschätzen.

Stichwörter: Biogas-Reaktor, Temperatur, Thermoresistenz, Überlebens-Risiko, Wildpflanzen-Arten

Abstract

If plant seeds enter a biogas reactor there is the risk of surviving anaerobic digestion and spreading with the digestate application. Recently, a large number of wildflower species can enter the biogas chain due to the use of wildflower seed mixtures for the production of biogas. The contamination risk associated with these species cannot be reliably estimated as there is a lack of systematic research on the survival of seeds from different plant species. As seed survival in biogas plants mainly depends on temperature and exposure time, the investigation of the species' thermoresistance is a first step to close this gap of knowledge.

We investigated the survival of 11 wildflower-species from different families in a waterbath at 42 °C and pH 7, conditions that are usually encountered in a mesophilic biogas plant. Seeds were incubated in a buffer solution and their viability was determined during 18 days of exposure. Additionally, seeds of selected species were exposed to anaerobic digestion at 42 °C in an experimental reactor.

The mean inactivation time differed significantly between 8 species. Inactivation was very slow or even lacking for 6 species, suggesting that these species could be dispersed with the digestate. The waterbath-screening of thermoresistance allowed for reliable estimation of the probability of seed survival in mesophilic, anaerobic digestion.

Keywords: Biogas reactor, probability of survival, temperature, thermoresistance, wildflower species

Einleitung

Mit der Ernte von Biomasse gelangen auch Pflanzensamen in den Biogas-Reaktor. Wenn sie die anaerobe Vergärung überleben, besteht das Risiko, dass sie mit Ausbringung des Gärrestes verbreitet werden. In einer Literaturstudie identifizierten WESTERMAN und GEROWITT (2013) Wildpflanzen mit harten Samen (physikalische Dormanz), hoher Thermoresistenz, einer dicken Samenschale oder mit Anpassungen an Endozoochorie als Hochrisiko-Arten für das Überleben in Biogasreaktoren. Die Mechanismen hinter dieser erhöhten Widerstandsfähigkeit sind allerdings zumeist unbekannt. Studien umfassen nur wenige Arten. Systematische Forschung zur

Überlebensfähigkeit von Pflanzensamen fehlt fast vollständig (WESTERMAN und GEROWITT, 2013). Dies ist vor dem Hintergrund der zunehmenden Zahl an Herbizidresistenzen von (Mais-) Unkräutern (GEROWITT, 2012) und dem Einsatz von artenreichen Blümmischungen für die Biogasproduktion (z.B. www.saaten-zeller.de) problematisch, wenn man das Ziel verfolgt den Einsatz von Herbiziden zu verringern und Florenverfälschung zu vermeiden. Denn im Moment ist vollkommen unklar, ob das Risiko besteht, dass diese Arten überleben mit dem Gärrest verbreitet werden.

Für den Einstieg in die systematische Forschung zur Überlebensfähigkeit von Wildpflanzen-Samen im Biogas-Prozess bietet sich die Überprüfung der Widerstandsfähigkeit der Arten gegenüber der Temperatur an. Temperatur und Verweildauer sind die wichtigsten Parameter, von denen das Überleben der Samen in Biogas-Anlagen abhängt (WESTERMAN und GEROWITT, 2013). Aufbauend auf den Experimenten zur „Bedeutung der Temperatur für die Inaktivierung von Samen im Biogas-Reaktor“ (HAHN et al., 2016) haben wir in dieser Studie, die Thermoresistenz mehrerer Wildpflanzen-Arten aus verschiedenen Familien mit einem kostengünstigen und leicht reproduzierbaren Screening im Wasserbad verglichen.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial

In Anlehnung an die Temperatur in mesophil betriebenen Biogasanlagen (HAHN et al., 2016) wurde das Überleben von Samen bei 42 °C am Beispiel von 11 verschiedenen Pflanzenarten untersucht (Tab. 1). Die Auswahlkriterien waren, dass (1) ein Eintrag in die Biogas-Prozesskette wahrscheinlich war, (2) möglichst viele verschiedene Pflanzen-Familien vertreten waren und (3) Arten mit Eigenschaften, die eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegenüber einer anaeroben Vergärung vermuten lassen.

Tab. 1 Untersuchte Pflanzenarten mit Familienzugehörigkeit, Eintragspfad in die Biogas-Anlage und Herkunft des Saatgutes für diese Studie.

Tab. 1 Examined plant species, plant family, pathway to enter a biogas-plant, and origin of seeds used in this study.

Familie	Art		Eintragspfad	Herkunft
Amaranthaceae	Chenopodium album	Weißer Gänsefuß L.	Mais-Unkraut	Aufs. D ^a
Apiaceae	Daucus carota	Wilde Möhre L.	Blümmischung ¹	HS ^b
Asteraceae	Ambrosia artemisiifolia	Beifußblättrige Ambrosie L.		Aufs. USA ^c
Asteraceae	Centaurea nigra	Schwarze Flockenblume L.	Blümmischung ¹	SZ ^d
Fabaceae	Melilotus officinalis	Gelber Steinklee (L.) PALL.	Blümmischung ¹	AW ^e
Malvaceae	Malva alcea	Rosen-Malve L.	Blümmischung ¹	AW ^e
Malvaceae	Malva sylvestris	Wilde Malve L.	Blümmischung ¹	SZ ^d
Poaceae	Cynodon dactylon	Bermudagrass (L.) PERS.		Kult. D ^f
Polygonaceae	Fallopia convolvulus	Windenknocherich (L.) Á. LÖVE	Mais-Unkraut	Aufs. D ^a
Polygonaceae	Polygonum aviculare	Vogelknocherich L.	Mais-Unkraut	Aufs. D ^a
Solanaceae	Lycopersicon esculentum	Tomate (L.), Sorte St. Pierre	Hygiene-Indikator ²	BH ^g

¹ Biogas-Blümmischung „BG70“ von Saaten Zeller^d; ³ Nachweis der phytohygienischen Unbedenklichkeit von Vergärungs- und Kompostierungsanlagen laut BioAbfV (BMU, 1998)

^a Aufsammlung auf Versuchsflächen der Universität Rostock (Deutschland) während der Kultivierung der Blümmischung „BG70“ 2014-2015; ^b Herbiseed Ltd., Twyford, UK; ^c Aufsammlung in Urbana, Illinois, USA, Oktober 2016 Illinois; ^d Saaten Zeller GmbH & Co. KG, Eichenbühl-Guggenberg, Deutschland; ^e Appels Wilde Samen GmbH, Darmstadt, Deutschland; ^f Ernte von Pflanzen im Treibhaus der Universität Rostock; ^g Bingenheimer Saatgut AG, Echzell-Bingenheim, Deutschland

Screening bei 42 °C im Wasserbad

Für das Screening des Überlebensrisikos bei 42 °C wurden die Samen aller Arten in einer Pufferlösung in Präzisions-Wasserbädern inkubiert, die auf 0,1 °C genau regelbar waren (WB-6, Firma witeg Labortechnik GmbH, Wertheim, Deutschland). Die Samen wurden nach einer

Oberflächensterilisation in Reagenzgläsern mit 5 ml 0,5 M HEPES Puffer (pH 7,0) versetzt und für 1, 3, 6, 9, 12 und 18 Tage bei 42 °C inkubiert. Pro Art und Expositionszeit wurden mindestens drei Replikate mit je 50 Samen untersucht. Nach den verschiedenen Expositionszeiten wurde die Lebensfähigkeit der Samen mittels Tetrazolium-Färbung bestimmt.

Anaerobe Vergärung bei 42 °C im Labormaßstab

Zur Überprüfung der Ergebnisse aus dem Wasserbad-Screening wurden Samen der Arten *C. album*, *D. carota*, *L. esculentum*, *M. alcea* und *M. officinalis* einer anaeroben Vergärung bei 42 °C im Labormaßstab ausgesetzt wie in HAHN et al. (2016) beschrieben. Zusammengefasst wurden die Samen in feinmaschige Polyester-Beutel eingenäht und in vier Replikaten in die mit Maissilage und Rindergülle betriebenen Laborreaktoren eingebracht. Die Samen von *C. album*, *D. carota* und *L. esculentum* wurden für 1, 3, 6 oder 9 Tage, die von *M. alcea* und *M. officinalis* für 3, 9, 18 und 36 Tage vergoren. Nach den unterschiedlichen Expositionszeiten wurden zunächst die Keimungsraten der Samen 21 Tage lang überprüft. Anschließend wurde die Lebensfähigkeit der Samen, die in den 21 Tagen nicht keimten, mittels Tetrazolium-Färbung getestet (WESTERMAN et al., 2012b). Aus der Summe der gekeimten und der laut Tetrazolium-Test lebensfähigen Samen wurde der Anteil vitaler Samen errechnet. Als Kontrolle wurde die Keim- und Lebensfähigkeit von unbehandelten Samen bestimmt. Dazu wurden sie zwei Tage vor Beginn der Tests im Dunkeln angequollen.

Statistische Auswertung

Der Anteil vitaler Samen während der Expositionszeit wurde mit Hilfe des Pakets „drc“ (RITZ und STREIBIG, 2015) für R (R CORE TEAM, 2017) modelliert. Grundlage der Modelle war eine log-logistische Funktion mit einer unteren Grenze bei 0: $F(t) = d / (1 + \exp[b(\log(t) - \log(MIZ))])$, mit „b“ – Parameter, der proportional zur Steigung von „F“ bei der Inkubationszeit „t“ ist; „d“ – maximaler Anteil an vitalen Samen; „MIZ“ – mittlere Inaktivierungszeit (d.h., Zeit nach der die Hälfte der ursprünglich vitalen Samen inaktiviert wurde). Es wurde ein Modell für das Screening aller Arten in der wässrigen Lösung erstellt. Daneben wurde für jede der fünf Arten, die zusätzlich der anaeroben Vergärung ausgesetzt wurden, je ein Modell berechnet, dass die Inkubation in wässriger Lösung und in der anaeroben Vergärung umfasste. Das Signifikanz-Niveau für den Vergleich der Modellparameter zwischen den Arten oder den Inkubationsvarianten wurde auf $\alpha < 0,05$ festgelegt.

Ergebnisse

In der anaeroben Vergärung erfolgte die Inaktivierung der Samen von *C. album*, *L. esculentum* und *M. alcea* signifikant schneller als in der wässrigen Lösung (Tab. 2). Auch bei *D. carota* war eine tendenziell schnellere Abnahme im Reaktor zu erkennen. Einzig das Modell für *M. officinalis* ergab eine um eine Größenordnung höhere mittlere Inaktivierungszeit in der Vergärung.

Tab. 2 Mittlere Inaktivierungszeit (MIZ) und Standardfehler (SF) von Wildpflanzen-Samen bei Inkubation in einer Pufferlösung (pH 7) und in der anaeroben Vergärung in einem Laborreaktor bei jeweils 42 °C. Sterne geben signifikante Unterschiede in der MIZ einer Art zwischen Pufferlösung und Vergärung an ($\alpha < 0,05$).

Tab. 2 Mean inactivation time (MIZ) and standard errors (SF) of wildflower seeds that were incubated at 42 °C in a buffer solution (pH 7) or in an anaerobic digestion in an experimental reactor. Asterisks indicate significant differences in MIZ of a species between buffer solution and digestion ($\alpha < 0,05$).

Art	Puffer		*	Vergärung	
	MIZ	±SF (Tage)		MIZ	±SF (Tage)
C. album	10,8	± 0,2	*	7,1	± 0,1
D. carota	1,2	± 0,1		0,0	± 0,0
L. esculentum	8,5	± 0,2	*	1,8	± 0,1
M. alcea	2,8	± 0,2	*	0,6	± 0,1
M. officinalis	319,6	± 261,8	*	3160,0	± 1289,0

Im Wasserbad-Screening bei 42 °C verloren die Samen der verschiedenen Wildpflanzen-Arten ihre Vitalität unterschiedlich schnell (Abb. 1), wobei sich die mittlere Inaktivierungszeit (MIZ) bei 8 der 11 Arten signifikant unterschied (Tab. 3).

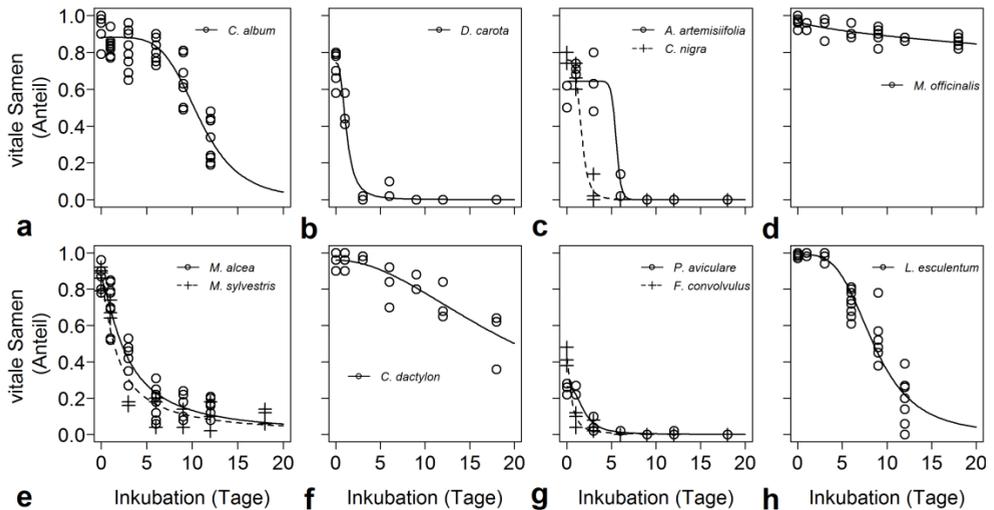


Abb. 1 Anteil vitaler Samen von Arten aus verschiedenen Pflanzenfamilien während der Inkubation in einer wässrigen Lösung mit pH 7 bei 42 °C. (a) Amaranthaceae, (b) Apiaceae, (c) Asteraceae, (d) Fabaceae, (e) Malvaceae, (f) Poaceae, (g) Polygonaceae, (h) Solanaceae.

Fig. 1 Proportion of viable seeds from species from different plant families during the incubation in a buffer solution with pH 7 at 42 °C. (a) Amaranthaceae, (b) Apiaceae, (c) Asteraceae, (d) Fabaceae, (e) Malvaceae, (f) Poaceae, (g) Polygonaceae, (h) Solanaceae.

Vertreter derselben Pflanzenfamilie zeigten einen ähnlichen Inaktivierungsverlauf (Abb. 1 c, e, g), was sich auch in einem gleichen „b“-Parameter der Modelle zeigte (Daten nicht gezeigt). Allerdings unterschied sich die MIZ zwischen den beiden Vertretern einer Familie signifikant (Tab. 3).

Tab. 3 Mittlere Inaktivierungszeit (MIZ) und Standardfehler (SF) von Wildpflanzen-Samen bei Inkubation in einer wässrigen Lösung mit pH 7 bei 42 °C. Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede zwischen Pflanzenarten an ($\alpha < 0,05$).

Tab. 3 Mean inactivation time (MIZ) and standard error (SF) of wildflower seeds that were incubated in a buffer solution with pH 7 at 42 °C. Lowercase letters indicate significant differences between plant species ($\alpha < 0.05$).

Familie	Art	MIZ (Tage)	SF (Tage)	
Polygonaceae	<i>F. convolvulus</i>	0,5	0,2	a
Apiaceae	<i>D. carota</i>	1,2	0,1	a
Asteraceae	<i>C. nigra</i>	1,6	0,2	b
Malvaceae	<i>M. sylvestris</i>	1,7	0,2	b
Polygonaceae	<i>P. aviculare</i>	1,9	0,4	bc
Malvaceae	<i>M. alcea</i>	2,8	0,2	c
Asteraceae	<i>A. artemisiifolia</i>	5,6	1,1	d
Solanaceae	<i>L. esculentum</i>	8,5	0,2	e
Amaranthaceae	<i>C. album</i>	10,8	0,2	f
Poaceae	<i>C. dactylon</i>	20,9	1,9	g
Fabaceae	<i>M. officinalis</i>	319,6	261,8	h

Mit MIZ von mehr als 1 Woche waren *L. esculentum*, *C. album*, *C. dactylon* und *M. officinalis* (Tab. 3) am widerstandsfähigsten gegenüber der Inkubation bei 42 °C in wässriger Lösung. Zudem wurden die Samen dieser vier Arten und der beiden Malvaceen im Versuchszeitraum nie vollständig inaktiviert.

Diskussion

Aussagekraft des Screenings in wässriger Lösung für Überleben in anaeroben Vergärungsprozessen

Die Ergebnisse aus dem Wasserbad-Screening wurden im Laborreaktor insofern bestätigt, als dass die Inaktivierung der Samen im Reaktor gleich schnell oder sogar beschleunigt verlief. Das Screening in wässriger Lösung stellt demnach eine konservative Schätzung des Überlebensrisikos der Samen einer Wildpflanzen-Art in anaeroben Vergärungsprozessen bei 42 °C dar. Durch die über den Messzeitraum hinausgehende MIZ und die sehr großen Standardfehler bei *M. officinalis* wurde allerdings deutlich, dass bei Arten mit Hartschaligkeit (ROLSTON, 1978) ein Versuchsdesign mit einer höheren Anzahl von Probenahmen in der Zeit notwendig ist. So könnte auch der bei hartschaligen Arten vermutete zweiphasige Inaktivierungsverlauf (WESTERMAN et al., 2012c; HAHN et al., 2016) sinnvoll in einem (biphasischen) Modell abgebildet werden (BECKON et al., 2008).

Überlebensrisiko verschiedener Wildpflanzen-Samen bei 42 °C

Die Samen von fünf der untersuchten Wildpflanzen-Arten starben innerhalb von 18 Tagen bei 42 °C ab, während die Samen der sechs anderen nur langsam (MIZ > 7d) oder nicht vollständig inaktiviert wurden.

Die nur langsam abnehmende Lebensfähigkeit der Samen von *C. album* könnte in Kombination mit den in Praxisanlagen gelegentlich auftretenden sog. „Kurzschluss“-Stoffströmen dazu führen, dass geringe Prozentsätze von *C. album*-Samen die Vergärung überleben und mit dem Gärrest verbreitet werden. Verschärfend kommt hinzu, dass zum Teil große Mengen an Samen von *C. album* in Biogas-Anlagen gelangen (WESTERMAN et al., 2012a). Dies unterstreicht auch aus phytohygienischer Sicht die Notwendigkeit der Prozess-Kontrolle mit einer ausreichend langen Verweildauer des Substrates vor allem durch die Prävention von Kurzschluss-Strömen, um die ungewollte Verbreitung dieser und anderer Wildpflanzen zu verhindern. Ferner wurde auch in dieser Studie deutlich (HAHN et al. 2016), dass die Tomate sich nicht als Hygiene-Leitorganismus für die phytohygienischen Unbedenklichkeit von Vergärungsanlagen (laut BioAbfV 1998) eignet. Das Überlebensrisiko der Samen von *L. esculentum* lag unter dem von *C. album* und war damit nicht höher als das der meisten anderen Arten.

Die höchste Temperaturreistenz zeigte *M. officinalis*, ein Vertreter der Fabaceen, der ebenso wenig vollständig inaktiviert wurde, wie die beiden untersuchten Malvaceen. In beiden Familien tritt das Phänomen der Hartschaligkeit auf (ROLSTON, 1978; BASKIN et al., 2000), das zu einer ungewöhnlichen Widerstandsfähigkeit gegenüber anaerober Vergärung führen kann (WESTERMAN und GEROWITT, 2013). Es würde sich demnach empfehlen, solche Arten aus Biogas-Blümmischungen auszuschließen. Neben der Hartschaligkeit identifizierten WESTERMAN und GEROWITT (2013) auch Anpassungen an Endozoochorie als Hochrisiko-Faktor für das Überleben von Unkrautsamen in Biogasreaktoren. Dies könnte die überraschend langsame Inaktivierung der Samen der nicht-hartschaligen, aber endozoochor verbreiteten Poacee *C. dactylon* (BURTON und ANDREWS, 1948; ANDERSON et al., 2014) erklären. In anderen Studien wurden Samen von Poaceen schnell und vollständig inaktiviert (JEYANAYAGAM und COLLINS, 1984; LEONHARDT et al., 2010; BAUTE et al., 2016). Beim derzeitigen Kenntnisstand kann eine verlässliche Abschätzung des Überlebensrisikos daher nur auf Artebene erfolgen. Um in Zukunft Aussagen auf höheren taxonomischen oder funktionellen Ebenen zu ermöglichen, sollten sich weiterführende Studien mit der Art und Verbreitung der der Temperaturreistenz zugrundeliegenden Mechanismen befassen.

Danksagung

Diese Studie wurde vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) in Projekträgerchaft der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) gefördert (FKZ 22401114).

Literatur

- ANDERSON, T.M., M. SCHÜTZ, A.C. RISCH und H.H. BRUUN, 2014: Endozoochorous seed dispersal and germination strategies of Serengeti plants. *Journal of Vegetation Science* **25**, 636–647.
- 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.
- BAUTE, K., D. ROBINSON, L. VAN EERD, M. EDSON, P. SIKKEMA und B. GILROYED, 2016: Survival of seeds from perennial biomass species during commercial-scale anaerobic digestion. *Weed Research* **56**, 258–266.
- BECKON, W.N., C. PARKINS, A. MAXIMOVIC und A.V. BECKON, 2008: A general approach to modeling biphasic relationships. *Environmental Science and Technology* **42**, 1308–1314.
- 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.
- BURTON, G.W. und J.S. ANDREWS, 1948: Recovery and Viability of Seeds of Certain Southern Grasses and Lespedeza Passed through the Bovine Digestive Tract. *Journal of Agricultural Research* **76**, 95–103.
- GEROWITT, B., 2012: Herbizidresistenz: Höchste Zeit zum Umdenken! *Top Agrar*, 104–108.
- HAHN, J., D. PARZYCH, P.R. WESTERMAN, M. HEIERMANN und B. GEROWITT, 2016: Die Bedeutung der Temperatur für die Inaktivierung von Samen im Biogas-Reaktor. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 123–129.
- JEYANAYAGAM, S.S. und E.R. COLLINS, 1984: Weed seed survival in a dairy manure anaerobic digester. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* **27**, 1518–1523.
- LEONHARDT, C., M. WEINHAPPEL, M. GANSBERGER, A. BRANDSTETTER, H. SCHALLY und E. PFUNDTNER, 2010: Untersuchungen zur Verbreitungsgefahr von samenübertragbaren Krankheiten, Unkräutern und austriebsfähigen Pflanzenteilen mit Fermentationsendprodukten aus Biogasanlagen. Endbericht zum Forschungsprojekt 100296/2.
- R CORE TEAM, 2017: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 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.
- 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.
- 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.

Maßnahmen gegen Jakobskreuzkraut *Senecio jacobaea* - langfristige Aspekte auf Wirksamkeit und biologische Vielfalt

Influence of different measures against Senecio jacobaea concerning efficacy and biological diversity

Bernd Augustin^{1*}, Susan Oehme², Gunter Mattern¹, Werner Roth³

¹Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen, Nahe, Hunsrück, Rüdeshheimerstr. 60, 55545 Bad Kreuznach

²Technische Hochschule Bingen, Berlinstr. 109, 55411 Bingen

³Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Eifel, Westpark 11, 54634 Bitburg

*Korrespondierender Autor, bernd.augustin@dlr.rlp.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.007



Zusammenfassung

Jakobskreuzkraut (*Senecio jacobaea*) bereitet zunehmend Probleme auf extensiv geführtem Grünland. Im Jahre 2011 wurde im Rahmen einer Masterarbeit ein Grünland-Großparzellen-Versuch unter Praxisbedingungen angelegt, um die Wirksamkeit verschiedener agronomischer und chemischer Bekämpfungsvarianten gegenüber *Senecio jacobaea* zu vergleichen. Neben Umbruch mit und ohne Glyphosatbehandlung, wurden Glyphosat mit Neueinsaat (ohne Umbruch) und Simplex (Fluroxypyr+Aminopyralid) mit und ohne Nachsaat geprüft. Ab Herbst 2011 bis 2017 wurden zusätzliche Düngungsvarianten (2 x 50 kg/ha bzw. 1 x 50 kg/ha Kalkammonsalpeter mit 27 % N pro Jahr) in Form von Kleinparzellen in die bestehende Versuchsfläche eingefügt.

Seit 2011 wird jährlich die Wirkung der verschiedenen Maßnahmen gegen *S. jacobaea* bonitiert. Darüber hinaus wird seit 2013 durch Vegetationsaufnahme nach Braun-Blanquet 1964 die Bestandszusammensetzung erhoben.

Alle Maßnahmen hatten bis einschließlich 2016 eine dauerhafte Wirkung gegen Jakobskreuzkraut. Darüber hinaus war eine statistisch signifikant verringerte Anzahl an dikotylen Arten feststellbar. Der Unterschied zwischen den Varianten blieb diesbezüglich vergleichsweise gering. Die regelmäßige Düngung führte zu ähnlichen Effekten wie eine einmalige Anwendung von Herbiziden oder Umbruchmaßnahmen. Die stärkste Verringerung der Artenzahl war bei einmaliger Simplex-Anwendung mit nachfolgender regelmäßiger Düngung feststellbar.

Die Untersuchungen belegen, dass Jakobskreuzkraut sowohl mit Herbiziden, als auch mit Umbruch oder Düngungsmaßnahmen wirksam zu kontrollieren ist. Allerdings ist dies nicht ohne einen Verlust an Biodiversität (Reduzierung der Artenzahl dikotyler Pflanzen) zu erreichen.

Stichwörter: Aminopyralid, Düngung, Fluroxypyr, Glyphosat, Jakobskreuzkraut, Nachsaat, Neueinsaat, *Senecio jacobaea*, Simplex, Umbruch

Abstract

Ragwort (*Senecio jacobaea*) is causing increasing problems on extensively managed meadows and pastures. On behalf of a Master's thesis a pasture trial was conducted 2011 under practical conditions using farm equipment. The efficiency of agronomic measures and different herbicides were tested against Common Ragwort. Besides turning of soil with and without glyphosate-treatment, reseeding after glyphosate-treatment (without ploughing up) and application of Simplex (Fluroxypyr+Aminopyralid) with and without complementary seeding were tested. Since autumn 2011 additional mineral fertilisation treatments were regularly given on small plots within the existing experimental area (2 x 50 kg/ha and 1 x 50 kg/ha calcium ammonium nitrate with 27% N+year) and the efficacy of the different measures against *S. jacobaea* was evaluated. Furthermore vegetation assessments were made once a year according to Braun-Blanquet 1964.

Analysis of the results demonstrated, that every measure tested within the field trial had a long lasting effect against *S. jacobaea*, turning of soil as well as fertilisation or herbicide application. However it always caused a reduction of biodiversity (number of dicotyledons).

Keywords: Aminopyralid, complementary seeding, fluroxypyr, glyphosate, mineral fertilisation, Ragwort, reseeding, *Senecio jacobaea*, Simplex, turning of soil

Einleitung

Kreuzkrautarten (*Senecio* ssp.) wurden in den letzten Jahren als Problemunkräuter auf extensiv genutztem Grünland erkannt. Zu den häufigsten Vertretern der Gattung gehört das Jakobskreuzkraut (*S. jacobaea*), eine einheimische Art, die deutschlandweit verbreitet ist. Hinzu kommen weitere Arten mit regional unterschiedlich großer Bedeutung. Die Keimung von Kreuzkräutern wird gefördert durch offene Böden und die lichtbedürftigen Pflanzen etablieren sich besonders gut in lichten, ungedüngten Pflanzenbeständen. Rationalisierungs- und Extensivierungsmaßnahmen, sowie die Rekultivierung selbst begrünter Ackerbrachen, haben zu einer Ausdehnung von extensiv bewirtschafteten Flächen und damit auch zu einer deutlichen Zunahme der Kreuzkrautdichte geführt. Problematisch sind bestimmte Inhaltsstoffe (Pyrrolizidin-Alkaloide), die in allen Kreuzkräutern enthalten sind. Sie entfalten insbesondere über konserviertes Viehfutter eine schleichende, chronisch toxische und irreversible Wirkung (Anreicherung). Das Gefahrenpotenzial von belastetem Rohfutter wurde lange Zeit verkannt, nicht zuletzt, weil die verschiedenen Nutztierarten unterschiedlich sensibel reagieren. Am empfindlichsten sind bekanntlich Pferde. Mittlerweile hat die öffentliche Diskussion um einen möglichen Eintrag von Pyrrolizidin-Alkaloiden in die menschliche Nahrungskette (z.B. über Kräutertees, Honig) ein erhöhtes Problembewusstsein geschaffen. Im Rahmen der folgenden Untersuchungen wurde die Nachhaltigkeit unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen von Extensivgrünland im Hinblick auf die Unterdrückung von *Senecio jacobaea* und den Einfluss auf die Biodiversität überprüft.

Material und Methoden

Auf der seit 2004 extensiv bewirtschafteten Naturschutz-/Grünlandfläche (Tab. 1) in der Gemarkung Neumagen-Drohn war ein zunehmender Besatz mit Jakobskreuzkraut zu verzeichnen.

Tab. 1 Angaben zum Versuchsstandort Neumagen-Drohn.

Tab. 1 Characteristics of the experimental site Neumagen-Drohn.

Höhenlage (m über NN)	139
Niederschläge (langjähriges Mittel in mm)	675
Temperatur (langjähriges Tagesmittel °C)	10,0
Sonnenscheindauer (langjähriges Mittel in h/Jahr)	1495
Bodenpunkte	34 - 42
Bodenart	skelettreicher sandiger Lehm
Humusgehalt in 0-30 cm	2,07 %

Das Versuchsdesign auf der Praxisfläche wird in Abbildung 1 skizziert. Die Herbizidvarianten (Tab. 2, Var. 2 + 3 sowie 5 + 6) wurden in vierfacher Wiederholung und zufälliger Verteilung mit der Feldspritze des Landwirtes (Fa. Rau) mit 12 m Arbeitsbreite, Düsentyp JD 11004 mit 2,7 bar, entsprechend 300 l/ha Wasseraufwandmenge ausgebracht (ANONYM, 1998). Die ackerbaulichen Maßnahmen (Umbruch, Neu- bzw. Nachsaat) erfolgten zu den in Tabelle 2 aufgeführten Terminen mit den angegebenen Aufwand- und Saatmengen.

Ab dem Herbst 2011 wurden ergänzend Düngungsvarianten in Form von Kleinparzellen (4 x 6 m) in den bestehenden Großparzellenversuch integriert und in den nachfolgenden Jahren regelmäßig wiederholt (Tab. 3).

Die Düngevariante in der Simplexvariante wurde ab Herbst 2011 regelmäßig durchgeführt.

Die Düngefenster auf der Kontrollfläche wurden ab Herbst 2013 angelegt. Da sich bei den Vegetationsaufnahmen kaum Unterschiede zwischen a) (2 x 50 kg N/ha) und b) (1 x 50 kg N/ha) ergaben (Tab. 3), wurden die Ergebnisse zusammengefasst.

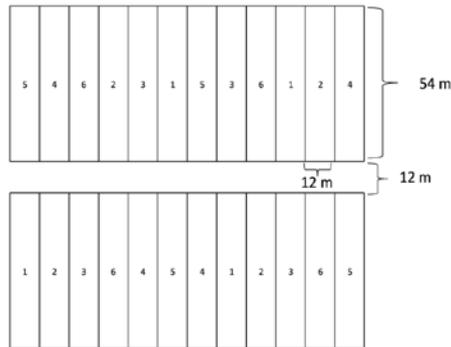


Abb. 1 Versuchsanlage Neumagen-Drohn (Verteilung der Varianten 1-6).

Fig. 1 Experimental design at Neumagen-Drohn (arrangement of treatments 1-6).

Abgesehen von den Düngungsvarianten wurde die gesamte Versuchsfläche aus Naturschutzaspekten ohne Düngereinsatz extensiv bewirtschaftet. Es erfolgte lediglich ein später Heuschnitt. Lediglich auf den Düngungsvarianten mit 2 x 50 kg N/ha im Jahr erfolgte eine zweite Schnittnutzung im Herbst.

Tab. 2 Herbizidvarianten und ackerbauliche Maßnahmen auf den Großparzellen der Versuchsfläche Neumagen-Drohn.

Tab. 2 Herbicide treatments and agronomical measures at the on-farm experimental site of Neumagen-Drohn.

Vgl.	Varianten	Code	l/ha	Termine (2011)	Saatgut (kg/ha)
1	Kontrolle	K			
2	Roundup Ultra (Glyphosat 360 g/l) + Neuansaat*	Rp+Ns	4	21.04./13.05.	34
3	Simplex (Fluroxypyr+Aminopyralid 100+30 g/l) + Nachsaat*	Sx+Ns	2	21.04./13.05.	20
4	Umbruch + Neuansaat*	U+Ns		28.04./13.05.	34
5	Roundup Ultra (Glyphosat 360 g/l) + Umbruch + Neuansaat*	Rp+U+Ns	4	21.04./28.04./ 13.05.	34
6	Simplex (Fluroxypyr+Aminopyralid 100+30 g/l)	Sx	2	21.04.	

* Country Horse 2120 Balance, DSV - Ansaatmischung aus reinen Gräserkomponenten

Die Vegetationsaufnahmen erfolgten gemäß BRAUN-BLANQUET (1964) auf Flächen mit jeweils 4 x 6 m in Abhängigkeit von der Witterung in der letzten Mai- oder ersten Juniwoche (zwei fixe Aufnahmeflächen/Versuchsglied). Die für die Verrechnung erforderliche Datentransformation wurde nach HAEUPLER (1982) durchgeführt.

Tab. 3 Düngungsvarianten innerhalb des Großparzellenversuches in Neumagen-Drohn.

Tab. 3 Fertilizer treatments as plot in plot trial at the experimental site of Neumagen-Drohn.

Vgl.	Varianten	kg N/ha/J	
1	Kontrolle (keine Düngung) innerhalb Var. 1/3/6	0	
2*	NPK / Kalkammon innerhalb Var. 1	a: 2 x 50 b: 1 x 50	a: abwechselnd Herbst u. Frühjahr (n=4) b: nur im Frühjahr (n=4)
3**	NPK / Kalkammon innerhalb Var. 3/ 6	2 x 50	abwechselnd Herbst u. Frühjahr (n=4)

*ab 2013; **ab 2011

Die statistische Verrechnung erfolgte als Varianzanalyse der Vegetationsdaten innerhalb des jeweiligen Erfassungsjahres. Statistisch signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) der Varianten im Vergleich zur Kontrolle sind in den Abbildungen optisch hervorgehoben wenn sie größer waren als die ermittelte Grenzdifferenz.

Ergebnisse

Der Gesamtdeckungsgrad sämtlicher Varianten zeigte in keinem Versuchsjahr signifikante Unterschiede (Abb. 2). Lediglich die Düngungsvarianten bewirkten tendenziell eine leichte Steigerung.

Die Bestandszusammensetzung zeigte dagegen deutliche Unterschiede was die Anzahl der vorkommenden Arten angeht. Abgesehen von der Variante 6 (Simplex solo) im Jahre 2016 hatten alle Varianten einen signifikant reduzierenden Effekt auf die Anzahl dikotyler Arten im Vergleich zur Kontrolle des jeweiligen Erhebungsjahres (Abb. 3). Den stärksten Effekt hatte die Variante Simplex+Düngung. Sie bewirkte eine statistisch abgesicherte Verringerung der Artenanzahl verglichen mit der unbehandelten Kontrolle und den Varianten Simplex solo (Var. 6) sowie der Düngungsvariante Kontrolle+Düngung. Dazwischen lag, statistisch nicht absicherbar, die Maßnahme Simplex+Nachsaat (Var. 3). Umbruchmaßnahmen (Var. 4 und 5) zeigten in der Tendenz einen etwas stärker reduzierenden Effekt als die Variante Roundup+Nachsaat (Var. 2).

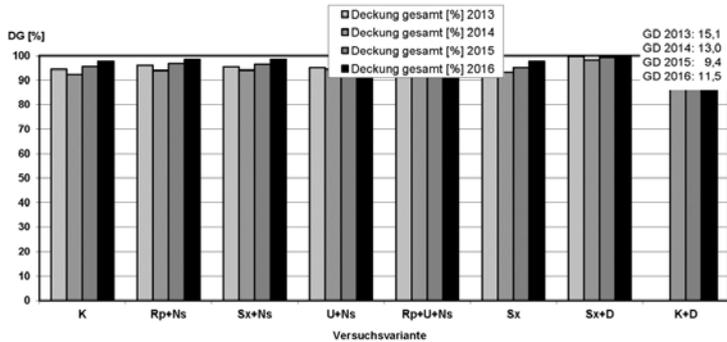


Abb. 2 Gesamtdeckungsgrad (%) an Gräsern und Kräutern auf der Versuchsfläche in Neumagen-Drohn.

Fig. 2 Coverage (%) of mono- and dicotyledonous species at Neumagen-Drohn.

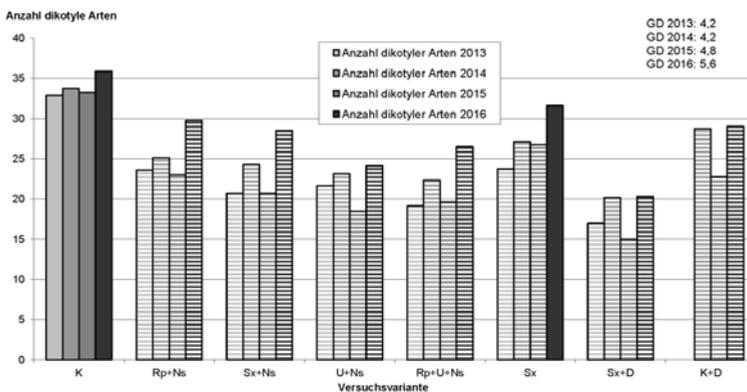


Abb. 3 Anzahl dikotyler Pflanzenarten auf der Versuchsfläche in Neumagen-Drohn (statistische Absicherung innerhalb der Versuchsjahre schraffiert).

Fig. 3 Number of dicotyledonous species at Neumagen-Drohn (statistical significance within experimental year shaded).

Die Jahreswitterung hatte einen erheblichen Einfluss auf das Auftreten von Jakobskreuzkraut. Insbesondere 2016 waren zahlreiche Blütentriebe vorhanden. Aufgrund eines Boniturfehlers konnte die Anzahl der vegetativen Rosetten 2016 leider nicht ausgewertet werden. Alle Versuchsvarianten erzielten eine andauernde, signifikante Kontrolle des Jakobskreuzkrautes. Erst 2016, fünf Jahre nach den ersten Maßnahmen zeigten sich statistisch relevante Unterschiede zwischen den verschiedenen Maßnahmen. Simplex-Anwendung in Verbindung mit zusätzlichen Maßnahmen (+Düngung bzw. +Nachsaat) und die Umbruch-Varianten bewirkten absicherbar höhere Wirkungsgrade gegenüber Jakobskreuzkraut im Vergleich zu Roundup+Nachsaat (Abb. 4).

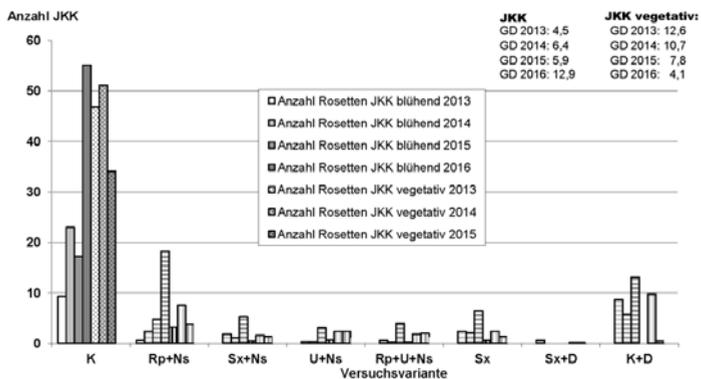


Abb. 4 Anzahl blühender und vegetativer Jakobskreuzkrautrosetten auf der Versuchsfläche in Neumagen-Drohn (statistische Absicherung innerhalb der Versuchsjahre schraffiert).

Fig. 4 Number of *S. jacobaea* (vegetal and flowering) at Neumagen-Drohn.

Der Deckungsgrad entomophiler Blüten ist ein Indikator für das Nahrungsangebot, das der Insektenfauna zur Verfügung steht. In Tabelle 4 sind die Pflanzenarten aufgeführt, die zum Boniturzeitpunkt in der Blüte waren und damit am Deckungsgrad entomophiler Blüten beteiligt waren. Dieser wurde von allen Maßnahmen dauerhaft negativ beeinflusst (Abb. 5).

Tab. 4 Zum Untersuchungszeitpunkt blühende Insektenbestäubende Arten.

Tab. 4 Flowering, insect pollinated species during evaluation period.

Botanischer Art-Name	Deutscher Art-Name
<i>Crepis biennis</i>	Wiesen-Pippau
<i>Galium album</i>	Weißes Labkraut
<i>Heracleum sphondylium</i>	Wiesen-Bärenklau
<i>Hieracium bauhini</i>	Ungarisches Habichtskraut
<i>Hieracium piloselloides</i>	Florentiner Habichtskraut
<i>Hypochaeris radicata</i>	Gewöhnliches Ferkelkraut
<i>Leucanthemum vulgare agg.</i>	Wiesen-Margerite
<i>Lotus corniculatus</i>	Gewöhnlicher Hornklee
<i>Ranunculus repens</i>	Kriechender Hahnenfuß
<i>Rhinanthus minor</i>	Kleiner Klappertopf
<i>Senecio jacobaea</i>	Jakobs-Kreuzkraut
<i>Trifolium campestre</i>	Feld-Klee
<i>Trifolium dubium</i>	Faden-Klee
<i>Trifolium hybridum</i>	Bastard-Klee
<i>Trifolium pratense</i>	Roter Wiesenklee
<i>Trifolium repens</i>	Weiß-Klee
<i>Vicia angustifolia</i>	Schmalblättrige Wicke
<i>Vicia hirsuta</i>	Rauhhaarige Wicke
<i>Vicia sepium</i>	Zaun-Wicke
<i>Vicia tetrasperma</i>	Viersamige Wicke

Den stärksten Effekt hatte die Variante Simplex+Düngung. Lediglich 2013 zeigten sich noch keine statistisch relevanten Unterschiede zwischen den Varianten. In den Folgejahren grenzten sich die Maßnahmen Simplex+Düngung sowie Umbruch+Nachsaat meist absicherbar von Simplex solo und Roundup+Nachsaat ab. Bei dem Vergleich der Maßnahmen untereinander zeigten die Varianten Simplex solo, Roundup+Nachsaat und Kontrolle+Düngung die geringste Beeinflussung der entomophilen Blütenstracht.

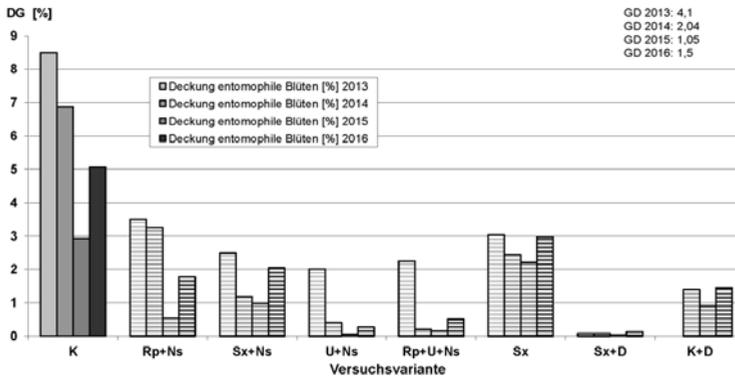


Abb. 5 Deckungsgrad (%) blühender Pflanzenarten auf der Versuchsfläche in Neumagen-Drohn (statistische Absicherung innerhalb der Versuchsjahre schraffiert).

Fig. 5 Coverage (%) of flowering plant species at Neumagen-Drohn (statistical significance within experimental year shaded).

Auf der Versuchsfläche war die Anzahl der Kompositenarten größer als die Zahl der Leguminosenarten, mit zunehmender Tendenz über die Jahre. Den geringsten Effekt auf die Leguminosen zeigte Roundup+Nachsaat, gefolgt von Umbruch+Nachsaat und Simplex solo.

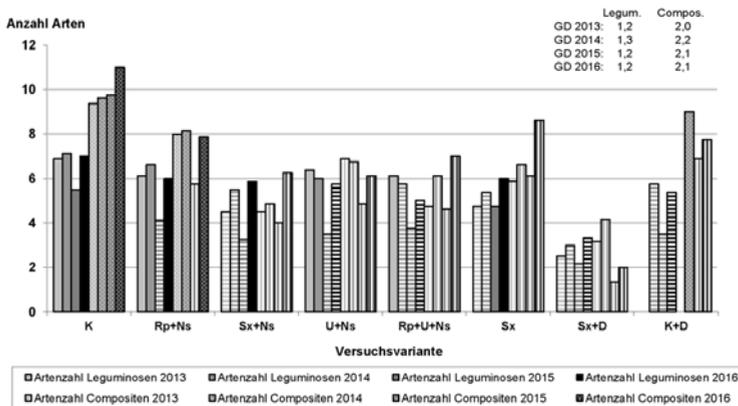


Abb. 6 Anzahl an Leguminosen- und Kompositenarten auf der Versuchsfläche in Neumagen-Drohn (statistische Absicherung innerhalb der Versuchsjahre schraffiert).

Fig. 6 Number of papilionaceae and compositae at Neumagen-Drohn (statistical significance within experimental year shaded).

Ansonsten hatten alle Maßnahmen nachhaltig reduzierende Effekte, sowohl auf die Leguminosen, als auch auf die Kompositen. Düngungsmaßnahmen wirkten sich, wie zu erwarten, stärker auf die Anzahl der Leguminosen als auf die Kompositen aus. Den stärksten Effekt auf beide

Pflanzenfamilien zeigte Simplex+Düngung. Die Maßnahme grenzte sich statistisch absicherbar in allen Jahren von den übrigen Varianten ab.

Diskussion

Das ursprüngliche Ziel der Versuchsanlage war eine dauerhafte Reduzierung von Jakobskreuzkraut. Es wurde mit allen Varianten erreicht, sowohl mit den chemischen, als auch von den pflanzenbaulichen oder kombinierten Maßnahmen. Das selektiv wirkende Simplex hatte dabei in Verbindung mit Düngung den höchsten Wirkungsgrad. Simplex solo, Simplex mit Nachsaat, die Umbruchvarianten oder die reine Düngungsmaßnahme konnten die Kreuzkräuter zwar nicht vollständig kontrollieren, aber offensichtlich erheblich reduzieren. Daher leisten die unterschiedlichsten Formen an Intensivierungsmaßnahmen im Rahmen der Grünlandbewirtschaftung einen wirkungsvollen Beitrag zur Kontrolle von Kreuzkrautarten. Es sind weitere Maßnahmen mit entsprechendem Potenzial vorstellbar, wie beispielsweise Schnitthäufigkeit und -zeitpunkt oder Steigerung der Stickstoffgaben. Eine Erhöhung der Bewirtschaftungsintensität bleibt natürlich nicht ohne Auswirkungen auf die Pflanzengesellschaft und damit möglicherweise angestrebte Naturschutzziele.

Alle geprüften Varianten blieben weitgehend ohne Einfluss auf den Gesamtdeckungsgrad der Vegetation. Allerdings hatten sie dauerhafte Auswirkungen auf die Bestandszusammensetzung. Insbesondere die Anzahl der dikotylen Pflanzenarten und damit die Biodiversität wurde nachhaltig reduziert. Dabei hatten die rein pflanzenbauliche Maßnahmen, wie beispielsweise Umbruch+Nachsaat oder Düngung, vergleichbare Effekte wie die Herbizidvarianten. Der selektive Einsatz von Simplex hatte den vergleichsweise geringsten Einfluss auf die Anzahl dikotyler Arten. In Kombination mit Düngung ergab sich allerdings die nachhaltigste, artenreduzierende Auswirkung, die deutlich über der reinen Düngungsvariante lag. Der gleiche Effekt zeigte sich bei dem Deckungsgrad entomophiler Blüten und der Anzahl an Leguminosen- und Kompositenarten. Die Umbruchvarianten hatten eine über die Jahre auffallend reduzierende Wirkung auf die Ausbildung entomophiler Blüten.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass alle geprüften Varianten die Biodiversität auf dem Grünland negativ beeinflussen und damit möglichen Naturschutzziele zuwider laufen. Es gilt daher im Einzelfall abzuwägen welche Maßnahme am besten geeignet ist ein anstehendes Problem zu lösen (z.B. Kreuzkräuter, Herbstzeitlose, Riesenbärenklau) und gleichzeitig die Ziele des Naturschutzes nicht zu vernachlässigen. In Abhängigkeit von den schützenswerten Arten kann dafür durchaus ein Umbruch oder der gezielte Einsatz eines Herbizides in Frage kommen.

Literatur

ANONYM, 1998: Guidelines for the efficacy evaluation of plant protection products, Vol. 4: herbicides and plant growth regulators EPPO, Paris, 67-73.

BRAUN-BLANQUET, J., 1964: Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer-Verlag Wien u. New York, 1-884.

HAEUPLER, H., 1982: Evenness als Ausdruck der Vielfalt in der Vegetation. Vaduz, J. Cramer-Verlag, 1 - 268.

Weed vegetation in organic winter cereals in the region of Mecklenburg-Vorpommern as influenced by site and management

Ackerunkrautvegetation ökologisch bewirtschafteter Wintergetreideflächen in Mecklenburg-Vorpommern unter dem Einfluss von Standort und Management

Merel A.J. Hofmeijer*, Henrike M. Lederer, Bärbel Gerowitt

University of Rostock, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences - Crop Health,
18051 Rostock, Germany

*Corresponding author, merel.hofmeijer@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.008



Abstract

Arable weeds are important theme in organic farming. In this study the weed densities and diversity in Mecklenburg-Vorpommern were studied. To achieve this, 17 fields of winter cereal on organic farms in the region were surveyed. Consequently the density of weeds was estimated within these fields in the months of June and July in 2016. This was combined with the management and site information of the surveyed fields. In total 69 different weed species were found. This was followed by an analysis of the effect of the soil and management variables on the weed density and diversity. From this analysis we found some significant influence of site and management variables.

Keywords: Autumn sown cereals, crop diversity, PRODIVA, weed diversity

Zusammenfassung

Ackerunkräuter sind in der praktischen ökologischen Landwirtschaft ein wichtiges Thema. Wir wollen die Dimensionen und die Artenvielfalt für die Region Mecklenburg-Vorpommern aufzeigen. Dafür wurde die Ackerunkrautvegetation von neun ökologisch bewirtschafteten Landwirtschaftsbetrieben in Mecklenburg-Vorpommern näher untersucht. Die Unkrautvegetation von 17 Wintergetreideflächen wurde im Juni und Juli 2016 erfasst. Es wurde auf den Wintergetreideflächen insgesamt 69 verschiedene Unkrautarten dokumentiert. Bei der Analyse der Daten stand die Frage im Mittelpunkt, ob sich signifikante Unterschiede in der Ackerunkrautvegetation aufgrund von standortabhängigen Parametern und Managementfaktoren quantifizieren lassen. Bei den Analysen fanden sich einige signifikante Unterschiede für Standort- und Managementfaktoren.

Stichwörter: Kulturvielfalt, PRODIVA, Unkrautartenvielfalt, Wintergetreide

Introduction

In organic agriculture a higher weed density and diversity is to be expected (BOND and GRUNDY, 2001), especially the increased densities can be a constrain on crop productivity (PENFOLD et al., 1995; TURNER et al., 2007). Therefore, frequently a system of weed management is implemented in organic farming, containing diverse crop rotations, ploughing and harrowing (BOND and GRUNDY, 2001). This leads to a reduction of weed density, diversity, and alteration of the weed population (AGHA and PALLUTT, 2006). Although desirable for farming purposes, this development is unfavorable for ecosystem services such as insect fauna (MARSHALL et al., 2003) and erosion control (ZWERGER and AMMON, 2002).

The PRODIVA project (HOFMEIJER et al., 2016) aims to study the effects of crop diversification strategies to improve weed management, but also still maintain a diverse weed flora. It researches the possible effects of crop diversity strategies on weed communities on farms, thus in practice and focuses on spring sown cereals in the Baltic Sea area. The region surveyed and studied in Germany is Mecklenburg-Vorpommern, which has the highest percentage of area under organic production nationwide (BMEL, 2016), and primarily produces organic cereal and beef (LFA, 2017). Like in any other organic arable system, weeds are a perpetual challenge, especially in a region with crop rotations dominated by cereals. However, while PRODIVA focuses on spring sown cereal, because it is a dominant crop in the Baltic region, in Mecklenburg-Vorpommern winter cereals are also an important crop in organic farming. Therefore, a separate survey was conducted in these

crops and constructed a more complete picture of the weed population in organic arable farming in this region (LEDERER, 2016).

The objectives of this study were to (I) survey the weed vegetation in winter cereals in the region, (II) study the effects of soil and crop management factors on the weed densities and diversity.

Materials and Methods

The weed survey took place in winter cereals on organic farms in the region of Mecklenburg-Vorpommern in Germany. During one summer (2016) 17 autumn sown cereal fields were surveyed at the flowering stage of the crop (Stage 61-69 of BBCH scale), after all weed management measures were finished.

Weed data

Fields were sampled for weed densities and diversity by using the method of HOFMEIJER et al. (2016) as seen in the PRODIVA project. This was done by estimating the individual density of all weed species found in a subplot of 100 m², with a triple replication in each field. These subplots were located randomly in the field, keeping at least 10 meter distance from the field boundary to avoid field edge effects. The density estimation was based on a classification scale, which included 10 density classes, exponentially increasing from 0.2 individuals per m² up to over 200 individuals per m². Some individuals could only be identified on genus level and therefore are recorded as such. Latin names are based on Rothmahler (JÄGER and WERNER, 2002).

Statistics

The dependant variables; Density, Shannon Index and α diversity were tested against the explanatory variables (Tab. 1) with the use of ANOVAs. Analyses were carried out using the program IBM SPSS Statistics Version 22 (2013).

Tab. 1 Explanatory variables.

Tab. 1 Erklärungsvariablen.

Explanatory variables	Catagorical variable Label	Continuous variable Unit
Soil quality ('Ackerzahl')		points
Soil type	'Loamy sand' or 'sandy loam'	
Rotation type	Dominated by 'summer'- or 'winter'- crops	
Rotation length		years
Length grass clover ley		years
Precrop	'Summer' or 'winter'	
Date of sowing		date
Rye	Crop is 'rye' or 'other winter cereal'	

Results and discussion

Weed species

Between 16 and 32 weed species were found on the 17 surveyed fields, the mean was 22 species. This is representative for German farms as HIMSTEDT and VAN ELSSEN (2006) found similar numbers on organic arable fields in Germany. *Polygonum convolvulus* was found on all fields (Tab. 2), and fits in with the poorer conditions of the region (HANF, 2002). Further annuals were typical for organic winter wheat and the regional sandy loamy soils, such as *Centaurea cyanus* and *Papaver rhoeas*. In total 49 annual and 20 perennial species were found. The most frequent perennials were *Cirsium arvensis* and *Elytrigia repens*, which are both highly competitive with the crop and challenging to remove, and for that reason a concern to the farmer (BÖHM and VERSCHWELE, 2004).

Tab. 2 The 20 most frequent weed species found, with their respective life cycle.**Tab. 2** Die 20 häufigsten Unkrautarten mit ihrer Lebensform.

Botanical name	Frequency	Annual	Summer annual	Winter annual	Summer+ Winter annual	Perennial
<i>Polygonum convolvulus</i>	17		x			
<i>Centaurea cyanus</i>	16			x		
<i>Myosotis arvensis</i>	16				x	
<i>Viola arvensis</i>	16				x	
<i>Poa trivialis</i>	16				x	
<i>Papaver rhoeas</i>	15			x		
<i>Polygonum aviculare</i>	15		x			
<i>Vicia species</i>	15				x	
<i>Veronica arvensis</i>	15				x	
<i>Cirsium arvense</i>	14				x	x
<i>Elymus repens</i>	13				x	x
<i>Stellaria media</i>	12	x				
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	11	x				
<i>Cerastium fontanum</i>	10					
<i>Geranium pusillum</i>	10				x	
<i>Trifolium pratense</i>	10					
<i>Chenopodium album</i>	9		x			
<i>Galeopsis tetrahit</i>	8		x			
<i>Matricaria chamomilla</i>	8				x	
<i>Marchantiophyta</i>	8					

Weed density and diversity

When we study Table 3 we look for significant effects ($p < 0.05$) and lesser effects or tendencies ($p < 0.1$). Densities were influenced only by the precrop. Here we found that a winter precrop brought down densities in comparison to a summer precrop, possibly by already suppressing the growth of summer annuals and providing cover in winter. Rye as a crop however decreased α diversity possibly because of rye crops are designated to have allelopathy effects on some weed species (BARNES and PUTMAN, 1986; OESAU, 2002). A winter crop as a precrop not only decreased weed densities, but also increased α diversity. However, we did not observe the same effects for a winter crop dominated rotation when studying the rotation type.

Diversity was mostly influenced in the form of α diversity; sandy soils had a higher diversity than loamy soils. However, we do need to keep in mind that the soil types did not vary greatly between farms. When the grass clover ley period was longer, the Shannon index increased without increasing the weed density. This is positive as a longer grass clover ley could also suppress the build-up of weeds with creeping root and weed patches (PEKRUN et al., 2003). The earlier the crop was sown the higher the Shannon index proved to be. Due to the longer growing period in autumn not only the crop can get well established before winter, but also more species get the chance to 'take root'. Besides, the weed densities did not increase when there was more time for germination, possibly because the soil was left undisturbed. An increased rotation length results in a longer time for the same crop sequence to be repeated, hence, the rotation was often more diverse. In these cases the α diversity also increased, showing the tendency of weed species to diversify under diverse crop conditions. However, this effect was not reflected in the Shannon index.

Tab. 3 P-value of the ANOVA (effects with tendency (< 0.10) and significance (< 0.05) in bold).

Tab. 3 P-Werte aus der ANOVA (Effekte mit Tendenz (< 0,10) und Signifikanz (< 0,05) fett).

Explanatory variables	Density	Shannon index	Diversity
	Number/m ²		α –diversity
Soil quality points	0.640	0.336	0.449
Soil type	0.350	0.808	0.027
Rotation type	0.918	0.191	0.191
Rotation length	0.230	0.813	0.088
Grass clover ley length	0.348	0.083	0.401
Precrop	0.003	0.733	0.070
Date of sowing	0.597	0.066	0.283
Rye	0.620	0.404	0.010

We proof that the choice for crop and precrop influences weed densities and diversity. Moreover, also other management choices proof to be important, such as the date of sowing and the length of both the rotation as well as the grass clover ley cultivated. As there was a tendency found in the rotation length, it would be interesting to go in more depth in rotation diversity, as many sources show a significant effect on the weed vegetation (PALLUTT, 1999; BOND and GRUNDY, 2001; ULBER et al., 2009) and a suppression of the density (BOND and GRUNDY, 2001; BÖHM, 2014).

References

- AGHA, J.M. and B. PALLUTT, 2006: Populationsdynamik der Unkräuter im integrierten und ökologischen Anbau am Beispiel des Getreides. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 385-92.
- BARNES, J.P. and A.R. PUTMAN, 1986: Evidence for Allelopathy by Residues and Aqueous Extracts of Rye (*Secale cereale*). Weed Science **34**(3), 384-390.
- BMEL – BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2016: Referat 516 – Ökologische Landbau, 2016. Ökologischer Landbau in Deutschland. BMEL, Bonn.
- BÖHM, H., 2014: Unkrautregulierung durch Fruchtfolge und alternative Managementverfahren. Julius-Kühn-Archiv **443**, 24-36.
- BÖHM, H. and A. VERSCHWELE, 2004: Ampfer- und Distelbekämpfung im ökologischen Landbau. Ressortforschung für den ökologischen Landbau, 39-48.
- BOND, W. and A.C. GRUNDY, 2001: Non-chemical weed management in organic farming systems. Weed Research **41**(5), 383-405.
- HANF, M., 2002: Ackerunkräuter Europas: Mit ihren Keimlingen und Samen. BVL Verlagsgesellschaft mbH, München.
- HIMSTEDT, M. and T. VAN ELSSEN, 2006: Vegetationskundliche Untersuchungen auf Äckern des ökologischen Landbaus am Beispiel ausgewählter Betriebe in Mittel- und Norddeutschland. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 597-604.
- HOFMEIJER, M.A.J., B. GEROWITT, J. SALONEN, T. VERWIJST, L. ZARINA and B. MELANDER, 2016: The impact of crop diversification management on weed communities in summer cereals on organic farms in Northern Europe. An introduction to the study. Julius-Kühn-Archiv **452**, 452-456.
- JÄGER, E.J. and K. WERNER, 2002: Rothmaler, Exkursionsflora von Deutschland -Gefäßpflanzen: Kritischer Band.
- LEDERER, H.M., 2016: Die Ackerunkrautvegetation ökologisch bewirtschafteter Wintergetreideflächen in Mecklenburg-Vorpommern unter dem Einfluss von Standort und Management. Bachelorarbeit, Studiengang Agrarwissenschaften, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock.
- LFA – LANDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FISCHEREI MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2017: <http://www.landwirtschaft-mv.de> [September 2017].
- 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**, 77-89.
- OESAU, A., 2002: Vegetationskundliche Untersuchungen im Projekt" Ökologische Bodenbewirtschaftung" in Wörrstadt-Rommersheim 1995-2004: Zwischenbericht 2000. In Bodenbearbeitung und Bodengesundheit: Zwischenergebnisse im Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung in Wörrstadt-Rommersheim, 47-56. Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Mainz und Stiftung Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim.
- PALLUTT, B.V., 1999: Einfluss von Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Herbizidanwendung auf Populationsdynamik und Konkurrenz von Unkräutern in Wintergetreide. Gesunde Pflanzen **51**(4), 109-120.
- PEKRUN, C., A. HÄBERLE and W. CLAUPEIN, 2003: Bedeutung von Grund- und Stoppelbearbeitung für die Kontrolle der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) im ökologischen Landbau. Landbauforschung Völknerode, 29-34.
- 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.
- 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**, 377-382.
- ULBER, L., H.H. STEINMANN, S. KLIMEK and J. ISSELSTEIN, 2009: An on-farm approach to investigate the impact of diversified crop rotations on weed species richness and composition in winter wheat. Weed Research **49**, 534-543.
- ZWARGER, P. and H.U. AMMON (Eds), 2002: Unkraut – Ökologie und Bekämpfung. Eugen Ulmer GmbH, Stuttgart.

Changes in weed community composition in a long-term trial with different crop rotations and herbicide treatments

Langzeitstudie über Veränderung der Unkrautflora unter dem Einfluss von Fruchtfolgen und Herbizidbehandlungen

Markéta Mayerová^{1,2*}, Jan Mikulka¹, Michaela Kolářová², Josef Soukup²

¹Crop Research Institute, Drnovská 507, 161 00 Prague 6, Czech Republic

²Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 129, 165 21 Prague 6, Czech Republic

*Corresponding author, mayerova@vurv.cz



DOI 10.5073/jka.2018.458.009

Abstract

The impact of herbicide application on weed community changes was studied in a long-term field experiment conducted since 1972 at two sites in the Czech Republic; Pernolec and Hněvčeves. The ongoing trial comprises multi-crop and simple crop rotations with 50 and 75% cereals, respectively. Three herbicide treatments were used: (1) untreated; (2) synthetic auxins (MCPA; 2,4-D; only in simple crop rotation) and (3) targeted herbicide combinations, including especially sulfonylureas, triazines, ureas and synthetic auxins. Weed species composition and weed density were assessed at the trial beginning, during the trial and in the present (2013-2016). Changes in weed flora composition were found out. In Hněvčeves, abundance of some species such as *Galium aparine*, *Stellaria media*, and *Vicia* spp. increased on untreated plots; the abundance of *Apera spica-venti*, *Fumaria officinalis*, and *Tripleurospermum inodorum* increased on treated plots. In Pernolec, some species receded in all variants, e.g. *Myosotis arvensis*, *Raphanus raphanistrum*, and *Scleranthus annuus*; the abundance of *Centaurea cyanus*, *Tripleurospermum inodorum*, *Veronica* spp., and *Spergula arvensis* increased in untreated plots. No significant differences affected by time and treatment were detected in population densities of *Apera spica-venti*, *Arabidopsis thaliana*, and *Stellaria media*. The species composition of the weed community was affected by explanatory variables in the following order: treatment < time < type of cultivated crop. The long-term study confirmed weed population shifts over time were caused by interaction between the management factors and environmental conditions.

Keywords: Crops, field trial, herbicides, long-term, weed changes

Zusammenfassung

Der Einfluss von Herbizidapplikationen auf die Unkrautartenverteilung wurde seit 1972 in einer Langzeitfeldstudie auf zwei Standorten in Pernolec und Hněvčeves, Tschechische Republik, untersucht. Der Versuch beinhaltet eine blattfruchtbetonte und eine getreidebetonte Fruchtfolge mit unterschiedlich hohen Getreideanteilen von 50 % beziehungsweise 75 %. Drei Herbizidbehandlungen wurden untersucht: (1) unbehandelt, (2) synthetische Auxine (MCPA, 2,4-D, nur in der getreidebetonten Fruchtfolge), (3) gezielte Herbizidapplikationen insbesondere Sulfonylharnstoffe, Triazine, Harnstoffe und synthetische Auxine. Sowohl die Zusammensetzung der Unkrautspezies als auch die Unkrautdichte wurden zu Beginn, während des Versuchs und detaillierter in den Jahren 2013-2016 ermittelt. Es wurden Veränderungen in der Zusammensetzung der Unkrautflora festgestellt. In Hněvčeves erhöhte sich die Häufigkeit einiger Arten wie *Galium aparine*, *Stellaria media* und *Vicia* spp. in den unbehandelten Parzellen. Wohingegen sich hier die Häufigkeit von *Apera spica-venti*, *Fumaria officinalis* und *Tripleurospermum inodorum* in den behandelten Parzellen erhöhte. In Pernolec nahm die Pflanzendichte einiger Arten (z. B. *Myosotis arvensis*, *Raphanus raphanistrum*, *Scleranthus annuus*) über alle Varianten hinweg ab. Die Häufigkeit der Arten *Centaurea cyanus*, *Tripleurospermum inodorum*, *Veronica* spp. und *Spergula arvensis* erhöhte sich in den unbehandelten Parzellen in Pernolec. Es wurden keine signifikanten Effekte durch Zeit und Behandlung auf die Populationsdichte von *Apera spica-venti*, *Arabidopsis thaliana* und *Stellaria media* festgestellt. Die Zusammensetzung der Unkrautspezies wurde zunehmend durch die Variablen Behandlung, Zeit und Typ der Kulturpflanze beeinflusst. Diese Langzeitstudie bestätigt Veränderungen in der Unkrautpopulation über die Zeit durch Interaktion zwischen Managementfaktoren und den Umweltbedingungen.

Stichwörter: Feldfrüchte, Feldversuch, Herbizide, Langzeitstudie, Veränderung der Unkrautflora

Introduction

Weed communities on arable land have been influenced by environmental factors (soil and climatic conditions) and farming practices (crop type, soil cultivation, weed control methods)

(LÉGÈRE et al., 2005; POTTS et al., 2010). The weed flora has changed in response to agricultural intensification accompanied with simplification of crop rotations (STOATE et al., 2001; MEYER, 2013) and excessive herbicide and fertilizer uses (STORKEY et al., 2010; SALONEN et al., 2012). Many surveys in various countries analyzed the relative importance of particular management factors on weed species composition (HYVÖNEN et al., 2003; STREIT et al., 2003; KELLER et al., 2004; ANDREASEN and STREIBIG, 2010). Some works suggested crop type as the major factor determining species composition, which is related to different farming practices in various types of crop (FRIED et al., 2008; LOSOSOVÁ and CIMALOVÁ, 2009; PINKE et al., 2012; NOWAK et al., 2015). Widespread use of herbicides has had the significant impact on weeds in the last 50 years. In general, repeated use of a single mode of action has resulted in weed communities shifting to an occurrence of herbicide-tolerant species (MARSHALL et al., 2003; MURPHY and LEMERLE, 2006). Available herbicides considerably changed over time and these changes had become a key factor in altering the abundance of weed population. Changes in chemical weed control contributed to less diversity of weed community and proliferation of tolerant species (MIKULKA et al., 2009; GRUNDY et al., 2010; MEYER, 2013). However some studies reported inconclusive effect of herbicide treatment on weed species diversity (DERKSEN et al., 1995; MAYOR and DESSAINT, 1998).

Although many works assessed the effects of herbicides on weed communities (DERKSEN et al., 1995; GRUNDY et al., 2009), weed shifts are rarely studied in the long-term. That is because of problems with determining history of changes in management practices and wide spectrum of active ingredients of herbicides (FRIED et al., 2008; PINKE et al., 2012; DE MOL et al., 2015). The objective of this study was to assess the long-term changes of weed community in the long-term experiment as a response to herbicide treatment and cultivated crops. We compared integrated approach of weed management (multi-crop rotation, targeted herbicide use) with less diversified approach: a) low input system with simple crop rotation and use of low-cost, mostly auxinic herbicides and b) simple crop rotation but with targeted herbicide use. The aim of this study was to determine long-term shifts of weed populations caused by herbicide application and cultivated crops.

Materials and Methods

Experimental sites

The long-term field trial has been conducted since 1972 at two experimental stations of the Crop Research Institute in the Czech Republic: Hněvčeves (50.31487 N, 15.71612 E) and Pernolec (49.77053 N, 12.68099 E). The site characteristics are listed in Table 1.

Tab. 1 Experimental site characteristics.

Tab. 1 Beschreibung der Forschungsstandorte.

Experimental site	Growing region	FAO Classification	Altitude (m)	Average annual temperature (°C)	Average annual rainfall (mm)
Hněvčeves	sugar beet	Haplic Luvisol on loess	265	8.2	573
Pernolec	potato	Cambisol on orthogneiss	530	7.1	559

The trial was established in two different crop rotation systems (CR) with specific cereal percentages: (1) multi-crop CR (MCR) with 50% cereals and 50% broadleaved crops and (2) simple CR (SCR) with 75% cereals and 25% legumes. Three herbicide treatments were used: (1) untreated control; (2) treatment by synthetic auxins in simple crop rotation (MCPA; 2,4-D in cereals and bentazone in peas) and (3) treatment by targeted herbicide combinations according to observed weed infestation. These combinations included different sulfonylureas, triazines, ureas and synthetic auxins during the trial period. The experiment was carried out as a split-plot design with 5 combinations of crop rotations (main plots) and treatments (sub-plots): MCR*untreated,

MCR*targeted, SCR*untreated, SCR*auxins and SCR*targeted; with 4 replications of each combination. The 100m² (10m by 10m) plots were established 10m from field boundaries and separated from each other by 1 to 2m on all sides to eliminate interaction between treatments. Uniform practices of soil tillage, fertilization and fungicide treatment accompanied weed management on each plot.

Assessments and statistical analysis

Weed species composition and weed density were assessed at the beginning of the trial, during the trial and in the present (2013-2016). Weed data were recorded at 2 to 6-leaf stage of the crop before herbicide application. Individual plants in each plot were counted in four 0.25 m² random sampling squares (0.5m by 0.5m). Densities in the four squares were aggregated to provide 1m² samples. Headlands and plot edges were excluded from sampling. Weed species were identified at the species level when possible; some species were identified at the level of the genus (e.g. *Veronica* spp.). Botanical nomenclature was adapted according to KUBAT et al. (2002).

Multivariate analyses in the CANOCO 5 software (TER BRAAK and ŠMILAUER, 2012) were performed for data exploration. Prior to the analysis logarithmic transformation of data was made. Due to gradient length on the first canonical axis in the compositional turnover in Detrended Correspondence Analysis (DCA), optimal ordination method was selected. If values were more than 4.0 SD units, unimodal Canonical Correspondence Analysis (CCA) was used. In case of values below 3.0 SD units, linear Redundancy Analysis (RDA) was used. Both methods could be used for values 3-4.0 SD units. Three explanatory variables were compiled: time (year), crop type (winter cereals, spring cereals, legumes, and root crops), treatment (untreated, treatment by auxins, targeted treatment by combination of herbicides). Gross and net effects of explanatory variables on weed species composition were tested using Monte-Carlo permutation tests for 999 permutations at P=0.05 significance level, following the methodology of LOSOSOVÁ et al. (2004). The gross effect was tested using separate CCAs or RDAs with single explanatory variables. The net effect was tested using partial CCAs or RDAs with a single explanatory variable and other variables as covariates. The ratio of particular canonical eigenvalues to the sum of all eigenvalues was used to measure the proportion of explained variation. Rare species were downweighted in case of CCA. Complete analysis was carried out only for Pernolec. At Hněvčeves, the comparison of initial and present situation was performed due to lack of some continuous data from the trial.

Results and discussion

Weed density

At trial commencement in 1972, the average weed density and number of different weed species before herbicide treatment in winter wheat were 198 plants m⁻² of 21 species at Pernolec and 86 plants m⁻² of 11 species at Hněvčeves. In total, 53 different species at Pernolec and 29 at Hněvčeves were identified over the experimental period.

The application of herbicides decreased the weed density (Tab. 2). The average weed density was significantly higher in untreated plots than in treated plots at both localities and crop rotations. Simultaneously simple crop rotation evinced higher weediness than multi-crop rotation in both, untreated plots and targeted treatment plots. It is in agreement with KOOCHEKİ et al. (2009) who found out that rotation of sugar beet-winter wheat caused 28% reduction in the weed seed bank compared to continuous wheat. Treatment by synthetic auxins affected a limited weed spectrum; therefore infestation was higher than at targeted treated plots.

Tab. 2 Current weed density before herbicide treatment in winter wheat; the last assessment in 2016 (Hněvčeves), in 2014 (Pernolec, MCR) and 2015 (Pernolec, SCR). Average number of plants m⁻² (Avg.) ± standard deviation (SD). SCR - simple crop system, MCR - multi-crop system.

Tab. 2 Unkrautdichte vor Herbizidbehandlungen in Winterweizen; letzte Bonitur 2016 (Hněvčeves), 2014 (Pernolec, MCR) und 2015 (Pernolec, SCR). Pflanzen je m² (Avg.) ± Standardabweichung (SD). MCR – blattfruchtbetonte Fruchtfolge, SCR - getreidebetonte Fruchtfolge.

Variant/locality	Hněvčeves		Pernolec	
	Avg.	SD	Avg.	SD
untreated SCR	221	34.9	186	37.5
auxins SCR	201	9.3	152	21.6
targeted SCR	163	17.9	104	10.4
untreated MCR	209	16.5	152	39.1
targeted MCR	155	22.4	16	7.8

Explanatory variables

All variables (crop type, time, treatment) together explained 24.9% and 32.2% of the total variation in weed species data at simple and multi-crop system, respectively. Unexplained variation was associated with other factors, probably the environmental conditions.

Tab. 3 Gross and net effects of explanatory variables and their interactions (*) on the weed species composition in locality Pernolec. (Partial) CCAs were used for SCR; (partial) RDAs were used for MCR. Eigenvalue = sum of all canonical eigenvalues (total inertia for SCR = 2.53; for MCR=1.0); % = percentage of explained variance; F = ratio for the test of significance of all canonical axes; P-value = corresponding probability value obtained using the Monte-Carlo permutation test. SCR = simple crop rotation, MCR = multi crop rotation.

Tab. 3 Brutto- und Nettoeffekte erklärender Variablen und deren Interaktionen (*) auf die Unkrautartenzusammensetzung am Standort Pernolec. (Partielle) kanonische Korrespondenzanalyse wurde für SCR, (partielle) lineare Redundanzanalyse wurde für MCR benutzt. Eigenvalue= Summe aller kanonischen Eigenwerte (Gesamtvariabilität für SCR = 2.53; für MCR = 1.0); % = prozentualer Anteil an der Gesamtvariabilität; F = Verhältnis des Signifikanztests der kanonischen Achsen; P = durch Monte-Carlo-Permutations-test ermittelter zugehöriger Wahrscheinlichkeitswert; MCR = blattfruchtbetonte Fruchtfolge, SCR = getreide-betonte Fruchtfolge.

Explanatory variables	SCR				MCR			
	Eigenvalue	%	F	P	Eigenvalue	%	F	P
All factors	0.63	24.9	10.71	0.001	0.32	32.2	9.3	0.001
Gross effects								
crop type	0.34	13.4	12.8	0.001	0.18	17.7	7.2	0.001
time	0.26	10.4	19.24	0.001	0.15	14.9	16.5	0.001
treatment	0.03	1.1	0.91	n.s.	0.03	3.0	3.2	0.004
Net effects								
crop type	0.34	13.3	14.37	0.02	0.14	14.25	7.2	0.001
time	0.26	10.3	22.31	0.001	0.11	11.4	16.5	0.001
treatment	0.03	1.1	1.19	n.s.	0.03	3.0	5.1	0.001
treatment*time	0.02	1.0	0.79	n.s.	0.01	1.8	1.8	0.034
treatment*crop type	0.03	1.2	0.58	n.s.	0.02	2.4	1.2	n.s.
time*crop type	0.19	7.5	8.9	n.s.	0.11	11.7	10.1	0.001

Study of PINKE et al. (2012) suggested the environmental variables accounted for two times more variance than management variables. DE MOL et al. (2015) showed variation in species composition was more related to environmental factors (9.1% explained variance) than management factors (4.7% explained variance). On the contrary CIMALOVÁ and LOSOSOVÁ (2009) revealed that on regional scale, the relative importance of different crop types and their associated management was higher than climatic variables. The amount of variation in weed species data explained by net effects of particular variables, as detected by partial CCAs (for SCR) and RDAs (for MCR), was the highest for crop type (Tab. 3). Many studies confirmed a strong impact of crop type on species composition (FRIED et al., 2008; PINKE et al., 2012; NOWAK et al., 2015). Unlike our findings, MOL et al. (2015) found

out the small contribution of the factor year to the variance of species composition. Treatment evinced the smallest or insignificant effect. It is agreement with DE MOL et al. (2012) who did not find a correlation between weed species composition and the applied herbicides. Unlike that, STREIT et al. (2003) confirmed the significant effect of herbicide application on weed population. Effect of herbicide treatment on weed species in long-term experiments may be buffered thanks to persistent soil seedbank (HYVÖNEN and SALONEN, 2001).

Species composition

At the beginning of the trial, the following species dominated at Hněvčeves: *Thlaspi arvense*, *Papaver rhoeas*, *Lamium* spp., *Stellaria media*, *Veronica* spp., and *Fallopia convolvulus*. Abundance of some species such as *Lamium* spp., *Veronica* spp., *Stellaria media*, *Papaver* spp., *Galium aparine* increased on untreated plots. Abundance of other species such as *Apera spica-venti*, *Fumaria officinalis*, *Tripleurospermum inodorum*, and *Cirsium arvense* increased on treated plots (Tab. 4).

Tab. 4 Weed species composition at Hněvčeves in winter wheat at trial commencement and the last assessment in 2016 (both crop rotations). Average no. of plants m⁻² (Avg.) and standard deviation (SD) for most frequent species; "-" = species not recorded.

Tab. 4 Zusammensetzung der Unkrautarten in Hněvčeves in Winterweizen zu Versuchsbeginn und der letzten Erhebung 2016 (beide Fruchtfolgen). Pflanzen je m² (Avg.) und Standardabweichung (SD) für die am häufigsten auftretenden Unkrautarten; "-" = Art nicht vorhanden.

Weed species	Trial beginning		Simple crop rotation						Multi-crop rotation			
			Untreated		Auxins		Targeted		Untreated		Targeted	
	Avg	SD	Avg	SD	Avg	SD	Avg	SD	Avg	SD	Avg	SD
<i>Thlaspi arvense</i>	37	2.2	8	2.9	4	2.6	4	2.1	8	2.7	8	2.2
<i>Papaver</i> spp.	9	3.4	23	6.6	9	5.1	13	8.6	23	4.2	20	6.2
<i>Lamium</i> spp.	7	0.7	57	18.2	48	5.2	25	3.7	38	10.3	13	2.3
<i>Stellaria media</i>	6	4.9	26	3.9	20	4.7	7	1.9	30	5.6	10	5.2
<i>Veronica</i> spp.	5	0.9	57	13.6	58	6.4	72	14.7	26	9.2	42	9.4
<i>Fallopia convolvulus</i>	4	0.8	-	-	-	-	-	-	1	1.7	9	6.2
<i>Matricaria chamomilla</i>	4	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Galium aparine</i>	2	0.8	14	5.1	4	1.8	2	1.6	26	5.9	4	2.8
<i>Viola arvensis</i>	-	-	1	0.4	1	1.0	1	0.4	1	1.0	4	2.3
<i>Cirsium arvense</i>	-	-	3	2.5	5	2.9	4	1.9	7	3.3	1	0.9
<i>Vicia</i> spp.	-	-	1	0.8	-	-	< 1	0.4	5	3.2	-	-
<i>Sinapis alba</i>	-	-	25	7.7	31	5.5	23	5.1	37	2.7	32	6.8
<i>Fumaria officinalis</i>	-	-	3	1.1	16	3.4	6	1.7	4	1.1	6	3.5
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	-	-	-	-	1	0.5	-	-	2	1.1	5	4.0
<i>Apera spica-venti</i>	-	-	3	3.3	4	3.5	8	3.9	1	1.7	4	4.5

The ordination diagrams in Figures 1 and 2 show changes of weed composition over years in Pernolec influenced by crop type and treatment. Some species receded in both crop rotations, regardless of treatment and crop type: *Myosotis arvensis*, *Raphanus raphanistrum*, *Scleranthus annuus*, and *Erophila verna*. No significant differences affected by time were detected in population densities of *Apera spica-venti*, *Arabidopsis thaliana*, *Stellaria media*, and *Fallopia convolvulus*.

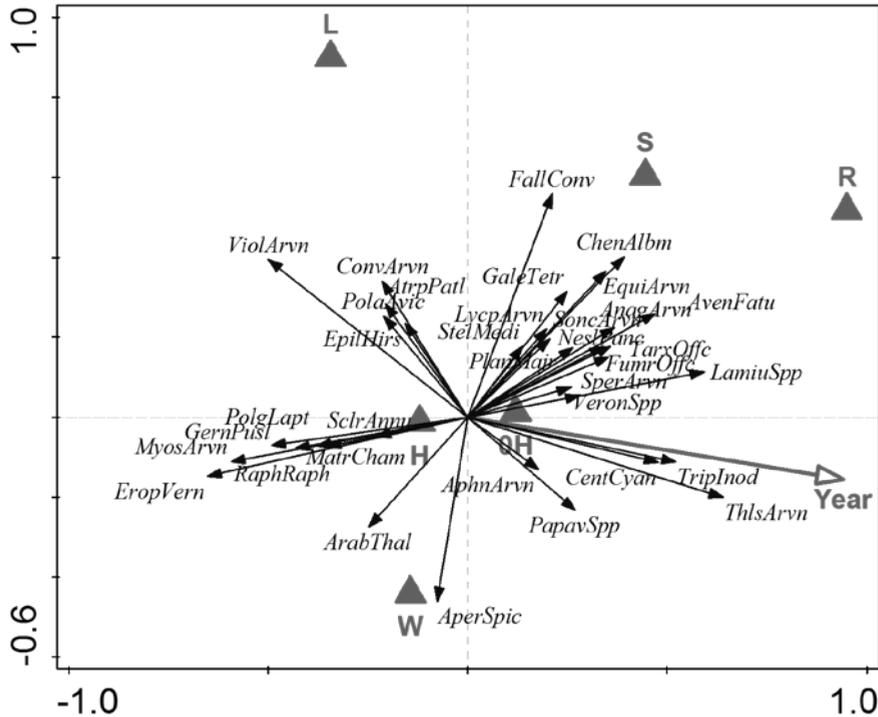


Fig. 1 Ordination diagram of Redundancy Analysis (RDA) - multi-crop rotation in Pernolec. Species with low weight are not shown. W = winter cereals, S = spring cereals, R = root crops, L = legumes; OH = untreated, H = targeted treatment by combination of herbicides.

Abb. 1 Ordinationsdiagramm der Redundanzanalyse (RDA) der blattfruchtbetonten Fruchtfolge in Pernolec. Spezies mit geringer Gewichtung werden nicht dargestellt. W = Wintergetreide; S = Sommergetreide; R = Hackfrucht; L = Leguminosen; OH = unbehandelt; H = Kombination verschiedener Herbizide.

Many weed species responded to crop type. Those with the best fit were *Fallopia convolvulus*, *Chenopodium album*, *Anagallis arvensis*, *Galeopsis tetrahit* or *Lycopsis arvensis* (SCR) for spring cereals; *Avena fatua*, *Equisetum arvense*, *Sonchus arvensis*, *Taraxacum officinale*, and *Neslia paniculata* for root crops; *Apera spica-venti*, *Arabidopsis thaliana*, *Tripleurospermum inodorum*, *Poa annua* L. (SCR), and *Centaurea cyanus* for winter cereals; *Convolvulus arvensis*, *Polygonum aviculare*, and *Atriplex patula* for legumes. Most of species did not respond to treatment, but certain differences could be observed. The abundance of *Centaurea cyanus*, *Tripleurospermum inodorum*, *Veronica* spp., *Spergula arvensis*, and *Lycopsis arvensis* increased more on untreated plots.

Conclusions

This long-term study confirmed changes in weed communities over years. We did not prove the relationship of these changes and specific herbicide treatment, however density of some weed species (e.g. *Raphanus raphanistrum* and *Erophila verna*) decreased faster on plots treated by herbicides compared to untreated plots and density of other weed species (e.g. *Centaurea cyanus*, *Tripleurospermum inodorum*) increased more on untreated plots. Crop was the major factor determining species composition and its effect was greater at multi-crop rotation, therefore it can be recommended to grow various crops in crop rotation to conserve weed species diversity.

Acknowledgement

This work was supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, project No RO0417. We thank M.Sc. Alexander Linn for translations to German.

References

- ANDREASEN, C. and C. STREIBIG, 2010: Evaluation of changes in weed flora in arable fields of Nordic countries – based on Danish long-term surveys. *Weed Research* **51**, 214-226.
- CIMALOVÁ, Š. and Z. LOSOSOVÁ, 2009: Arable weed vegetation on the northeastern part of the Czech Republic: effects of environmental factors on species composition. *Plant Ecology* **203**, 45-57.
- DE MOL, F., C. VON REDWITZ and B. GEROWITT, 2015: Weed species composition of maize fields in Germany is influenced by site and crop sequence. *Weed Research* **55**, 574-585.
- DE MOL, F., C. VON REDWITZ, M. SCHULTE and B. GEROWITT, 2012: Composition of weed populations in maize as a function of plant or crop management: results of a nation-wide survey in Germany conducted from 2002 to 2004. *Julius-Kühn-Archiv* **435**, 655-662.
- FRIED, G., L.R. NORTON and X. REBOUD, 2008: Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **128**, 68-76.
- HYVÖNEN, T., E. KETOJA and J. SALONEN, 2003: Changes in the abundance of weeds in spring cereal fields in Finland. *Weed Research* **43**, 348-356.
- HYVÖNEN, E.J. and J. SALONEN, 2002: Weed species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels – a six-year experiment. *Plant Ecology* **154**, 73-81.
- GRUNDY, A.C., A. MEAD, W. BOND, G. CLARK and S. BURSTON, 2010: The impact of herbicide management on long-term changes in the diversity and species composition of weed populations. *Weed Research* **51**, 187-200.
- DERKSEN, D.A., A.G. THOMAS, G.P. LAFOND, H.A. LOEPPKY and C.J. SWANTON, 1995: Impact of post-emergence herbicides on weed community diversity within conservation-tillage systems. *Weed Research* **35**, 311-320.
- KELLER, M., N. BÖHRINGER, J. MÖHRING, V. RUEDA-AYALA, C. GUTJAHN and R. GERHARDS, 2014: Long-term changes in weed occurrence, yield and use of herbicides in maize in south-western Germany, with implications for determination of economic thresholds. *Weed Research* **54**, 457-466.
- KOOCHEKI, A., M. NASSIRI, L. ALIMORADI and R. GHORBANI, 2009: Effect of cropping systems and crop rotations on weed. *Agronomy for Sustainable Development* **29**, 401-408.
- KUBÁT, K., L. HROUDA, J. CHRTEK, Z. KAPLAN, J. KIRSCHNER and J. ŠTĚPÁNEK, 2002: The Key to Flora of the Czech Republic [In Czech: Klíč ke Květeně České republiky]. Praha, Academia, 927 pp.
- LÉGÈRE, A., F.C. STEVENSON and D.L. BENOIT, 2005: Diversity and assembly of weed communities: contrasting responses across cropping systems. *Weed Research* **45**, 303-315.
- LOSOSOVÁ, Z. and Š. CIMALOVÁ, 2009: Effects of different cultivation types on native and alien weed species richness and diversity in Moravia Czech Republic. *Basic and Applied Ecology* **10**, 456-465.
- LOSOSOVÁ, Z., M. CHYTRÝ, Š. CIMALOVÁ, Z. KROPÁČ, Z. OTÝPKOVÁ, P. PYSEK and L. TICHÝ, 2004: Weed vegetation of arable land in Central Europe: Gradients of diversity and species composition. *Journal of Vegetation Science* **15**, 415-422.
- 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**, 77-89.
- MAYOR, J.P. and F. DESSAINT, 1997: Influence of weed management strategies on soil seedbank diversity. *Weed Research* **38**, 95-105.
- MEYER, S., 2013: Impoverishment of the arable flora of Central Germany during the past 50 years: a multiple-scale analysis. *Biodiversity and Ecology Series B 9* Göttingen Centre for Biodiversity and Ecology, Göttingen.
- MIKULKA, J., M. KORČÁKOVÁ, V. BUREŠOVÁ and J. ANDR, 2009: Changes in Weed Species Spectrum of Perennial Weeds on Arable Land, Meadow and Pastures. *Plant Protection Science* **45**, 63-66.
- MURPHY, C.E. and D. LEMERLE, 2006: Continuous cropping systems and weed selection. *Euphytica* **148**, 61-73.
- NOWAK, A., S. NOWAK, M. NOBIS and A. NOBIS, 2015: Crop type and altitude are the main drivers of species composition of arable weed vegetation in Tajikistan. *Weed Research* **55**, 525-536.

28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig

- PINKE, G., P. KARÁCSONY, B. CZÚCZ, Z. BOTTA-DUKÁT and A. LENGYEL, 2012: The influence of environment, management and site context on species composition of summer arable weed vegetation in Hungary. *Applied Vegetation Science* **15**, 136-144.
- POTTS, G.R., J.A. EWALD and N.J. AEBISCHER, 2010: Long-term changes in the flora of the cereal ecosystem on the Sussex Downs, England, focusing on the years 1968-2005. *Journal of Applied Ecology* **47**, 215-226.
- SALONEN, J., T. HYVÖNEN, J. KASEVA and H. JALLI, 2013: Impact of changes cropping practices on weed occurrence in spring cereals in Finland – comparison of surveys in 1997–1999 and 2007–2009. *Weed Research* **53**, 110-120.
- STORKEY, J., S.R. MOSS and J.W. CUSSANS, 2010: Using assembly theory to explain changes in a weed flora in response to agricultural intensification. *Weed Science* **58**, 39-46.
- 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**, 337-365.
- STREIT, B., S.B. RIEGER, P. STAMP and W. RICHNER, 2003: Weed populations in winter wheat as affected by crop sequence, intensity of tillage and time of herbicide application in a cool and humid climate. *Weed Research* **43**, 20-32.
- TER BRAAK, C.J.F. and P. ŠMILAUER, 2012: Canoco reference manual and user's guide: software for ordination version 5.0. Microcomputer Power. Ithaca, NY, USA., 496 pp.

Sektion 2: Herbizidresistenz

Session 2: Herbicide resistance

Wird die ALOMY-Bekämpfungseffizienz einer ‚Atlantis‘-Behandlung im Frühjahr durch den vorausgehenden ‚Lexus‘-Einsatz im Herbst eingeschränkt? – Stichwort: Resistenzkonditionierung

Will the efficacy of an ALOMY treatment with ‚Atlantis‘ in spring be reduced by a prior application of ‚Lexus‘ in autumn? – Keyword: Conditioning for resistance

Friedrich G. Felsenstein*, Saúl Molina-Herrera

EpiLogic GmbH, Hohenbachernstr. 19-21, 85354 Freising

*Korrespondierender Autor, friedrich.felsenstein@epilogic.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.010



Zusammenfassung

In der Praxis wird derzeit kontrovers diskutiert, ob eine Herbstbehandlung des Ackerfuchsschwanzes mit dem Produkt ‚Lexus‘ die Bekämpfungseffizienz einer Behandlung mit ‚Atlantis WG‘ im darauffolgenden Frühjahr einschränkt. Hintergrund ist die Frage, ob metabolisch resistente und nach einer ALS-Ausbringung überlebende ALOMY-Individuen über die 1. ALS-Behandlung wirkungsnegativ für eine darauffolgende weitere ALS-Behandlung konditioniert werden. Zu dieser Fragestellung, die das Prinzip gleichgerichteter ALS-Behandlungssequenzen darstellt, wurde EpiLogic beauftragt, eine Antwort über eine geeignete Versuchsanstellung zu erarbeiten.

Zu diesem Zweck wurden im Rahmen eines ALOMY-Populations-Monitorings entsprechende Pflanzen mit gut messbarer metabolischer Resistenz mit ‚Lexus‘ (40 g/ha) selektiert. Gleichzeitig wurde mit einer ‚Atlantis WG‘-Anwendung (500 g/ha) ausgeschlossen, dass die betreffende Population von Target-Site-Resistenz und/oder sehr hoher metabolischer Resistenz betroffen ist. ‚Atlantis WG‘ zeigte bei diesen Populationen durchgehend eine noch sehr gute Wirksamkeit.

Die selektierten Pflanzen wurden in Einzeltöpfe überführt. Nach unterschiedlichen Zeiträumen, in denen die Pflanzen spezifischen Umweltbedingungen ausgesetzt waren sowie einer Bestockungsphase, wurden die Pflanzen vegetativ vermehrt (Pflanzenklonierung). 3 Klone je Elternpflanze wurden 3 unterschiedlichen Behandlungen unterzogen: Kontrolle, ‚Lexus‘ (40 g/ha) sowie ‚Atlantis WG‘ (500 g/ha). Es wurden zeitlich versetzt mehrfach Elternpflanzen selektiert und so mehrere Sensitivitätsanalysen mit den entsprechenden Klonen durchgeführt. Die 3 Behandlungen wurden unter 4 Zeit- und Umweltvarianten geprüft. Alle Untersuchungen wurden in der Klimakammer unter definierten Umweltbedingungen durchgeführt. Lediglich die Pflanzen bei Umweltvariante 4 wurden einer Überwinterung im Freiland mit einer Dauer von ca. 3,0 bis 3,5 Monaten ausgesetzt.

Die Boniturergebnisse zu den Klonen der Elternpflanzen werden den Daten aus dem Selektionsversuch gegenübergestellt. Die Untersuchungen zeigen über alle Behandlungs- und Umweltvarianten ein gleichgerichtetes Ergebnisbild auf. Bei Pflanzen, welche die ‚Lexus‘-Behandlung aufgrund ihrer metabolischen Resistenz überlebt haben, tritt in der Behandlungssequenz ‚Lexus‘-‚Atlantis WG‘ keine messbare Resistenzkonditionierung auf. Eine ‚Lexus‘-Anwendung im Herbst hat also keine resistenzsteigernden Auswirkungen auf die Anwendung von ‚Atlantis WG‘ im Frühjahr. Die Behandlungssequenz ‚Lexus‘-‚Lexus‘ macht zudem deutlich, dass auch ein leichter Sensitivitätsabbau bei entsprechenden Pflanzen auszuschließen ist.

Stichwörter: Ackerfuchsschwanz, ALOMY, ALS, Behandlungssequenz, metabolische Resistenz, Pflanzenklonierung, Resistenzkonditionierung

Abstract

Currently, there is controversy regarding whether or not an autumn application with the product ‚Lexus‘ for black grass control reduces the efficacy of an ‚Atlantis WG‘ application in the following spring. It is hypothesized that metabolic resistant ALOMY individuals who survived the first ALS treatment are less

susceptible to following ALS treatments through conditioning. To answer this question, which represents the strategy of ALS sequential applications, EpiLogic was requested to apply a suitable experimental design.

For this purpose, black grass plants possessing a measurable metabolic resistance level towards ALS were selected using 'Lexus' (40 g/ha) within an ALOMY monitoring program. Simultaneously 'Atlantis WG' (500 g/ha) was used to exclude that the respective populations were affected by target-site resistance and/or high metabolic resistance. For the selected populations, 'Atlantis WG' showed high efficacy.

The selected plants were transferred to single pots. After different time periods, during which the plants were exposed to specific environmental conditions, and after an appropriate tillering phase, the plants were vegetatively multiplied (plant cloning). Three clones per parental plant were used in three different treatments: Control, 'Lexus' (40 g/ha) and 'Atlantis WG' (500 g/ha). Parental plants were obtained from several selection experiments and thus several of such sensitivity analysis of respective clones could be performed. The three treatments were investigated under four variants of time and environmental conditions. All experiments were conducted in a climate chamber under controlled environmental conditions. Only the plants of variant four were exposed to overwintering in the field which lasted approx. 3.0 to 3.5 months.

The assessed data of the clones from the parental plants are compared to the data obtained during the selection assay. The experiments demonstrate a uniform picture across all herbicide applications and environmental conditions. For plants which survived a 'Lexus' treatment due to their metabolic resistance, no measurable conditioning for resistance occurs within the 'Lexus'-'Atlantis WG' sequence. Therefore, the application of 'Lexus' in autumn does not result in a resistance-increasing effect to the application of 'Atlantis WG' in spring. Additionally, the application sequence 'Lexus'-'Lexus' revealed that even a slight decrease in sensitivity can be excluded for respective plants.

Keywords: ALOMY, ALS, application sequence, black grass, conditioning for resistance, metabolic resistance, plant cloning

Einleitung

Der Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*; ALOMY) zählt mittlerweile zu den am schwersten zu bekämpfenden Unkräutern im Getreideanbau in Westeuropa (MARÉCHAL et al., 2012; KRÄHMER, 2009). Hintergrund ist insbesondere eine nachhaltige und weitverbreitete Herbizidresistenzbildung gegenüber verschiedenen Wirkstoffgruppen (KESHTKAR et al., 2015; CUMMINS et al., 2013; HENRIET und MARÉCHAL, 2009; MOSS et al., 2007; eigene Untersuchungen), ausgelöst und forciert durch einen relativ intensiven Herbizideinsatz oftmals sowohl im Herbst als auch im darauffolgenden Frühjahr. Diese Resistenzentwicklung schließt auch die ökonomisch sehr bedeutende Familie der ALS-Inhibitoren (Hemmung des Enzyms Acetolactat-Synthase) mit ein (DROBNY et al., 2012). Dabei unterscheidet man zwei Formen der Resistenzbildung. Zum einen ist dies die sog. 'Target-Site Resistenz' (TSR), bei der durch eine genetische Einzelmutation und damit einhergehender Modifikation am Wirkort zumeist hohe Resistenzfaktoren seitens der Pflanze erzielt werden. Dies führt oftmals zur Wirkungslosigkeit entsprechender Präparate im Bestand. Zum anderen und derzeit noch am weitesten verbreitet tritt die sog. metabolische Resistenz in Erscheinung. Dabei erfolgt in der Pflanze ein verstärkter, beschleunigter Abbau bzw. eine Umwandlung des Wirkstoffs in unwirksame Komponenten. Dies wird vermutlich durch eine ganze Reihe von genetischen Veränderungen bedingt. Je nach pflanzenindividuell vorhandener genetischer Variation bzw. Genkombination kann dabei die erreichte Anpassung ganz unterschiedlich hoch ausfallen von 'kaum analysierbar' und im Feld bei voller Aufwandmenge kaum feststellbar bis hin zu TSR-ähnlicher hoher Ausprägung. Derartig unterschiedliche Erscheinungsformen von Herbizidresistenz lassen natürlich viel Raum für weitgefächerte Diskussionen, Interpretationen und hypothetische Spekulationen. So wird in der Praxis immer wieder kolportiert, dass eine Herbstbehandlung von ALOMY mit dem ALS-Produkt 'Lexus' die Bekämpfungseffizienz einer Behandlung mit dem Produkt 'Atlantis WG' im darauffolgenden Frühjahr einschränkt bzw. negativ beeinflusst. Hintergrund ist die Hypothese, dass metabolisch resistente und nach einer ALS-Ausbringung überlebende ALOMY-Individuen über die erste ALS-Behandlung wirkungsnegativ für eine darauffolgende weitere ALS-Behandlung konditioniert werden. Zu dieser Fragestellung wurde die EpiLogic GmbH, Freising-Weihenstephan, beauftragt, über eine geeignete Versuchsanstellung eine Antwort zu erarbeiten.

Material und Methoden

Verfahrensschritte der Sensitivitätsanalyse

Die entsprechenden Untersuchungen wurden von September 2016 bis April 2017 durchgeführt. Ihre Ausführung erfolgte grundsätzlich in der Klimakammer unter kontrollierten und definierten Umweltbedingungen (Lichtintensität, Temperatur, Tag-Nacht-Rhythmus, relative Luftfeuchte). Lediglich die Kultivierung der Pflanzen unter Umweltvariante 4 mit einer Überwinterung der Pflanzen fand über eine Dauer von ca. 3,0 bis 3,5 Monaten im Freiland statt. Die Pflanzenkultivierung erfolgte unter folgenden Bedingungen: Lichtintensität $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, Temperatur Nacht 12°C , Temperatur Tag 17°C , Tag-Nacht-Rhythmus 14/10 h, relative Luftfeuchtigkeit 75 %. Des Weiteren diente das EpiLogic zur Verfügung gestellte DuPont Manual „Black-grass susceptibility monitoring / Herbicides – DuPont test: plants in agar boxes. – Cereal herbicides 2005/2006“ (nicht publiziert) als Grundlage für den methodischen Ansatz. Mit dessen Hilfe etablierte EpiLogic bei sich vor ca. 10 Jahren die Sensitivitätsanalyse des Ackerfuchsschwanzes im Agarmedium. Die Methode gewährt den je 15 Einzelpflanzen, die pro Population/Stichprobe und Wirkstoffkonzentration standardmäßig untersucht werden, ausreichend individuellen Platz für Wachstum und Entwicklung. Auch das ALOMY-typische Bestockungswachstum ist für die einzelnen Pflanzen mit dem zur Verfügung gestellten Platz problemlos möglich.

Für die Sensitivitätsanalysen werden Einzelpflanzen im ca. 2-3 Blattstadium mit einer Pinzette in transparente Anzuchtgefäße (10 cm x 8 cm x 3 cm) pikiert, welche einen mit Nährstoffen angereicherten Wasseragar enthalten (8 g/l Agar-Agar, ca. 170 ml). In jedes Anzuchtgefäß werden 5 Pflanzen eingesetzt, so dass jeder Pflanze ca. 15 cm^2 Fläche für eine mögliche individuelle Entwicklung nach Behandlung zur Verfügung stehen. Ca. 7 Tage nach dem Pikieren in das Agar-Medium haben die Pflanzen neue Wurzeln ausgebildet, was durch das transparente Gefäßmaterial sowie den Agar optisch gut kontrollierbar ist, und die Behandlung der Pflanzen kann vorgenommen werden. Diese wird mit einer ‚Schachtner Applikationsanlage‘ ausgeführt, wobei die Qualität der Anlage selbst sowie das Eichen der Anlage vor jedem Behandlungslauf die exakte Ausbringungsmenge je m^2 bzw. ha (300 l) bei minimierter Streuung sicherstellt.

25 Tage nach der Behandlung (DAT) werden die Pflanzen in Relation zu unbehandelten Vergleichspflanzen bonitiert. Daraus lässt sich ein %-Wert an Wirksamkeit (Effizienz E) bestimmen.

Selektion von ALOMY-Biotypen mit metabolischer Resistenz (Selektionsversuch)

Zur Bearbeitung der Fragestellung wurden im Rahmen eines DuPont-Routinemonitorings (Samenproben aus 2016) für die Versuche geeignete Pflanzen mit gut messbarer metabolischer Resistenz mit ‚Lexus‘ (40 g/ha = 20 g ai/ha Flupyr-sulfuron) selektiert. Gleichzeitig wurde mit ‚Atlantis WG‘ (500 g/ha = 15 g ai/ha Mesosulfuron + 3 g ai/ha Iodosulfuron) ausgeschlossen, dass die betreffende Population von TSR einerseits und/oder von einer äußerst hohen metabolischen Resistenz andererseits betroffen ist. In beiden Fällen wäre ‚Atlantis WG‘ nur noch eingeschränkt oder überhaupt nicht mehr wirksam. ‚Atlantis WG‘ zeigte mit 500 g/ha bei den betreffenden Populationen aber ausschließlich eine noch sehr gute Wirksamkeit. Die selektierten Pflanzen stammten also exklusiv von Feldpopulationen, die sich speziell durch eine gut messbare, aber nur moderat bis mittel ausgeprägte metabolische ALS-Resistenz in der Stichprobe auszeichneten. Solch ein typisches Reaktionsmuster im Pflanzenwachstum nach Behandlung mit ‚Lexus‘ sowie ‚Atlantis WG‘ ist in Abbildung 1 veranschaulichend wiedergegeben.

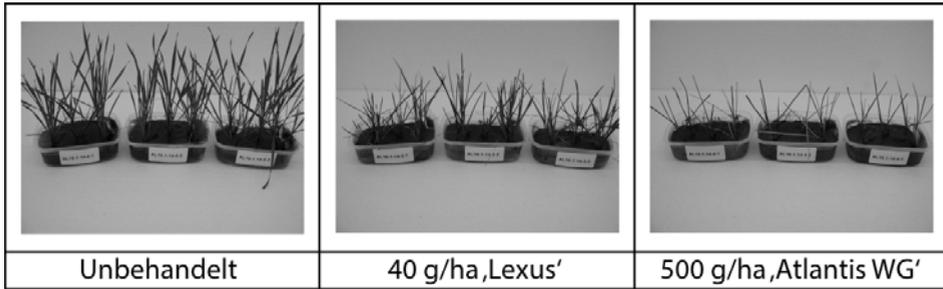


Abb. 1 Typische Reaktionsmuster einer ALOMY Population mit mittel ausgeprägter metabolischer Resistenz auf eine Behandlung mit den verwendeten ALS-Herbiziden.

Fig. 1 Typical reaction pattern of an ALOMY population carrying a moderately expressed metabolic resistance towards the ALS herbicides used.

Bei festgesetzt maximal 12 Pflanzen je Population bzw. Stichprobe wurden insgesamt 216 geeignete Pflanzen mit entsprechender Resistenzprägung gegenüber ‚Lexus‘ ausgewählt, die aus gesamt 21 Populationen und aus mehreren, zeitlich zueinander versetzten Untersuchungsläufen stammten.

Sensitivitätsanalyse der Pflanzenklone

Die 216 selektierten Pflanzen wurden jeweils in Einzeltöpfe mit Humuserde überführt. Nach Durchlaufen einer Zeitfenstervariante, in der eine Gruppe von Pflanzen einer spezifischen Umweltvariante (Tab. 1) ausgesetzt war, plus ca. 8 Tagen für eine optimale Pflanzenentwicklung, erfolgte jeweils eine vegetative Vermehrung (= Klonierung) jeder Einzelpflanze. Dabei wurden durch mehrfache Unterteilung der bestockten Ausgangspflanze (= Elternpflanze) eigenständige Pflanzenklone mit jeweils 2-3 sichtbar verbleibenden Blättern erstellt, die in etwa dem 2-3 Blattstadium frisch angezogener Pflanzen entsprechen. An dieser Stelle sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die erzeugten Pflanzenklone in allen Gesichtspunkten wie Genetik, Epigenetik, spezifischer Behandlung sowie der [Mikro-]Umwelthistorie zu 100 % mit der elterlichen Ausgangspflanze identisch sind. Drei solcher einzelner Klone je Elternpflanze wurden nach der Teilung umgehend in Anzuchtgefäße mit Agar-Medium pikiert. Nach erneuter Wurzelbildung wurden die Klone 3 unterschiedlichen Behandlungen zugeführt: Klon 1 diente als unbehandelte Kontrolle, Klon 2 wurde nochmals mit 40 g/ha ‚Lexus‘ und Klon 3 mit 500 g/ha ‚Atlantis WG‘ behandelt (Abb. 2).

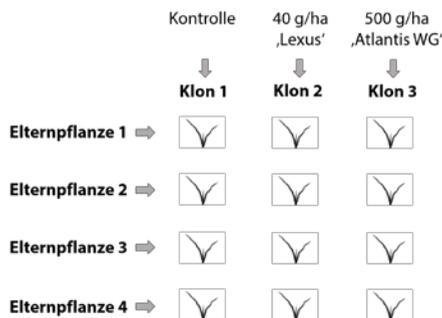


Abb. 2 Behandlungsschema für die Sensitivitätsanalyse der ALOMY-Klone, die aus Elternpflanzen mit metabolischer ALS-Resistenz hervorgegangen sind.

Fig. 2 Application scheme during bioassays of the ALOMY clones which were obtained from parental plants with metabolic ALS-resistance.

Die Ergebnisse zu ‚Atlantis WG‘ sollen direkt Aufschluss geben, ob dieses Produkt in der genutzten Aufwandmenge in seiner Wirkung durch eine ‚Lexus‘-Vorbehandlung eingeschränkt wird. Die parallele Behandlung eines weiteren Schwesterklons mit ‚Lexus‘ erlaubt darüber hinaus, auch einen kleinen ‚Shift‘ hin zu einem etwas höheren Anpassungslevel bzw. geringerer Empfindlichkeit gegenüber ALS-Herbiziden bei diesen Pflanzen zu erkennen.

Im Zeitfenster zwischen der Bonitur des Selektionsversuchs und der Teilung der Pflanzen für die Sensitivitätsanalyse der Pflanzenklone wurden insgesamt 4 Umweltvarianten geprüft. Aus deren Konsequenz ergaben sich unterschiedliche Zeiträume zwischen der 1. Behandlung und der 2. Behandlung. Diese 4 Zeit-Umweltvarianten sind in Tabelle 1 im Einzelnen aufgeführt. Mit Variante 4 simuliert der Test auch die Frühjahrsbehandlung mit ‚Atlantis WG‘ nach einer Herbstbehandlung mit ‚Lexus‘. Da aus mehreren zeitlich zueinander versetzten Selektionen Pflanzen zur Verfügung standen, konnten auch alle Zeit-Umweltvarianten mehrfach und unabhängig voneinander geprüft werden. Die Ergebnisse und Aussagen der vorliegenden Untersuchungen basieren damit bei den Sensitivitätsanalysen auf 216 selektierten Elternpflanzen x 3 Pflanzenklone = 648 Einzelpflanzen bzw. 216 Sensitivitätsanalysen je Behandlungsansatz (‚Lexus‘ oder ‚Atlantis WG‘) bzw. 432 Einzelpflanzenbonituren.

Tab. 1 Kultivierungsbedingungen der selektierten ALOMY-Elternpflanzen zwischen der Bonitur des Selektionsversuchs und der Sensitivitätsanalyse der Pflanzenklone.

Tab.1 *Culturing conditions of the selected ALOMY parental plants between the assessment of the selection experiment and the bioassay with the plant clones.*

Umweltbedingungen	Beschreibung der Zeitschiene
Variante 1 (83 Elternpflanzen aus 7 Populationen)	Pflanzenkultivierung (8 Tage) und Klonierung maximal zeitnah nach dem Selektionsversuch. 2. Behandlung ca. 15 Tage nach dessen Abschlussbonitur
Variante 2 (57 Elternpflanzen aus 5 Populationen)	Pflanzenkultivierung (8 Tage) und Klonierung nach 7 Tagen Latenzzeit (3 Tage Dunkelheit bei 2-5 °C + 1 Tag unter Licht bei 12-17 °C + 3 Tage Dunkelheit bei 2-5 °C) nach dem Selektionsversuch. 2. Behandlung ca. 22 Tage nach dessen Abschlussbonitur
Variante 3 (44 Elternpflanzen aus 5 Populationen)	Pflanzenkultivierung (8 Tage) und Klonierung nach 27 Tagen Latenzzeit (Sequenz von 4 x 3 Tage Dunkelheit bei 2-5 °C + 3 x 1 Tag unter Licht bei 12-17 °C) nach dem Selektionsversuch. 2. Behandlung ca. 41 Tage nach dessen Abschlussbonitur
Variante 4 (32 Elternpflanzen aus 4 Populationen)	Pflanzenkultivierung (8 Tage) und Klonierung nach 3,0-3,5 Monaten Latenzzeit unter Feldbedingungen (Verpflanzung ins Freiland mit einer Phase von Minustemperaturen und Schneedecke) nach dem Selektionsversuch. 2. Behandlung ca. 105-120 Tage nach dessen Abschlussbonitur

Ergebnisse

Die Boniturergebnisse der Einzelpflanzen nach der 2. Behandlung (Klone) werden den Daten aus der 1. Behandlung (Selektionsversuch) gegenübergestellt. Daraus lässt sich ablesen, ob durch eine Vorbehandlung mit ‚Lexus‘ eine Resistenzkonditionierung des Ackerfuchsschwanzes erfolgt.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse zu Umweltvariante 1 dargestellt, bei der die Behandlungssequenz so zeitlich eng wie möglich erfolgte und eine Beeinflussung des Bekämpfungsergebnisses der 2. ALS-Behandlung hypothetisch am wahrscheinlichsten wäre. Links in der Tabelle finden sich zusammengefasst die Ergebnisse zur Produktwirksamkeit der 1. Behandlung aus dem Selektionsversuch von 7 ausgewählten Populationen. Rechts sind die korrespondierenden Boniturdaten zu den Klonen der jeweiligen, max. 12 selektierten Elternpflanzen einzeln gelistet sowie zusammenfassend wiedergegeben.

Tab. 2 Wirkeffizienz der Behandlungen bei den ausgewählten ALOMY-Populationen im Selektionsversuch sowie bei den korrespondierenden Pflanzenklonen. Dargestellt werden die Daten der Umweltvariante 1.

Tab. 2 Efficacy of the applications on the chosen ALOMY populations during the selection assay as well as on the corresponding plant clones. The table presents the data collected for environmental variant 1.

Wirkung (E in %) der 1. Behandlung bei Feldproben im Routinemonitoring (Vortest)			Wirkung (E in %) der 2. Behandlung entweder mit 'Lexus' (40 g/ha) oder mit 'Atlantis WG' (500 g/ha) nach Umweltvariante V1 bei jeweils Pflanzenklon 2 und 3 (Haupttest) - jeweils hervorgehend von (Eltern)Pflanzen, welche im Vortest mit 40 g/ha 'Lexus' vorbehandelt ("konditioniert") wurden														
EpiLogic Lab-ID	1. Beh.	Ø E	EpiLogic Vers.-Nr.	2. Beh.	(Eltern)Pflanze Nr.												Ø E
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
AL16-1-7	Lexus	22	V1-1-7	Lexus	15	25	25	20	30	10	10	50	40	45	25	30	27
	Atlantis	98		Atlantis	35	98	98	98	85	90	95	100	100	98	100	100	91
AL16-1-11	Lexus	12	V1-1-11	Lexus	25	15	30	20	25	0	15	5	25	20	25	25	19
	Atlantis	94		Atlantis	100	75	100	100	100	98	75	95	80	100	100	95	93
AL16-1-14	Lexus	10	V1-1-14	Lexus	25	20	50	100	25	10	65	50	15	25	0	5	33
	Atlantis	97		Atlantis	100	100	98	100	100	98	100	100	100	100	100	95	99
AL16-2-5	Lexus	18	V1-2-5	Lexus	10	5	30	10	50	60	0	25	10	10	25	95	28
	Atlantis	100		Atlantis	85	80	95	50	100	100	100	100	100	100	100	98	98
AL16-2-6	Lexus	17	V1-2-6	Lexus	0	15	10	0	70	70	50	30	100	70	100	100	51
	Atlantis	94		Atlantis	90	100	80	90	80	98	100	95	100	100	98	100	94
AL16-3-14	Lexus	33	V1-3-14	Lexus	15	10	25	50	25	60	15	5	50	60	10		30
	Atlantis	99		Atlantis	85	98	95	95	98	90	100	100	90	85	70		91
AL16-3-16	Lexus	28	V1-3-16	Lexus	65	100	75	85	25	80	40	70	70	45	20	25	58
	Atlantis	98		Atlantis	100	80	100	80	80	75	98	100	95	100	100	100	92

Die Ergebnisse der Einzelbewertungen nach der 2. Behandlung lassen gegenüber ‚Atlantis WG‘ in den meisten Fällen eine gute bis sehr gute Bekämpfungsleistung erkennen. Auch wenn in einigen Fällen die metabolische Resistenz etwas, in einem Fall auch einmal stärker zum Tragen kommt, so liegt doch bei 61 der behandelten 83 Pflanzen (ca. 75 %) eine Bekämpfungsleistung ≥ 95 %, in vielen Fällen sogar von 100 % nach 25 DAT vor. Die durchschnittliche Bekämpfungsleistung liegt durchweg bei > 90 % und unterscheidet sich nur marginal von der aus der Behandlung der Elternpopulation.

Bei der Behandlung mit 40 g/ha ‚Lexus‘ kommt die metabolische Resistenz mit ihrer Variabilität in der Ausprägung zu einem weit höheren Maße zum Tragen als bei 500 g/ha ‚Atlantis WG‘, wie die Ergebnisse deutlich machen. Die Bekämpfungsleistung nach der 2. Behandlung mit ‚Lexus‘ liegt zumeist um die 50 % oder deutlich darunter. Insgesamt streut sie in einem relativ hohen Maße, so dass in einigen wenigen Fällen auch Werte ≥ 90 % erreicht werden. Ein Vergleich der durchschnittlichen Effizienzwerte der beiden ‚Lexus‘-Behandlungen lassen jedoch dabei wiederum keinerlei Effizienzeinbuße bei der 2. Behandlung erkennen. Die Daten von Variante 1 weisen hier sogar eine Tendenz eher in die entgegengesetzte Richtung auf. Insgesamt ergibt sich also bei der Betrachtung der Daten von Variante 1 kein Hinweis auf eine Verschlechterung der Wirksamkeit innerhalb der 2-stufigen ALS-Sequenzbehandlung.

Dies wird auch deutlich, wenn man die weiteren Ergebnisse aus den Umweltvarianten 2-4 betrachtet, die zusammenfassend in Tabelle 3 aufgeführt sind. Die Daten gehen praktisch parallel zu den Ergebnissen, die bereits unter der Umweltvariante 1 im Detail wiedergegeben wurden. So weisen in allen 4 Umweltvarianten die Klone nach ‚Lexus‘-Behandlung eine relativ hohe Streuung in der individuellen Ausprägung der metabolischen Resistenz auf, wie die Minimal- und Maximalwerte zeigen. Der größte Teil der Pflanzen reagiert jedoch ähnlich wie der errechnete Mittelwert (Daten nicht dargestellt). Diese Mittelwerte haben jeweils die gleiche Größenordnung wie das Ergebnis aus der 1. Behandlung. So lassen sich keine besonderen Abweichungen

zueinander erkennen, das Datenmaterial weist letztendlich unter allen 4 Umweltvarianten relativ homogen in die gleiche Richtung.

Tab. 3 Zusammenfassende Darstellung der Wirkeffizienz der Behandlungen bei den ausgewählten ALOMY-Populationen des Selektionsversuchs sowie bei den korrespondierenden Pflanzenklonen nach allen Umweltvarianten.

Tab. 3 Summary of the efficacy of the applications on the chosen ALOMY populations during the selection assay as well as on the corresponding plant clones for all environmental variants.

Wirkung (E in %) der 1. Behandlung im Rahmen des Routinemonitorings von (Samen) Stichproben (Vortest)					Wirkung (E in %) der 2. Behandlung entweder mit 'Lexus' (40 g/ha) oder mit 'Atlantis WG' (500 g/ha) nach Umweltvarianten V1-4 (Haupttest) - geprüfte Klone jeweils hervorgehend von (Eltern)Pflanzen, welche im Vortest mit 40 g/ha 'Lexus' vorbehandelt ("konditioniert") wurden					
Proben-anzahl	1. Beh.	Reaktion Stichproben			Umwelt-variante	Geprüfte Pflanzen	2. Beh.	Reaktion Einzelpflanzen		
		Ø E	Min.	Max.				Ø E	Min.	Max.
7	Lexus	20	10	33	V1	83	Lexus	35	0	100
	Atlantis	97	94	100			Atlantis	93	35	100
5	Lexus	26	20	42	V2	57	Lexus	27	0	100
	Atlantis	95	88	100			Atlantis	92	20	100
5	Lexus	44	18	60	V3	44	Lexus	48	0	100
	Atlantis	97	93	99			Atlantis	91	20	100
4	Lexus	58	48	67	V4	32	Lexus	72	0	100
	Atlantis	99	97	100			Atlantis	97	85	100

Diskussion

Um die vorliegende Fragestellung aussagekräftig zu beantworten, müssen bestimmte methodische Ansätze und Kriterien berücksichtigt werden. So können wegen der genetischen Variabilität von Ackerfuchsschwanz nicht einfach beliebige Pflanzen aus einer Feldpopulation für die Untersuchungen direkt herangezogen werden. Stattdessen müssen einzelne, definierte Pflanzen, deren Resistenzprofil bekannt ist, einer Behandlungssequenz unterzogen werden. Um eine gleiche Behandlungshistorie (hier: 1. Behandlung mit ‚Lexus‘) sowie die (epi)genetische Homogenität des Pflanzenmaterials für die verschiedenen Behandlungsvarianten der 2. Behandlung (hier: Kontrolle, ‚Lexus‘, ‚Atlantis WG‘) sicherzustellen, bietet einzig die Klonierung der vorbehandelten und für die weiteren Untersuchungen selektieren Pflanzen eine methodische Option. Des Weiteren muss sichergestellt sein, dass die Umweltbedingungen bei der Erst- und dann bei der Zweitbehandlung weitestgehend identisch sind, da insbesondere die Temperatur als auch die Lichtintensität einen erheblichen Einfluss auf die quantitative Ausprägung der metabolischen Resistenz haben (eigene Erfahrungen). Die Option, entsprechende Untersuchungen im Gewächshaus durchzuführen, scheidet aufgrund der dort oftmals variablen und nur sehr eingeschränkt regel- und definierbaren Umweltbedingungen deshalb von vornherein aus. Ebenso ist es von Bedeutung, dass das Wurzelmedium absolut identisch ist und keinerlei Nährstoffvariationen zwischen den Behandlungssequenzen auftreten, da Unterschiede im Nährstoffgehalt des Bodens ebenfalls zu einer unterschiedlichen Ausprägung der metabolischen Resistenz führen können. Dies wurde in den vorliegenden Untersuchungen durch die Nutzung eines geeigneten Agar-Mediums gewährleistet. Außerdem muss auch dem Platzbedarf der einzelnen Pflanzen Rechnung getragen werden. Zum einen droht ansonsten Vergeilungswachstum, zum anderen können die Pflanzen im Vergleich zur Normalsituation im Feld mit maximal einigen hundert Pflanzen je m² quantitativ unterschiedlich metabolisch

reagieren. In diesem Zusammenhang erscheint es äußerst wichtig, dass die Bestockung der Pflanzen, wie Sie auch im Feld stattfindet, im Versuch ebenfalls nachvollzogen und von der Einzelpflanze realisiert werden kann.

Ein wichtiger methodischer Ansatz bei entsprechenden Untersuchungen ist aus Sicht der Autoren die Analyse einer möglichst hohen Anzahl an Elternpflanzen und den daraus gebildeten Pflanzenklonen. Gerade bei metabolischer Resistenz mit ihrer rein quantitativen Ausprägung ist dies von besonderer Bedeutung. Wie die Extremreaktionen einzelner Pflanzen aufzeigen (Tab. 2 und 3), können entsprechende Untersuchungen mit nur wenigen Pflanzen einer nicht zu unterschätzenden Fehlerwahrscheinlichkeit im Ergebnis wie auch in den abgeleiteten Schlussfolgerungen unterliegen. Des Weiteren erschien es bei der Versuchsplanung vorteilhaft, die potentielle Versuchsstreuung durch mehrere zeitlich zueinander versetzte Versuchsläufe zu minimieren. Dies konnte, wenn auch mit unterschiedlichen Pflanzenzahlen, bei allen Umweltvarianten realisiert werden. Letztere sollten eine weitere, das Ergebnis und die Aussage absichernde zentrale Versuchskomponente darstellen. Es wurde deshalb auf eine möglichst breite zeitliche Spreizung der Umweltvarianten bei einer gestaffelten Dauer geachtet. Die Bedingungen sollten auch herbst- sowie winterlichen Verhältnissen nahe kommen - mit einer Variante, die den Bedingungen zwischen einer Herbst- und Frühjahrsbehandlung im Ansatz möglichst entspricht. Mit Umweltvariante 4 konnte dies recht realitätsnah erreicht werden.

Die Hypothese, dass nach einer ALS-Ausbringung überlebende ALOMY-Individuen über die erste ALS-Behandlung wirkungsnegativ für eine darauffolgende weitere ALS-Behandlung konditioniert werden, erscheint erst einmal plausibel. Der metabolische Resistenzmechanismus könnte durch die Erstbehandlung in irgendeiner Form aktiviert werden. Gerade die Frage, ob das im Herbst durch die 1. ALS-Behandlung möglicherweise metabolisch angeregte Ungras auf die ALS-Frühjahrsbehandlung schlechter oder kaum noch reagiert, wird aktuell sehr häufig diskutiert. Den Autoren sind bisher aber keine Forschungsarbeiten oder Versuche bekannt, die diese Hypothese als Fragestellung aufgreifen.

Die Ergebnisse der vorgestellten Studie und die damit verbundenen Aussagen fallen über alle Behandlungs- und Umweltvarianten hinweg eindeutig aus. Es traten keine sich widersprechenden Wirkungsreaktionen auf. Also gilt es nachfolgendes festzuhalten: Vergleicht man das Maß der Resistenzausprägung der mit 40 g/ha ‚Lexus‘ behandelten Elternpopulationen mit dem Anpassungsmaß der anschließend mit 500 g/ha ‚Atlantis WG‘ behandelten Klone, so kann man schlussfolgern, dass keine negativen Auswirkungen (Resistenzkonditionierung) von ‚Lexus‘ bei einer Herbstbehandlung auf die Wirksamkeit der nachfolgenden Anwendung von ‚Atlantis WG‘ im Frühjahr auf Pflanzen zu erwarten sind, welche die ‚Lexus‘-Behandlung überlebt haben und eine metabolische ALS-Resistenz besitzen. Darüber hinaus kann auch eine etwaige leichte Verschiebung des Resistenzniveaus dieser Pflanzen in Folge einer ‚Lexus‘-Behandlung aufgrund des vorliegenden Datenmaterials aus der reinen ‚Lexus‘-Sequenzbehandlung ausgeschlossen werden. Die Untersuchungsergebnisse fallen insgesamt so eindeutig aus, dass es möglich ist, die getroffenen Schlussfolgerungen auch auf andere ALS-Sequenzbehandlungen zu übertragen.

Danksagung

Wir bedanken uns bei DuPont Deutschland für die an uns herangetragene sehr interessante Fragestellung, für das entgegengebrachte Vertrauen in unsere Forschungsleistung sowie für die finanzielle Unterstützung zur Realisierung des Untersuchungsvorhabens. Des Weiteren gilt unser Dank natürlich unseren lieben EpiLogic Arbeitskolleginnen und -kollegen, die bei der technischen Ausführung mitgeholfen haben.

Literatur

CUMMINS, I., D. WORTLEY, F. SABBADIN, F. HE, C. COXON, H. STRAKER, J. SELLARS, K. KNIGHT, L. EDWARDS, D. HUDGES, S. KAUNDUN, S. HUTCHINGS, P. STEEL und R. EDWARDS, 2013: Key role for a glutathione transferase in multiple-herbicide resistance in grass weeds. *PNAS* **110** (15), 5812-5817.

28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig

DROBNY, H., M. SCHULTE und H. STREK, 2012: 25 years of sulfonylurea herbicides: a few grams changed the world of chemical weed control. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 21-33.

HENRIET, F. und P.-Y. MARÉCHAL, 2009: Black-grass resistance to herbicides: three years of monitoring in Belgium. *Comm. Appl. Biol. Sci.*, Ghent University, **74/2**.

KESHTKAR, E., S. MATHIASSEN, S. MOSS und P. KUDSK, 2015: Resistance profile of herbicide-resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass) populations in Denmark. *Crop Protection* **69**, 83-89.

KRÄHMER, H., 2009: Mapping of European weeds - Basis for a new working group of the EWRS, 1st EU Weed Mapping Meeting, May 14th, 2009 in Prague.

MARÉCHAL, P.-Y., F. HENRIET, F. VANCUTSEM und B. BODSON, 2012: Ecological review of black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) propagation abilities in relationship with herbicide resistance. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **16** (1), 103-113.

MOSS, S., S. PERRYMAN und L. TATNELL, 2007: Managing Herbicide-resistant Black-grass (*Alopecurus myosuroides*): Theory and Practice. *Weed Technology* **21**(2), 300-309.

Effektivität von Propyzamid als Maßnahme zur Minderung des Selektionsdruckes auf ACCase-Hemmer bei Ackerfuchsschwanz im Winterraps

Performance of propyzamide against black grass as a strategy to minimize selection pressure of ACCase inhibitors

Bernd Augustin^{1*}, Kerstin Hüsgen²

¹Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen, Nahe, Hunsrück, Rüdesheimerstr. 60, 55545 Bad Kreuznach

²Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Neßlerstr. 25, 76227 Karlsruhe
*Korrespondierender Autor, bernd.augustin@dlr.rlp.de



DOI 10.5073/jka.2018.458.011

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund zunehmender Herbizidresistenzen wurde von den Pflanzenschutzdiensten Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz zwischen 2015 und 2017 insgesamt 15 vergleichbare Versuche zur Überprüfung der Wirkungssicherheit von Propyzamid im Vergleich zu ACCase-Hemmern gegen Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Winterraps durchgeführt.

In Abhängigkeit vom Resistenzgrad zeigte das DIM-Präparat Select 240 EC (Clethodim) im Vergleich zum FOP-Mittel Targa Super (Quizalofop-P) eine höhere Wirkungssicherheit. Die Propyzamid-haltigen Produkte Kerb Flo (Propyzamid) und Milestone (Propyzamid+Aminopyralid) erzielten eine vergleichbare Ungraswirkung. Bei günstigen Rahmenbedingungen (Herbstanwendung, Resistenzstandorte) wurden im Vergleich zu den ACCase-Hemmern deutlich bessere oder zumindest mit vergleichbare Wirkungen erzielt. In zwei von drei Jahren lagen die Spätanwendungen der Propyzamid-haltigen-Produkte im Frühjahr im Wirkungsgrad um 10-20 % niedriger verglichen mit den frühen Behandlungen im Herbst.

Frühe Anwendung vorausgesetzt, erzielen Propyzamid-Ungras herbicide unter unterschiedlichsten Standort- und Witterungsbedingungen eine hohe Wirkungssicherheit gegen Ackerfuchsschwanz. Daher bewerkstelligen sie nicht nur die Ungraskontrolle auf Resistenzstandorten, sondern sind bei regelmäßigem Einsatz geeignet den Selektionsdruck zu verringern und der Resistenzentwicklung entgegen zu wirken.

Stichwörter: ACCase-Hemmer, Ackerfuchsschwanz, *Alopecurus myosuroides*, Propyzamid, Ungraswirkung

Abstract

As herbicide resistance is increasing, plant protection services in Baden-Wuerttemberg and Rhineland-Palatinate conducted 15 comparable herbicide trials in order to determine the efficacy of propyzamide products against black grass (*Alopecurus myosuroides*) in comparison to ACCase-inhibitors from 2015 to 2017

Depending on the resistance level, the efficacy was more stable for the DIM-herbicide Select 240 EC (clethodim) compared to FOP-herbicide Targa Super (quizalofop-P). Products containing propyzamide such as Kerb Flo (propyzamide) and Milestone (propyzamide+aminopyralid) reached a comparable black grass control. Under favourable conditions (autumn application, resistant black grass population), performance was often considerably better, but at least similar to ACCase-inhibitors. In two out of three years, a late application in early spring reduced the efficacy of black grass control by 10-20 % compared to an early propyzamide herbicide application in autumn.

Given that application conditions were suitable, propyzamide herbicides provided reliable black grass control under various field and weather conditions. Therefore, their use should not only be concentrated on fields with herbicide resistant populations, but should be recognized as a management tool within crop rotation in order to lower selection pressure and reduce herbicide resistance development.

Keywords: ACCase-inhibitor, *Alopecurus myosuroides*, black grass, propyzamide, herbicide efficiency

Einleitung

Die Entwicklung der aktuellen Pflanzenbauverfahren ist geprägt von Maßnahmen zur Verringerung der Arbeitskosten. Viel Potenzial bietet in dieser Hinsicht die pfluglose Bewirtschaftung, sowie Einschränkungen in der Fruchtfolge. Das führte zu einer klaren Dominanz der Winterungen. Die Unkrautflora passte sich an die neuen Systeme an. Ungräser, wie Ackerfuchsschwanz, Windhalm, Rispen und Trespen, gewinnen zunehmend an Bedeutung. Parallel

zu dieser Entwicklung kommt es verstärkt zu Einschränkungen was die Verfügbarkeit von Herbiziden betrifft. Seit gut 20 Jahren wurde kein neuer Wirkmechanismus gegen Ungräser mehr entwickelt. Altbewährte Wirkstoffe werden vom Markt genommen oder erhalten Anwendungsbeschränkungen wegen der Gefahr von Abdrift oder Austrag aus den Behandlungsflächen, die die Anwendung stark einschränken. Diese Rahmenbedingungen führten zu einer Fokussierung auf die Anwendung von wirkungssicheren Blattherbiziden (ALS- und ACCase-Hemmer). Neben den ackerbaulichen Veränderungen induziert die einseitige Herbizidanwendung einen hohen Selektionsdruck und ist damit eine der Hauptursachen für die fortschreitende Entwicklung der Herbizidresistenzen. Zur Minderung des Selektionsdruckes sollte jeder Wirkmechanismus maximal einmal solo in der Fruchtfolge zur Anwendung kommen. Ein zusätzlicher Einsatz wirkungsgleicher Präparate sollte nur in Tankmischung mit gräseraktiven, weniger resistenzgefährdeten Partnern (alternative Wirkmechanismen) durchgeführt werden. In Rapsfruchtfolgen kommt nur der Wirkmechanismus K der Propyzamid-Präparate (und dem neu zugelassenen Carbetamid) als bodenwirksame Alternative zu den Blattherbiziden in Frage.

Während sich der Einsatz von Bodenherbiziden im Getreide auf den frühen Herbsteinsatz konzentriert, muss die Anwendung von Propyzamid-Präparaten im Winterraps wegen der Verflüchtigungsgefahr bei Temperaturen unter 10 °C und damit vergleichsweise spät erfolgen. Unsicherheit schafft zu diesem Zeitpunkt neben dem Faktor Boden auch der abschirmende Kulturdeckungsgrad, der eine gleichmäßige Verteilung des Herbizides erschwert. Die nachfolgende Versuchsserie erlaubt eine Einschätzung der Wirkungssicherheit von Propyzamid-Mitteln im Vergleich mit ACCase-Hemmern unter unterschiedlichen Standort- und Witterungsbedingungen.

Material und Methoden

Versuchsanlage, Applikationen und Auswertung der Wirkungsgrade erfolgten entsprechend des EPPO Standards (PP 1/49(2)). Die Parzellenversuche wurden zwischen 2015 und 2017 mit zufallsverteilten Varianten auf Praxis-Winterrapsflächen in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz in vierfacher Wiederholung angelegt.

Die Parzellengröße lag bei mindestens 12 m², meist bei 20 m² (2x10 m). Die Herbizidapplikation erfolgte in der Regel mit einer Schachtner Karrenspritze und den Düsen Lechler IDK 12002 bei 2,5 bar und 3,6 km/h. Dies entspricht einer Ausbringungsmenge von 300 l/ha.

Ergebnisse

Die Wetterstation Neubulach des Deutschen Wetterdienstes ist repräsentativ für drei Versuchsstandorte (Gündringen, Stammheim) auf denen zwischen 2015 bis 2017 in Baden-Württemberg die Durchführung der beschriebenen Ungrasversuche erfolgte. Bei dem Vergleich der Witterungsdaten während der verschiedenen Vegetationsperioden mit den langjährigen Mittelwerten werden beispielhaft erhebliche Unterschiede in der Niederschlagsverteilung während der Anbauphasen deutlich (Abb. 1).

Auf den Versuchsflächen in Baden-Württemberg ist durch den Vergleich der Varianten 1 (Quantum+Echelon) und 2 (Fuego Top) in Tabelle 3 die Ackerfuchsschwanzwirkung einer Metazachlorbehandlung im Voraufauf zu entnehmen. Der Wirkungsgrad bewegte sich zwischen 41 und 96 Prozent und dürfte vom Aufauf des Ungrases auf der jeweiligen Fläche abhängig gewesen sein.

Die Behandlungen mit Select 240 EC (Var. 3 + 5) erzielten auf den Flächen in Baden-Württemberg in allen drei Versuchsjahren im Durchschnitt eine um 10 bis 30 % höhere Ungraswirkung im Vergleich zu der Targa Super Behandlung (Var. 4). Lediglich auf einzelnen Flächen wurden die im Rahmen der Resistenzvorbeugung geforderten hohen Wirkungsgrade von >95 % auch von dem DIM-Präparat nicht mehr erreicht.

Auf den Versuchsfeldern in Rheinland-Pfalz waren dagegen keine Unterschiede zwischen den ACCase-Hemmern erkennbar (Tab. 4). Sie erzielten 2015 alle zufrieden stellende Wirkungen. In den Folgejahren blieben sie dagegen auf allen Flächen unzureichend.

Die verschiedenen Propyzamid-Präparate wurden in dem Versuchsprogramm mit der gleichen Aktivsubstanzenmenge pro Hektar angewendet (Tab. 3, Var. 6-9; Tab. 4, Var. 4-7). Die Ungraswirkung der beiden Produkte war vergleichbar. Der Anwendungstermin hatte dagegen einen größeren Einfluss auf die Ungraskontrolle. In zwei von drei Versuchsjahren verursachte der späte Propyzamid-Einsatz einen Wirkungsverlust von etwa 10 %, unabhängig von der Region.

Tab. 1 Herbizidvarianten auf den Versuchsfeldern in Baden-Württemberg.

Tab. 1 *Herbicides and application scheme of the field trials in Baden-Wuerttemberg.*

Var.	VA	Wirkstoff g/kg oder g/l	kg/ha oder l/ha	NAH-1	NAH-2	NAW	Wirkstoff g/kg oder g/l	kg/ha oder l/ha
1	Quantum Gamit	Pethoxamid+ Clomazone 600+360	2,0 0,3					
2	Fuego Top	Metazachlor+ Quinmerac 375+125	2,0					
3	Fuego Top	Metazachlor+ Quinmerac 375+125	2,0	Select 240 EC Radiamix			Clethodim 240	0,5 1,0
4	Quantum Gamit	Pethoxamid+ Clomazone 600+360	2,0 0,3	Targa Super			Quizalofop-P 50	1,25
5	Quantum Gamit	Pethoxamid+ Clomazone 600+360	2,0 0,3	Select 240 EC Radiamix			Clethodim 240	0,5 1,0
6	Quantum Gamit	Pethoxamid+ Clomazone 600+360	2,0 0,3		Kerb Flo		Propyzamid 400	1,875
7	Quantum Gamit	Pethoxamid+ Clomazone 600+360	2,0 0,3		Mile- stone		Propyzamid+ Aminopyralid 500+5,3	1,5
8	Quantum Gamit	Pethoxamid+ Clomazone 600+360	2,0 0,3			Kerb Flo	Propyzamid 400	1,875
9	Quantum Gamit	Pethoxamid+ Clomazone 600+360	2,0 0,3			Mile- stone	Propyzamid+ Aminopyralid 500+5,3	1,5

VA: Voraufbau; bis 3 Tage nach der Saat

NAH 1: Im 2-Blattstadium der Unkräuter, ES 12 - 14 des W-Rapses

NAH 2: 1. möglicher Termin ab Ende Oktober

NAW: vor Vegetationsbeginn

Tab. 2 Herbizidvarianten auf den Versuchsflächen in Rheinland-Pfalz.**Tab. 2** *Herbicides and application scheme of the field trials in Rhineland-Palatinate.*

Var.	VA	Wirkstoff g/kg oder g/l	kg/ha oder l/ha	NAH-1	NAH-2	NAW	Wirkstoff g/kg oder g/l	kg/ha oder l/ha
1	Kontrolle							
2	Centium+ Quantum	Clomazone + Pethoxamid 360+600	0,3+ 2,0	Targa Super			Quizalofop-P 50	1,25
3	Centium+ Quantum	Clomazone + Pethoxamid 360+600	0,3+ 2,0	Select 240 EC Para Sommer			Clethodim 240	0,5 1,0
4	Centium+ Quantum	Clomazone + Pethoxamid 360+600	0,3+ 2,0		Kerb Flo		Propyzamid 400	1,875
5	Centium+ Quantum	Clomazone + Pethoxamid 360+600	0,3+ 2,0		Mile- stone		Propyzamid+ Aminopyralid 500+5,3	1,5
6	Centium+ Quantum	Clomazone + Pethoxamid 360+600	0,3+ 2,0			Kerb Flo	Propyzamid 400	1,875
7	Centium+ Quantum	Clomazone + Pethoxamid 360+600	0,3+ 2,0			Mile- stone	Propyzamid+ Aminopyralid 500+5,3	1,5

VA: Vorauflauf; bis 3 Tage nach der Saat

NAH 1: Im 2-Blattstadium der Unkräuter, ES 12 - 14 des W-Rapses

NAH 2: 1. möglicher Termin ab Ende Oktober

NAW: vor Vegetationsbeginn

Tab. 3 Ackerfuchsschwanzwirkung (%) auf den Versuchsflächen in Baden-Württemberg.**Tab. 3** *Blackgrass control (%) on the experimental sites in Baden-Wuerttemberg.*

Vgl.	Versuchs- standorte	Ackerfuchs- schwanz	Versuchs- standorte	Ackerfuchs- schwanz	Versuchs- standort	Ackerfuchs- schwanz
		% Wirkung		% Wirkung		% Wirkung
		Ø (Min-Max) [Ä/m ² in unbehandelt]		Ø (Min-Max) [Ä/m ² in unbehandelt]		Ø (Min-Max) [Ä/m ² in unbehandelt]
		2015		2016		2017
1		[1325/1560/45]		[1975/1]		[24]
2		96 (91-99)		39 (19-58)		68
3	Mötsch,	97 (94-100)	Mötsch,	26 (19-33)	Alzey**	50
4	Dreisen,	97 (93-100)	Alzey	99 (98-99)		99
5	Ebersheim	98 (95-100)		100 (99-100)		96
6		88 (83-96)		100 (99-100)		84
7		80 (70-94)		96 (93-98)		85

4-7** Zusatzbehandlung gegen Ausfallweizen erforderlich

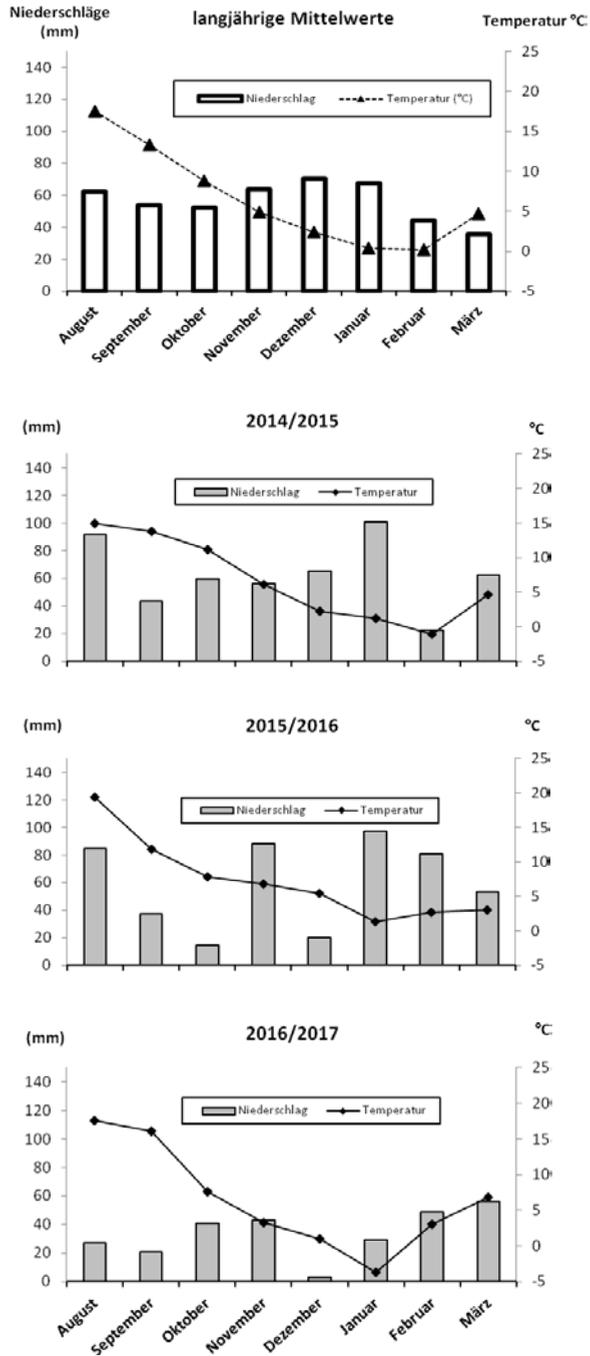


Abb. 1 Witterungsverhältnisse (Temperatur und Niederschläge) während der Rapsanbauperioden zwischen 2014 und 2016 (DWD Station Neubulach).

Fig. 1 Weather conditions (temperature and precipitation) during winter oilseed rape growing periods between 2014 and 2016 (DWD, Neubulach).

Tab. 4 Ackerfuchsschwanzwirkung (%) auf den Versuchsflächen in Rheinland-Pfalz.**Tab. 4** Black grass control (%) on the experimental sites in Rhineland-Palatinate.

Vgl.	Versuchsstandorte	Ackerfuchsschwanz % Wirkung	Versuchsstandorte	Ackerfuchsschwanz % Wirkung	Versuchsstandorte	Ackerfuchsschwanz % Wirkung
		Ø (Min-Max) [Ä/m ² in unbehandelt]		Ø (Min-Max) [Ä/m ² in unbehandelt]		Ø (Min-Max) [Ä/m ² in unbehandelt]
		2015			2016	
1		[1080/7/521]		[37/413/ 26/373]		[32/242]
2		84 (79-90)		59 (41-71)		81 (66-96)
3		94 (90-100)	Neresheim,	93 (89-99)		98 (98-99)
4	Reichenbuch,	84 (65-95)	Hainstadt,	63 (32-87)	Gündringen,	82 (69-95)
5	Stammheim,	97 (91-100)	Gündringen	92 (83-98)	Sternenfels	96 (94-98)
6	Sternenfels	100 (100)	Diefenbach	99 (97-99)		95 (90-100)
7		100 (100)		83 (38-100)		94 (88-100)
8		99 (98-99)		81 (47-99)		86 (72-100)
9		96 (90-100)		70 (13-100)		89 (78-100)

Diskussion

Die ACCase-Hemmer waren in den Versuchen gewohnt wirkungssicher. In Baden-Württemberg zeigte das DIM-Präparat allerdings in allen Versuchsjahren eine höhere Wirkungssicherheit gegen Ackerfuchsschwanz. Die Ursache könnte auf dem Mutationsort und der genetischen Etablierung von ACCase-Resistenzen beruhen. Auf den Standorten in Rheinland-Pfalz war dieser Effekt nicht zu beobachten. In zwei von drei Versuchsjahren blieben sowohl das FOP- als auch das DIM-Präparat völlig unzureichend. Da sich der Anwendungstermin des Blattherbizides hauptsächlich am konkurrenzstarken Ausfallgetreide orientierte, wurde möglicherweise der Ackerfuchsschwanz nicht vollständig getroffen, wenn er nachfolgend noch keimte.

Der Vergleich der Ackerfuchsschwanz-Wirkungen der Propyzamid-Mittel zeigte keine größeren Unterschiede zwischen den beiden Präparaten. Auffällig war dagegen, dass der frühe Anwendungstermin im Herbst (NAH2) im Vergleich mit der späten Anwendung vor Vegetationsbeginn im Frühjahr (NAW) in zwei von drei Jahren die höhere Wirkungssicherheit besaß. Zur optimalen Wirkungsentfaltung sind die Bodenherbizide auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung auf der Fläche angewiesen. Der Kulturdeckungsgrad nimmt allerdings ständig zu und es bilden sich so Spritzschatten. Eine erfolgreiche Anwendung der Propyzamid-Mittel ist daher vor allem im Herbst vor der Vegetationsruhe zu realisieren.

In Abhängigkeit vom Ausfallgetreidedruck (Menge und Auflauftermin) kann eine frühzeitige Anwendung von ACCase-Hemmern erforderlich sein, um Ertragsverlust zu vermeiden. Häufig herrschen dann noch zu hohe Tagestemperaturen für einen Propyzamid-Einsatz. Insbesondere in den trockeneren Rapsanbaugebieten liegt der Schwerpunkt des Ackerfuchsschwanzauflaufes jedoch deutlich später, so dass eine Spritzfolge mit Propyzamid erforderlich wird (Tab. 4, Standort Alzey 2017).

Auf den Versuchsflächen in Baden-Württemberg ist eine Abschätzung der Ackerfuchsschwanz-Teilwirkung durch den Wirkstoff Metazachlor möglich (Vergleich Variante 1 und 2), der ebenfalls eine ausgeprägte Bodenwirkung (K) besitzt. Die Wirkungsgrade bewegen sich je nach Fläche und Ackerfuchsschwanzauflaufzeitpunkt zwischen 41 und 96 %. Bei künftigen Strategien einer Metazachlor-reduzierten oder gar -freien Rapsunkrautbekämpfung zur Reduzierung der Problematik um nicht relevante Metabolite (nrM) muss diese fehlende Nebenwirkung berücksichtigt werden.

Literatur

ANONYM, 1998: Guidelines for the efficacy evaluation of plant protection products, Vol. 4: Herbicides and plant growth regulators EPPO, Paris, 67-73.

Untersuchung pflanzenbaulicher Maßnahmen zur Zurückdrängung von Herbizid-resistentem Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*)

*Investigation of crop management strategies for control of herbicide-resistant blackgrass (*Alopecurus myosuroides*)*

Christina Wellhausen*, Lena Ulber, Dagmar Rissel

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

*Korrespondierende Autorin, christina.wellhausen@julius-kuehn.de

DOI 0.5073/jka.2018.458.012



Zusammenfassung

In einem Feldversuch am Standort Wendhausen (Nähe Braunschweig) werden seit Herbst 2016 verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung eines starken Besatzes von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) auf zwei Versuchsflächen geprüft. Für den Acker-Fuchsschwanz sind Resistenzen gegen ACCase-Hemmer sowie partiell gegen ALS-Hemmer bekannt. Als Prüfvarianten werden unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren, Aussaatzeitpunkte, Aussaatverfahren sowie Anwendungszeitpunkte der Bodenherbizide getestet. Die Bodenbearbeitungsverfahren unterteilen sich in wendende und nicht-wendende Bodenbearbeitung. Als Aussaatverfahren wurden eine klassische Aussaat (mit Bodenbearbeitung zur Saat) und die Anlage eines falschen Saatbetts 3-4 Wochen vor Aussaat (mit anschließender Direktsaat) gewählt. Ergebnisse zur Entwicklung der Besatzdichten aus dem ersten Versuchsjahr zeigen eine deutliche Reduzierung des Acker-Fuchsschwanzes durch wendende Bodenbearbeitung, insbesondere in Kombination mit der Anlage eines falschen Saatbetts. Die geringste Reduktion wurde in den Varianten mit nicht-wendender Bodenbearbeitung und klassischer Aussaat beobachtet. Insgesamt ist bei einer Beibehaltung einer Fruchtfolge mit, die ausschließlich aus Winterungen besteht, eine vollständige Zurückdrängung des Acker-Fuchsschwanzes nur sehr schwer zu erreichen.

Stichwörter: Besatzdichte, Feldversuche, Resistenzmanagement

Abstract

Different management strategies to reduce high black-grass (*Alopecurus myosuroides*) infestation levels are investigated in two selected fields situated in Wendhausen (Germany) since autumn 2016. The black-grass populations on both fields show resistance against ACCase inhibitors as well as partial resistance against ALS inhibitors. The tested strategies include different tillage systems, sowing dates, seedbed preparation and herbicide application times. The two tillage systems consist of inversion and non-inversion tillage. For seedbed preparation a conventional method (using a cultivated seed drill) is compared to a false seedbed prepared 3 to 4 weeks before drilling, followed by direct drilling. Results on black grass density development from the first year of trials show that inversion tillage, especially in combination with a false seedbed, led to the highest reduction in black-grass density. The lowest reduction was achieved with non-inversion tillage and conventional drilling. Overall, a complete control of black-grass will be very difficult to achieve while maintaining a crop rotation consisting only of winter crops.

Keywords: Field trials, plant density, resistance management

Einleitung

Die Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) wird, insbesondere in Winterkulturen, zu einer zunehmenden Herausforderung. Eine vollständige Kontrolle allein durch chemische Maßnahmen ist durch die Ausbreitung von Resistenzen häufig nicht mehr gegeben. Die Anwendung nicht-chemischer Maßnahmen gewinnt daher zunehmend an Bedeutung, obwohl deren Wirksamkeit häufig nicht an die der Herbizide heranreicht (Moss, 2010).

Ziel des vorliegenden Versuches war es daher, verschiedene Kombinationen von chemischen und nicht-chemischen Maßnahmen auf zwei durch starken Acker-Fuchsschwanz-Besatz geprägten Flächen zu prüfen, um eine möglichst hohe Reduzierung des Besatzes zu erreichen. Dabei sollte zunächst die durch einen dort eigentlich angesiedelten Versuch vorgegebene Fruchtfolge von Winterweizen, Wintergerste und Winterraps beibehalten werden.

Material und Methoden

Versuchsdesign

Der Versuch wurde 2016 auf zwei Versuchsflächen am Standort Wendhausen, in der Nähe von Braunschweig, angelegt. Die Flächen werden seit 2008 mit der Fruchtfolge Winterraps – Winterweizen – Wintergerste bewirtschaftet und sind durch einen mäßigen bis starken Besatz mit Acker-Fuchsschwanz geprägt. Vor Versuchsbeginn durchgeführte Tests deuteten eine ausgeprägte Resistenz des Acker-Fuchsschwanzes gegenüber ACCase-Hemmern sowie eine teilweise reduzierte Sensitivität gegenüber ALS-Hemmern an; weitere Resistenzanalysen wurden im Laufe des Versuchs durchgeführt (Daten hier nicht gezeigt). Ein Verzicht auf den Einsatz von Herbiziden der HRAC-Gruppe A wurde daher angestrebt. Zudem wurden vor Versuchsbeginn Bodenproben zur Erhebung des Samenpotentials gezogen (Daten ebenfalls nicht gezeigt). Die je ca. 2,2 ha großen Flächen wurden zur Untersuchung der genannten pflanzenbaulichen Maßnahmen jeweils längs zur Hälfte gepflügt bzw. gegrubbert. Quer zu den Bodenbearbeitungsvarianten wurde dann entweder ein falsches Saatbett etwa 2-4 Wochen vor Aussaat angelegt (Variante I) oder eine klassische Aussaat mit Bodenbearbeitung zur Saat (Var. II) durchgeführt. Insgesamt wurde jede Flächen in 8 Parzellen unterteilt, die jeweils 4 unechte Wiederholungen enthielten (Abb. 1).

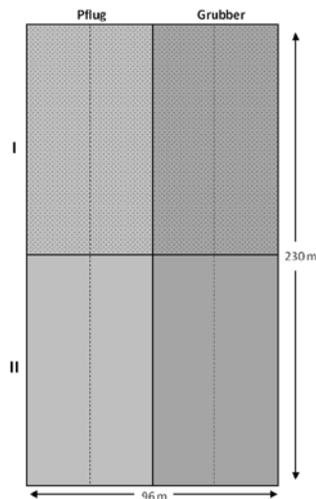


Abb. 1 Versuchsdesign im Versuchsjahr 2016/2017.

Fig. 1 Experimental design in experimental year 2016/2017.

Tab. 1 Herbizidbehandlungen im Versuchsjahr 2016/2017.**Tab. 1** *Herbicide treatments in experimental year 2016/2017.*

Kultur	Zeitpunkt	Herbizid	Wirkstoffe	Aufwandmenge
W-Weizen	Herbst	Herold SC + Boxer	Diflufenican, Flufenacet, Prosulfocarb	0,6 + 2 l/ha
W-Gerste	Frühjahr	Atlantis WG	Iodosulfuron, Mesosulfuron	0,5 kg/ha
	Herbst	Cadou Forte	Diflufenican, Flurtamone, Flufenacet	0,75 + 0,3 l/ha
		Set		
		Herold SC + Boxer + Malibu	Diflufenican, Flufenacet, Prosulfocarb, Pendimethalin	0,3 + 2 + 2 l/ha
	Frühjahr	UP CTU	Chlortoluron	3 l/ha

Der Fruchtfolge-Rotation folgend wurden die Flächen im Herbst 2016 mit Wintergerste bzw. Winterweizen bestellt. In beiden Kulturen wurde die Applikation der Bodenherbizide im Herbst in Variante II zwischen Vor- und frühem Nachauflauf variiert (Tab. 1).

In Variante I erfolgte eine Glyphosat-Applikation vor Aussaat, daher wurden die Bodenherbizide nur im Nachauflauf angewendet. In der Wintergerste erfolgte aufgrund des geringen Wirkungserfolges der Vorauf-Behandlung in dieser Variante eine Nachbehandlung mit Herold SC + Boxer + Malibu. Die Herbizidapplikation im Frühjahr wurde auf beiden Flächen ganzflächig durchgeführt.

Erhebungen zur Acker-Fuchsschwanz-Besatzdichte

Vor Versuchsbeginn wurde auf der Fläche mit dem höheren Ausgangsbesatz die Anzahl ährentragender Acker-Fuchsschwanz-Halme erfasst. Während des Versuches wurde die Anzahl der Acker-Fuchsschwanz-Pflanzen vor und nach den Herbizidbehandlungen (Ausnahme Vorauf-Anwendung) in Herbst und Frühjahr gezählt. Vor der Ernte wurde wiederum die Anzahl der Acker-Fuchsschwanz-Ähren erfasst. Die Anzahl der Pflanzen bzw. Ähren wurde mit einem 0,1 m² Schätzrahmen ermittelt. Die Erfassung erfolgte in jeder der vier Wiederholungen pro Abschnitt, mit 2 bzw. 4 Zählstellen pro Wiederholung.

Ergebnisse

Bodenbearbeitung

Sowohl in Wintergerste als auch in Winterweizen konnte eine höhere Acker-Fuchsschwanz-Besatzdichte in den Parzellen mit nicht-wendender Bodenbearbeitung festgestellt werden. Die Wintergersten-Fläche wies einen insgesamt deutlich höheren Ausgangsbesatz im Herbst auf und die Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren blieben auch im Frühjahr bestehen. Im Winterweizen zeigte sich im Frühjahr nur ein geringer Unterschied zwischen wendender und nicht-wendender Bodenbearbeitung (Abb. 2a+b).

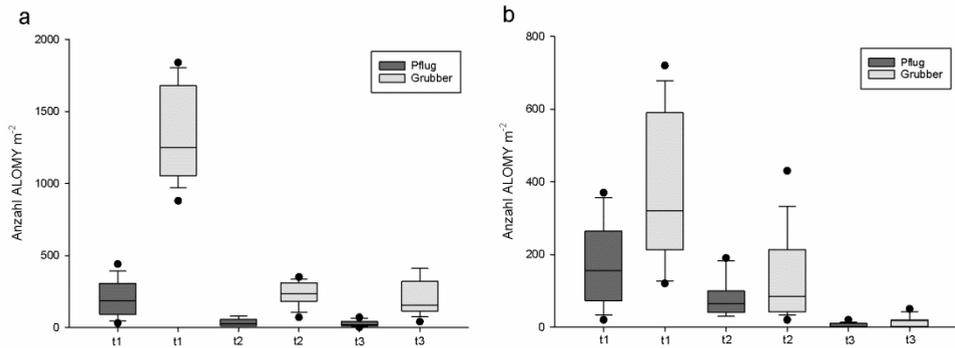


Abb. 2a+b Anzahl Acker-Fuchsschwanzpflanzen m^{-2} in Wintergerste (links) und Winterweizen (rechts) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. t1: nach Nachauflauf-Behandlung Herbst, t2: vor Frühjahrs-Behandlung, t3: nach Frühjahrs-Behandlung.

Fig. 2a+b Number of black-grass plants m^{-2} in winter barley (left) and winter wheat (right) for different tillage systems. t1: after autumn post-emergence application, t2: before spring application, t3: after spring application.

Aussaatverfahren

Die Anlage eines falschen Saatbetts führte unabhängig von der Grundbodenbearbeitung zu einer deutlichen Reduzierung der Ackerfuchsschwanz-Besatzdichte im Vergleich zu einer klassischen Aussaat ohne falsches Saatbett (Abb. 3, exemplarisch dargestellt für Wintergerste).

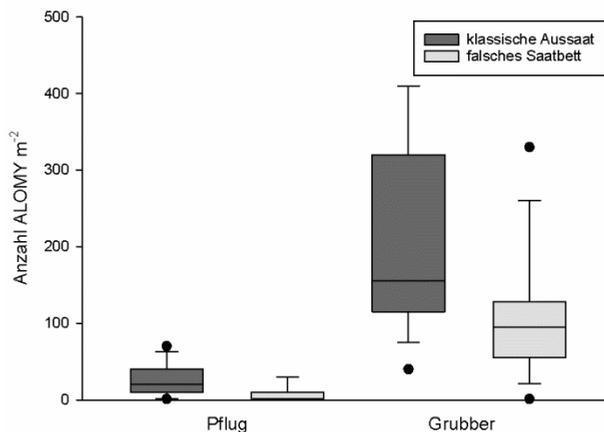


Abb. 3 Anzahl Acker-Fuchsschwanzpflanzen m^{-2} im Frühjahr in Wintergerste in Abhängigkeit vom Aussaatverfahren, unterteilt in wendende und nicht-wendende Bodenbearbeitung.

Fig. 3 Number of black-grass plants m^{-2} in spring in winter barley for different seedbed preparation methods, separated for inversion and non-inversion tillage.

Anwendungszeitpunkt des Bodenherbizids

Für die Vor- oder Nachauflauf-Anwendung der jeweiligen Bodenherbizide im Herbst konnte weder für Wintergerste noch für Winterweizen ein deutlicher Einfluss des Anwendungszeitpunktes ermittelt werden. Während in Wintergerste in der gepflügten Variante die Voraufauf-Anwendung eine höhere Wirksamkeit zeigte, wurde in Winterweizen eine höhere Wirksamkeit der Nachauflauf-

Variante beobachtet. Für die gegrubberte Variante konnte in beiden Kulturen ebenfalls keine eindeutige Aussage getroffen werden (Abb. 4a+b).

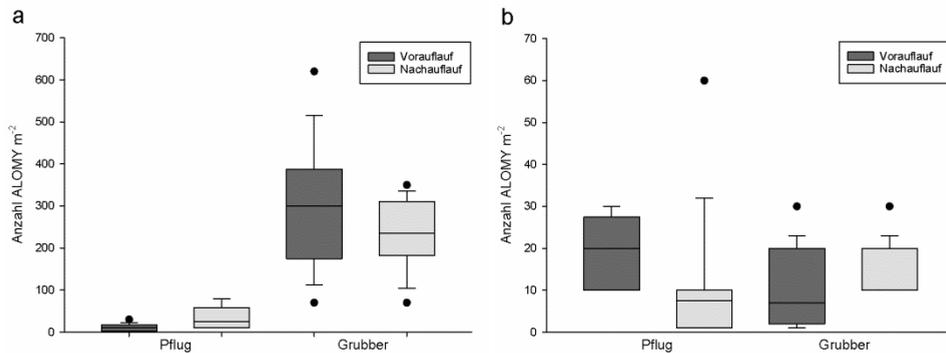


Abb. 4a+b Anzahl Acker-Fuchsschwanzpflanzen m^{-2} im Frühjahr in Wintergerste (links) und Winterweizen (rechts) in Abhängigkeit vom Anwendungszeitpunkt des Bodenherbizids im Herbst, unterteilt in wendende und nicht-wendende Bodenbearbeitung.

Fig. 4a+b Number of black-grass plants m^{-2} in spring in winter barley (left) and winter wheat (right) for pre- and post-emergence application times of herbicides in autumn, separated for inversion and non-inversion tillage.

Diskussion

Durch wendende Bodenbearbeitung konnte eine deutliche Reduzierung der Besatzdichte gegenüber nicht-wendender Bodenbearbeitung erreicht werden. Dies wurde auch bereits in anderen Studien bestätigt. So zeigten LUTMAN et al. (2013), dass durch Pflugeinsatz eine durchschnittliche Reduzierung des Acker-Fuchsschwanz-Besatzes von 69 % erreicht werden konnte. Im vorliegenden Versuch galt dies insbesondere für die Fläche mit einem höheren Ausgangsbesatz, während der Effekt bei einem geringeren Ausgangsbesatz weniger deutlich war.

Die Anlage eines falschen Saatbetts führte ebenfalls zu einem geringeren Acker-Fuchsschwanz-Besatz. Besonders in Kombination mit wendender Bodenbearbeitung kann so eine wirksame Unterdrückung des Fuchsschwanzes erreicht werden. Diese Ergebnisse decken sich mit denen von HENNE et al. (2018), die bei diesem Verfahren jedoch auch auf eine stärkere Abhängigkeit von der Witterung hinweisen.

Zum Anwendungszeitpunkt des Bodenherbizids konnte hier kein Unterschied zwischen einer Anwendung im Vor- oder frühen Nachauflauf festgestellt werden. Letztlich entscheidend sind die vorherrschenden Witterungsbedingungen, da für eine optimale Wirkung eine ausreichende Bodenfeuchte gegeben sein sollte.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse aus dem ersten Versuchsjahr, dass eine Reduzierung des Acker-Fuchsschwanzes durch pflanzenbauliche Maßnahmen möglich ist, eine vollständige Kontrolle bei einem hohen Ausgangsbesatz aber ohne Weiteres nicht erreicht werden kann. Eine Aufnahme von Sommerungen in die Fruchtfolge würde eine noch stärkere Zurückdrängung ermöglichen (LUTMAN et al., 2013) und wird daher für die kommenden Versuchsjahre angestrebt.

Literatur

- HENNE, U., M. LANDSCHREIBER und C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2018: Entwicklung nachhaltig wirkender Methoden zur Ackerfuchsschwanzbekämpfung. *Julius-Kühn-Archiv* **458**.
- LUTMAN, P., 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.
- MOSS, S.R., 2010: Non-chemical methods of weed control: benefits and limitations. In: Proceedings of the 17th Australasian Weeds Conference (Hrsg. SM Zydenbos) 14-19. New Zealand Plant Protection Society, Christchurch, New Zealand.

Herbizidresistenz auf deutschen Betrieben: Wie schätzen Landwirte das Resistenzrisiko und die Wirksamkeit von Anti-Resistenzstrategien ein?

Herbicide resistance awareness and application of management strategies among German farmers

Lena Ulber

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11-12,
38104 Braunschweig, Germany
lena.ulber@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.013



Zusammenfassung

In einer in 2015 durchgeführten Online-Umfrage sollte den folgenden Fragen nachgegangen werden: Wie schätzen die Landwirte in Deutschland aktuell die Resistenzgefahr ein? Welche Informationsquellen nutzen sie? Welche Maßnahmen zur Vermeidung der Resistenzentstehung und -ausbreitung werden auf den Betrieben angewandt und wie werden diese Maßnahmen in ihrer Wirksamkeit bewertet?

Insgesamt 423 Landwirte haben an der Umfrage teilgenommen. Die Mehrzahl (88 %) gab an, sich der Problematik der Herbizidresistenz bewusst zu sein. Bei 64 % der befragten Landwirte traten Fälle von Herbizidresistenz im jeweiligen Landkreis auf und 50 % gaben an, selber resistente Unkräuter auf ihrem Betrieb bemerkt zu haben. Von den Landwirten gaben 87 % an, gezielt Maßnahmen zur Reduzierung des Resistenzrisikos anzuwenden. Ein Wechsel der Wirkmechanismen über die Fruchtfolge wurde dabei am häufigsten genannt und auch als die wirksamste Strategie zur Resistenzvermeidung durch die teilnehmenden Landwirte eingeschätzt. Höhere Kosten wurden als das größte Hindernis bei der Durchführung von Anti-Resistenzmaßnahmen angegeben.

Stichwörter: Anti-Resistenzstrategien, Herbizidresistenz, Umfrage

Abstract

In an online survey conducted among German farmers in 2015, the following aspects were assessed: Are German farmers aware of the problem of herbicide resistance? What sources do farmers use for information on herbicide resistance? Which resistance management strategies are applied and how do farmers perceive their effectiveness?

In total, 423 participated in the survey. The majority of farmers (88%) answered to be aware of the presence of herbicide resistance cases in Germany and 64% and 50% of the farmers reported that resistant weeds were detected in their county or on their farm, respectively. Resistance management strategies were reported to be applied by 87% of the farmers and the strategy of rotating herbicide mode of action within the crop rotation was ranked the most effective strategy to minimize the evolution of resistant weed populations. Higher cost was the obstacle most cited by farmers for the application of resistance management strategies.

Outcomes from this survey may help researchers and crop consultants to increase understanding of farmers' perception of herbicide resistance issues, to improve knowledge dissemination concerning herbicide resistance and to develop resistance management programs with high agronomic practicability and acceptance by farmers.

Keywords: Herbicide resistance, resistance management strategies, survey

Einleitung

Das Auftreten von Herbizidresistenzen bei Unkräutern ist zur Realität auf vielen landwirtschaftlichen Betrieben Deutschlands geworden. Doch auch, wenn das Phänomen der Herbizidresistenz in Deutschland allgegenwärtig scheint, können die Wahrnehmung des Resistenzrisikos und die Anwendung von entsprechenden Anti-Resistenzstrategien von Betrieb zu Betrieb sehr unterschiedlich sein. In einer in 2015 durchgeführten Online-Umfrage sollte daher den Fragen nachgegangen werden, wie die Landwirte in Deutschland aktuell die Resistenzgefahr in Deutschland einschätzen und welche Maßnahmen zur Vermeidung der Resistenzentstehung und -ausbreitung auf den Betrieben angewandt werden. Zudem wurden die persönlichen Erfahrungen mit resistenten Unkräutern in dem Landkreis und auf dem Betrieb der teilnehmenden Landwirte abgefragt. Auch wurden die Landwirte gebeten, die hauptsächlichsten

Informationsquellen zu nennen, die sie nutzen, um sich über die Problematik der Herbizidresistenz zu informieren sowie Instrumente zu nennen, die sie nutzen, um Resistenzen bei verdächtigen Unkrautpopulationen zu diagnostizieren.

Material und Methoden

Die Umfrage wurde im Jahr 2015 über einen Zeitraum von acht Monaten durchgeführt. Es wurde ein Fragenkatalog mit 21 Fragen erarbeitet, der aus Fragen zur Betriebsstruktur der Teilnehmer, zur Einschätzung der Resistenzproblematik und den eigenen Erfahrungen mit resistenten Unkräutern sowie Fragen zum Resistenzmanagement bestanden. Voraussetzung für die Teilnahme war eine konventionelle Wirtschaftsweise. Um möglichst viele Landwirte zu erreichen, wurde über verschiedene landwirtschaftliche Online-Informationportale, landwirtschaftliche Fachzeitschriften und E-Mail-Verteiler über die Umfrage informiert.

Die Auswertung der einzelnen Fragenkomplexe erfolgte mit der Software R unter Verwendung des Mann-Whitney-Wilcoxon-Tests und Chi-square-Tests.

Ergebnisse und Diskussion

Charakterisierung der teilnehmenden Landwirte

Insgesamt 423 Landwirte haben an der Umfrage teilgenommen. Aus den Bundesländern Bayern und Niedersachsen kamen mit 21 % bzw. 17 % der Teilnehmer die meisten Landwirte. Aus Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Thüringen kamen jeweils zwischen 8 und 10%, während die restlichen Bundesländer mit einer Teilnahme < 4 % unterrepräsentiert waren. Die Mehrheit der teilnehmenden Landwirte (94 %) war dabei auf dem jeweiligen Betrieb für die Planung der Unkrautbekämpfung und Auswahl der Herbizide verantwortlich. Die landwirtschaftliche Nutzfläche der Betriebe unterschied sich stark und variierte zwischen 2 und 5000 ha (Abb. 1). 40 % der teilnehmenden Betriebe wiesen dabei eine Ackerfläche von unter 100 ha und 37 % eine Ackerfläche von 100-500 ha auf. Betriebe mit einer Ackerfläche von mehr als 500 ha machten nur 23 % der teilnehmenden Betriebe aus.

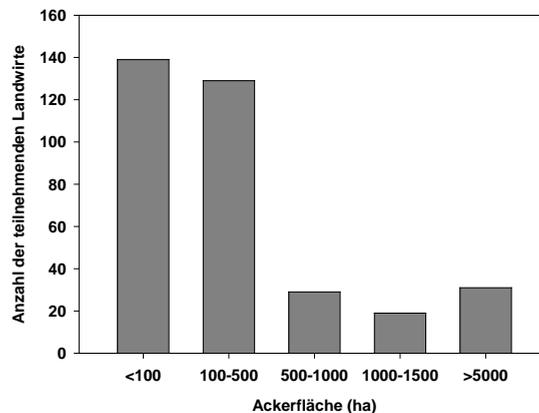


Abb. 1 Verteilung der Größe der betrieblichen Ackerfläche (ha) der teilnehmenden Landwirte.

Fig. 1 Acreage (ha) of participating farmers.

Der Großteil der teilnehmenden Betriebe (65 %) erzielte das hauptsächliche Einkommen durch Ackerbau, gefolgt von Veredelungs- (13 %) und Gemischtbetrieben (12 %).

Auftreten von Herbizidresistenz auf den teilnehmenden Betrieben

Die Mehrzahl der Landwirte (88 %) gab an, sich der Problematik der Herbizidresistenz bewusst zu sein. Bei 74 % der befragten Landwirte traten Fälle von Herbizidresistenz im jeweiligen Landkreis auf und 50 % gaben an, selber resistente Unkräuter auf ihrem Betrieb beobachtet zu haben. Hier gab es einige wenige regionale Unterschiede: So war die Häufigkeit von Resistenzfällen im Landkreis bei den Landwirten in Baden-Württemberg und Niedersachsen mit 97 % bzw. 87 % sehr hoch, während sie in den anderen Ländern dem oben angegebenen Bundesdurchschnitt entsprach. Das Auftreten von resistenten Unkräutern auf dem eigenen Betrieb war insbesondere in Bayern und Rheinland-Pfalz sehr hoch. Dort gaben 70 % bzw. 67 % der Landwirte an, selber Resistenzen auf ihrem Betrieb zu haben. Die Häufigkeit des Resistenzauftritts in den oben genannten Bundesländern ist vermutlich mit der Intensität des Auftretens von *Alopecurus myosuroides* korreliert. Dieser tritt in den genannten Bundesländern verhältnismäßig häufig auf, während er in anderen Bundesländern weniger stetig zu finden ist. So traten Resistenzen auf den Betrieben in Mecklenburg-Vorpommern seltener als im Durchschnitt auf (27 %). Zudem gab es einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Resistenz auf den jeweiligen Betrieben und der Größe der betrieblichen Ackerfläche. Betriebe mit Herbizidresistenz wiesen im Mittel eine größere Ackerfläche auf als Betriebe, auf denen bisher keine Resistenz auftrat.

Das am häufigsten von Resistenzen betroffene Unkraut war laut Angaben der teilnehmenden Landwirte sowohl auf Landkreis- als auch auf Betriebsebene der Acker-Fuchsschwanz, der auf mehr als 60 % der Betriebe auftrat. Als am zweithäufigsten von Resistenzen betroffene Art wurde der Gemeine Windhalm angegeben, der bei mehr als 20 % der teilnehmenden Landwirte auftrat. Weitere resistente Arten wie Weidelgräser, Trespe-Arten, Hirse-Arten, Weißer Gänsefuß, Kamille-Arten und Vogel-Sternmiere wurden ebenfalls von einigen Landwirten genannt, scheinen aber laut den Umfrageergebnissen bisher nur begrenzt aufzutreten. Dies deckt sich mit Zahlen von Resistenzmonitorings, die bei Weidelgräsern (Fachhochschule Bingen) und Kamille-Arten (Julius Kühn-Institut) durchgeführt wurden und ebenfalls nur eine begrenzte Anzahl von Resistenzfällen bei diesen Arten aufwiesen.

Einschätzung des Resistenzrisikos

Auf einer Skala von 1 (kein Problem) bis 10 (großes Problem) sehen die befragten Landwirte die Situation bei den Ungräsern als problematisch an (7,4) während die Resistenzproblematik bei zweikeimblättrigen Unkräutern noch als eine geringere Bedrohung eingestuft wird (4,6). Dies deckt sich mit der aktuellen Resistenzsituation in Deutschland, bei der Resistenzen deutlich stärker bei Ungräsern als bei zweikeimblättrigen auftreten. Dabei hatte das Vorhandensein von Resistenzen auf den eigenen Flächen nur einen geringen Einfluss auf die Einschätzung des Resistenzrisikos. So schätzen diejenigen Landwirte, die angaben, selber Resistenzen auf ihren Betrieb zu haben, das Risiko bei den Ungräsern geringfügig höher ein (8,2) als diejenigen ohne eigene Resistenzerfahrungen auf ihren Flächen (7,4). Bei den zweikeimblättrigen Unkräutern waren hier keine Unterschiede sichtbar.

Informationsquellen

Von der Problematik der Resistenzgefahr haben die Landwirte durch unterschiedliche Informationsquellen erfahren. Die Mehrzahl der Landwirte (91 %) ist durch landwirtschaftliche Fachzeitschriften auf das Thema Herbizidresistenz aufmerksam geworden. 69 % haben auf Fachveranstaltungen und nur 66 % durch die amtliche Beratung von der Resistenzproblematik erfahren (Mehrfachnennungen möglich).

Diagnose von Herbizidresistenz

Bei einer Minderwirkung von Herbiziden muss nicht immer eine Herbizidresistenz vorliegen. Ungünstige Witterungsverhältnisse, Wirkungslücken oder suboptimale Applikationszeitpunkte

der Herbizide können ebenso für das Überleben einzelner Arten oder Individuen verantwortlich sein. Von den befragten Landwirten, bei denen laut eigener Angabe bereits Resistenzfälle auf ihren Flächen auftreten, gaben 45 % an, dass es sich bei ihrer „Resistenzdiagnose“ um ihre eigene persönliche Einschätzung handelte. Nur 23 % nutzen die Einschätzung eines Beraters und 17 % bzw. 14 % ließen Samenproben durch den amtlichen Pflanzenschutzdienst bzw. eine Pflanzenschutzmittelfirma testen. Die Testung von Samenproben hat gegenüber der rein persönlichen Einschätzung des Resistenzproblems für den Landwirt den Vorteil, dass er neben einer eindeutigen Aussage, ob eine Resistenz vorliegt oder nicht, auch Informationen zu dem Mechanismus der Resistenz und den betroffenen Wirkstoffen oder Wirkstoffgruppen erhält. So können Herbizidstrategien zielgerichtet anpassen werden.

Anwendung von Maßnahmen zur Reduzierung des Resistenzrisikos

Von den befragten Landwirten gaben 96 % an, gezielt Maßnahmen zur Reduzierung des Resistenzrisikos anzuwenden. Im Rahmen der Umfrage wurden die Landwirte zunächst danach befragt, welche Maßnahmen zur Reduzierung des Resistenzrisikos sie konkret auf ihren Betrieben anwenden. In einem weiteren Schritt wurden sie gebeten, die Wirksamkeit der jeweiligen Maßnahme hinsichtlich der Resistenzvermeidung zu bewerten. Die Bewertung erfolgte auf einer Skala von 1 bis 10:1 bedeutete „nicht wirksam“ und 10 „sehr wirksam“ (Tab. 1).

Tab. 1 Anwendung von Maßnahmen zur Reduzierung des Resistenzrisikos und Bewertung deren Wirksamkeit durch die teilnehmenden Landwirte.

Tab. 1 Application of resistance management strategies and related efficacy ratings by participating farmers.

Art der Maßnahme	Anteil der Landwirte, die Maßnahme anwenden* (%)	Mittlere Bewertung der Wirksamkeit der Maßnahme**
Wechsel der Wirkmechanismen bei den eingesetzten Herbiziden innerhalb der Kultur	64	7,3
Wechsel der Wirkmechanismen bei den eingesetzten Herbiziden innerhalb der Fruchtfolge	89,3	8,3
Applikation der maximal zugelassenen Herbizid-aufwandmenge	54,5	6,9
Einsatz von Voraufbauherbiziden	59,0	5,9
Glyphosateinsatz vor der Saat	41,2	5,4
Wendende Bodenbearbeitung (Pflugeinsatz)	59,9	6,9
Fruchtfolge mit Wechsel von Blatt- und Halmfrüchten innerhalb von 5 Jahren	76,3	7,4
Fruchtfolge mit Wechsel von Winterungen und Sommerungen innerhalb von 5 Jahren	46,3	7,2
Anbau von Zwischenfrüchten	54,8	4,6
Spätere Aussaattermine bei Wintergetreide	44,9	6,5

*Frage: „Welche der folgenden Maßnahmen wenden Sie auf Ihrem Betrieb an?“ (Mehrfachnennungen möglich)

**Frage: „Unabhängig von Ihrer eigenen betrieblichen Situation, welche der nachstehenden Maßnahmen würden Sie generell als wirksam zur Resistenzvermeidung einstufen?“ (Skala von 1 bis 10; 1 bedeutet „nicht wirksam“ und 10 „sehr wirksam“)

Zudem sollten die Landwirte angeben, wie sie die Anwendbarkeit der Maßnahmen einschätzen. Hier standen als Hinderungsgründe für die Anwendung einzelner Maßnahmen verschiedene Faktoren wie Witterung, Kosten, Zeitaufwand, ungenügende Kontrolle der Unkräuter, zu geringer Ertrag und Erosionsgefahr zur Auswahl.

Die Mehrzahl der Landwirte (98,3 %) setzt innerhalb der Fruchtfolge einen Wechsel der Wirkmechanismen bei den Herbiziden ein. Trotz der vielfach diskutierten positiven Wirkung dieser Wirkstoffrotation bewerten die befragten Landwirte die Maßnahme hinsichtlich der Resistenzvermeidung nur mit einer Wirksamkeit von durchschnittlich 7,3 Punkten. Innerhalb der Kultur werden die Wirkmechanismen bei den eingesetzten Herbiziden durch die teilnehmenden Landwirte deutlich weniger häufig gewechselt (64 %), obwohl die Wirksamkeit gegenüber der vorher genannten Wirkstoff-Rotation über die Fruchtfolge von den Landwirten als im Mittel effektiver eingeschätzt wird (8,2). Dies deutet darauf hin, dass die Landwirte zwar einen Wechsel der Wirkmechanismen über die Fruchtfolge planen, innerhalb derselben Kultur aber oft die gleichen, bewährten Wirkstoffe einsetzen. Zudem sah mehr als die Hälfte der teilnehmenden Landwirte einen Wechsel der Wirkmechanismen aufgrund der anfallenden höheren Kosten als problematisch an. Gerade im Wintergetreide sollten im Rahmen von Anti-Resistenzstrategien gegen resistenzgefährdete Unkräuter wie Acker-Fuchsschwanz und Gemeinen Windhalm neben den resistenzgefährdeten ACCase-Hemmern und ALS-Hemmern auch andere Wirkmechanismen wie die Bodewirkstoffe Flufenacet oder Pendimethalin mit einem geringeren Resistenzrisiko zwingend eingesetzt werden (BAILLY et al., 2012). Diese Wirkstoffe für den Einsatz im Voraufbau werden auch von 59 % der Landwirte angewandt, werden aber hinsichtlich ihres Potentials zur Resistenzvermeidung nur mit einer mittleren Wirksamkeit bewertet (5,9). Dies ist vermutlich auf die stark witterungs- und terminabhängige Wirksamkeit dieser Herbizide zurückzuführen, die auch von mehr als 50 % der teilnehmenden Landwirte als problematisch angesehen wird

54 % der befragten Landwirte gaben an, die maximal zugelassene Herbizidaufwandmenge anzuwenden um Resistenzen zu vermeiden. Diese Maßnahme wird von den Landwirten im Mittel mit einer mittleren bis hohen Wirksamkeit (6,9) bewertet. Auch, wenn sich die Wissenschaft hinsichtlich der Frage noch nicht einig ist, ob reduzierte Herbizidaufwandmengen die Resistenzentstehung fördern oder nicht, haben Beispiele aus Dänemark gezeigt, dass die Reduzierung der zugelassenen Aufwandmenge, insbesondere bei der resistenzgefährdeten Wirkstoffgruppe der ALS-Hemmer zu einer beschleunigten Resistenzentwicklung führen kann (KUDSK, 2014). Allerdings sehen 93 % der Landwirte in dieser Studie die Applikation der vollen Aufwandmenge als problematisch hinsichtlich der höheren Kosten an.

Der Einsatz von Glyphosat vor der Saat zur Resistenzvermeidung wird von 41 % der teilnehmenden Landwirte angewandt. Fest steht, dass Glyphosat ein wirksames Herbizid zur Begrenzung der Entwicklung von resistenten Populationen ist, da bisher in Deutschland keine Resistenzen gegen Glyphosat nachgewiesen wurden und daher mit einem Einsatz von Glyphosat das Resistenzmanagement diversifiziert werden kann. Dennoch kann auch Glyphosat bei wiederholter Anwendung mittel- bis langfristig zu einer geringeren Empfindlichkeit der Unkräuter selektieren und sollte daher nicht als alleinige Strategie zur Resistenzvermeidung eingesetzt werden. Dies zeigt auch die eher niedrige mittlere Bewertung der Wirksamkeit des Glyphosateinsatzes (5,4) durch die Landwirte.

Neben den direkten, chemischen Methoden zur Unkrautbekämpfung passen die Landwirte aber auch ihre ackerbaulichen Maßnahmen an die Resistenzproblematik an. Fruchtfolgen mit Wechsel von Blatt- und Halmfrüchten innerhalb von fünf Jahren werden von 76 % der Landwirte angebaut. Da bekannt ist, dass insbesondere getreidereiche Fruchtfolgen oder sogar der Daueranbau von Getreide durch die Förderung einzelner Problemunkräuter die Resistenz begünstigt, ist dies positiv zu bewerten (NORSWORTHY et al., 2012). Zudem ermöglicht erst die Erweiterung der Fruchtfolge mit Blattfrüchten einen ausreichenden Herbizidwirkstoffwechsel. Die Landwirte bewerteten diese Maßnahme mit einer etwas höheren mittleren Wirksamkeit (7,4). Ein Wechsel von Winterungen und Sommerungen innerhalb von fünf Jahren wird von 46 % der Landwirte durchgeführt. Zur Resistenzvermeidung ist es hinsichtlich der Fruchtfolgegestaltung positiv, wintergetreideintensive Fruchtfolgen mit einem Wechsel aus Winterungen und Sommerung aufzulockern (CHAUVEL et al., 2001). Auch der Pflugeinsatz wird als geeignetes Werkzeug zur Resistenzvermeidung insbesondere bei dem resistenzgefährdeten Acker-Fuchsschwanz

angesehen (LUTMAN et al., 2013). Diese Maßnahme wird auch von 60 % der teilnehmenden Landwirte praktiziert und mit einer mittleren Wirksamkeit von 6,9 bewertet. Der mit dem Einsatz des Pfluges verbundene Zeitaufwand und die damit einhergehenden höheren Kosten werden allerdings von über 60 % der teilnehmenden Landwirte als Hindernis bei der Durchführung angesehen. Zudem sieht die Hälfte der Landwirte die mit dem Pflugeinsatz verbundene Erosionsgefahr kritisch.

Spätere Aussaattermine von Wintergetreide können den Aufgang des Gemeinen Windhalms und des Acker-Fuchsschwanzes mindern. So kann eine Verschiebung des Aussaatzeitpunktes von September in den Oktober zu geringeren Ungrasdichten und so zu einer reduzierten Resistenzgefahr beitragen. Zudem kann eine verzögerte Aussaat den Einsatz von Glyphosat zwischen Bodenbearbeitung und der Saat ermöglichen. Spätere Aussaattermine werden von 45 % der teilnehmenden Landwirte angewandt, allerdings wird die Wirksamkeit eher durchschnittlich eingeschätzt (6,5). 78 % der Landwirte sehen bei dieser Maßnahme zudem die hohe Abhängigkeit von der Witterung als problematisch an. Zudem fürchten 27 % einen verminderten Ertrag, bedingt durch die spätere Aussaat. Dass dies nicht zwangsläufig der Fall sein muss, zeigen Ergebnisse der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, die in Feldversuchen mit einem früheren Saatzeitpunkt in der zweiten Septemberhälfte verglichen mit einer späteren Aussaat Mitte Oktober, keine Ertragsunterschiede bei verschiedenen Winterweizensorten feststellen konnten.

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass bei den Landwirten ein starkes Bewusstsein für die Problematik der Herbizidresistenz besteht. Auch Landwirte, die nicht selber von Resistenz betroffen sind, geben an, entsprechende Maßnahmen zur Verminderung des Resistenzrisikos anzuwenden. Da die Anzahl der teilnehmenden Landwirte an der Umfrage zwischen den Bundesländern aber stark variierte, bieten die Ergebnisse zwar einen Überblick über die Situation in Deutschland, können aber vor allem aufgrund der niedrigen Teilnahme in den ostdeutschen Bundesländern mit vergleichsweise großen Betrieben kein vollständig repräsentatives Bild wiedergeben. Da die Ergebnisse gezeigt haben, dass vor allem größere Betriebe von Herbizidresistenz betroffen sind, muss davon ausgegangen werden, dass viele Betriebe mit Resistenzproblemen nicht durch die Umfrage erfasst wurden und die Ergebnisse daher eher repräsentativ für die Situation auf kleineren bzw. mittelgroßen Betrieben unter 500 ha interpretiert werden sollten.

Dennoch wird deutlich, wie Landwirte der Resistenzgefahr begegnen. Auffällig bei der Bewertung der Wirksamkeit der Maßnahmen zur Verminderung des Resistenzrisikos erschien dabei, dass die Landwirte nur wenige der Maßnahmen mit einer sehr hohen Wirkung bewerten. So scheint für die Landwirte keine der hier erwähnten Maßnahmen allein einen ausreichenden Schutz vor der Resistenzentstehung zu bieten. Dies zeigt wiederum, dass es bei der Resistenzvorsorge bzw. der Bekämpfung von bereits bestehenden Resistenzen keine Patent-Strategien gibt, sondern es vielmehr darauf ankommt, die jeweils für den Betrieb und die Standortbedingungen passenden Maßnahmen zu kombinieren, um so eine hohe Wirkung zu erzielen. Positiv ist, dass Maßnahmen zur Resistenzvermeidung in gleichen Teilen von Landwirte angewendet werden, die bereits Resistenzen auf ihren Flächen haben, als auch von solchen, die noch nicht selber betroffen sind. Dies zeigt, dass die Landwirte nicht nur auf auftretende Resistenzen reagieren, sondern auch proaktiv Maßnahmen zur Vermeidung ergreifen. Es erscheint zusätzlich als Konsens, dass neben dem Einsatz von entsprechenden Herbiziden auch ackerbauliche Maßnahmen zum Einsatz kommen müssen, um die Verunkrautung zu minimieren und somit die Abhängigkeit von resistenzgefährdeten Wirkstoffen zu verringern. Auch wenn viele der vorbeugenden Maßnahmen kurzfristig mit ökonomischen Risiken verbunden sein können, wie die Bedenken der teilnehmenden Landwirte hinsichtlich höherer Kosten zeigen, führt dennoch langfristig kein Weg an pflanzenbaulichen Konzepten vorbei, um den Selektionsdruck durch die Herbizidanwendung zu vermindern und so eine nachhaltige Unkrautbekämpfung sicher zu stellen. Wahrscheinlich ist,

dass sich die Situation bei Herbiziden noch zuspitzen wird, wenn alte Wirkstoffe ihre Zulassung verlieren und das Herbizidspektrum eingeengt wird. Daher ist es nötig, vor allem die derzeit noch sehr Herbizid-basierten Maßnahmen zur Unkrautbekämpfung betriebsspezifisch zu überdenken, um so die Ausbreitung der Herbizidresistenz zu minimieren und eine nachhaltige Kontrolle der Unkräuter sicher zu stellen.

Literatur

- BAILLY, G.C., R.P. DALE, S.A. ARCHER, D.J. WRIGHT und S.S. KAUNDUN, 2012: Role of residual herbicides for the management of multiple herbicide resistance to ACCase and ALS inhibitors in a black-grass population. *Crop Protection* **34**, 96-103.
- CHAUVEL, B., J.P. GUILLEMIN, N. COLBACH und J. GASQUEZ, 2001: Evaluation of cropping systems for management of herbicide resistant populations of black-grass *Alopecurus myosuroides* Huds. *Crop Protection* **20**, 127-137.
- KUDSK, P., 2014: Reduced herbicide rates: present and future. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 37-44.
- 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**(5), 299-313.
- NORSWORTHY, J.K., S. WARD, D. SHAW, R. LLEWELLYN, R. NICHOLS, T. WEBSTER, K. BRADLEY, G. FRISVOLD, S. POWLES, N. BURGOS, W. WITT und M. BARRETT, 2012: Reducing the Risks of Herbicide Resistance: Best Management Practices and Recommendations. *Weed Science* **60** (Special Issue 1), 31-62.

Selektion einer *Apera spica-venti*-Population mit reduzierter Sensitivität gegenüber Iodosulfuron

Selection for reduced iodosulfuron sensitivity in Apera spica-venti

Dagmar Rissel*, Lena Ulber

Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig
*Korrespondierende Autorin, dagmar.rissel@julius-kuehn.de



DOI 10.5073/jka.2018.458.014

Zusammenfassung

Der Gemeine Windhalm (*Apera spica-venti*) ist eine genetisch variable Ungrasart. In Deutschland werden für *A. spica-venti* immer mehr Resistenzfälle besonders gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren gemeldet. Als Gründe werden sowohl Target-Site (TSR)- als auch Non-Target-Site-Resistenzmechanismen (NTSR) diskutiert. Derzeit gibt es wenige Untersuchungen zur Herbizidresistenzentwicklung und insbesondere zu NTSR-Mechanismen bei *A. spica-venti*. Um diese Resistenzentwicklung besser zu verstehen, wurde aus einer sensitiven Elternpopulation (A 77) mit reduzierten Aufwandmengen des Wirkstoffes Iodosulfuron eine F1-Generation selektiert. Diese Population wurde A 77-1 genannt und einem Dosis-Wirkungs-Experiment unterzogen. Dabei zeigte die Population A 77-1 im Vergleich zur Elternpopulation eine reduzierte Sensitivität gegenüber dem Wirkstoff Iodosulfuron (RF=2). Außerdem wurden Individuen der A77-1-Population auf eine mögliche TSR untersucht. 53 % der untersuchten Individuen zeigten eine Pro197Asn-Substitution. Einzelpflanzen, die keine TSR trugen, wurden identifiziert, vermehrt und A 77-1-1 genannt. Durch die gleichzeitige Behandlung von A 77-1-1 Pflanzen mit Iodosulfuron und dem Cytochrom P450 (CYP)-Inhibitor Malathion konnte die Herbizidwirkung wieder hergestellt werden. Daher stellen wir fest, dass wir erfolgreich eine Population, die sowohl TSR und NTSR zeigt, selektiert haben. Um CYPs zu identifizieren, die möglicherweise die Reduzierung der Sensitivität gegenüber Iodosulfuron bedingen, wurde eine ACP-PCR durchgeführt. Dabei wurden 6 CYPs identifiziert.

Stichwörter: *Apera spica-venti*, ALS-Inhibitoren, Herbizidresistenz, Iodosulfuron, Nicht-Zielortresistenz, Zielortresistenz

Abstract

Apera spica-venti is a genetically diverse cross-pollinated grass weed species for which increasing numbers of resistance cases towards ALS herbicides are reported in Germany. Target-site and non-target-site mechanisms are discussed to be involved. But to date, studies on resistance evolution - especially on non-target-site mechanisms involved in *A. spica-venti* are rare. To better understand this, a progeny population was selected from a sensitive parental population (A77) using the ALS inhibiting herbicide iodosulfuron at reduced dose rate. This progeny population was designated A77-1 and subjected to a dose-response experiment using iodosulfuron. A77-1 exhibited a decreased sensitivity to iodosulfuron compared to the parental A77 biotype (RI=2). 53% of the studied individuals of A 77-1 exhibited an ALS target-site resistance (Pro197Asn). Individuals lacking target-site resistance were identified and propagated to yield the population A 77-1-1. The co-application of iodosulfuron and the cytochrome P450 (CYP) inhibitor malathion was able to reconstitute iodosulfuron efficacy in A 77-1-1. So, we assume that we successfully selected for target-site resistance and non-target-site resistance simultaneously. ACP-PCR was employed to identify CYPs involved in reduced sensitivity to iodosulfuron. 6 CYPs were identified.

Keywords: *Apera spica-venti*, ALS inhibitors, herbicide resistance, iodosulfuron, non-target-site resistance, target-site resistance

Einleitung

Apera spica-venti oder der Gemeine Windhalm ist ein einjähriges Ungras, das vor allem im Wintergetreideanbau in Zentral-, Nord- und Osteuropa auftritt. In Deutschland ist eine regionale Verbreitung von *A. spica-venti* zu beobachten, da er bevorzugt auf leichten, sandigen bis leicht lehmigen Böden wächst. *A. spica-venti* ist eine windbestäubte Ungrasart mit hoher genetischer Plastizität. Daher ist es auch nicht verwunderlich, dass Populationen in Deutschland Resistenzen gegenüber herbiziden Wirkstoffen aus den Gruppen der Photosystem II-Inhibitoren (HRAC-Gruppe C), der Acetolactat-Synthase-Inhibitoren (ALS, HRAC-Gruppe B) und der Acetyl-Co-A-

Carboxylase-Inhibitoren (ACCase, HRAC-Gruppe A) entwickelt haben (HEAP, 2017). Seit im Jahr 2005 die erste Resistenz gegenüber Wirkstoffen aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren bei *A. spica-venti* in Deutschland festgestellt wurde, steigt die Anzahl von Resistenzfällen stetig an. Dabei sind sowohl Target-Site-Resistenzen (TSR) als auch Non-Target-Site-Resistenzmechanismen (NTSR) bekannt. Bei der TSR führt eine einzelne Mutation im codierenden Gen für die Acetolactat-Synthase zu einer Veränderung des Proteins (POWLES und YU, 2010). Diese Veränderung verhindert eine Interaktion von Protein und Herbizid und hemmt so die Herbizidwirkung. Unter dem Begriff der NTSR werden verschiedene Mechanismen zusammengefasst (POWLES und YU, 2010). Es sind folgende Mechanismen bekannt: Eine verringerte Aufnahme des Herbizidwirkstoffs oder eine verringerte Verlagerung im pflanzlichen Gewebe oder eine beschleunigte Ausschleusung in die Zellwände oder die Vakuole. Der bedeutendste Mechanismus der NTSR ist aber ein beschleunigter Abbau des Herbizidwirkstoffs in der Pflanze (POWLES und YU, 2010). Daran sind verschiedene Enzymfamilien beteiligt. Fundamentale Komponenten eines beschleunigten Herbizidabbaus sind Enzyme aus der Familie der Cytochrom P450 Monooxygenasen (CYPs) (POWLES und YU, 2010). CYP-Enzyme finden sich in allen Reichen der Lebewesen. Sie stellen eine evolutionär alte, sehr diverse Superfamilie dar (SCHULER und WERCK-REICHHART, 2003; HANNEMANN et al., 2007). Bisher sind verschiedene CYPs bekannt, die einen beschleunigten Abbau verschiedener Herbizide vermitteln. Herbizidresistenz, die auf CYPs basiert, tritt besonders häufig bei Ungrasarten auf. Derzeit gibt es wenige Studien, die NTSR bei *A. spica-venti* und die zugrunde liegenden Mechanismen beleuchten.

Um die Resistenzentwicklung bei *A. spica-venti* zu untersuchen, wurde zunächst aus einer sensitiven Elternpopulation mit dem Herbizidwirkstoff Iodosulfuron eine F1-Generation mit reduzierter Iodosulfuron-Sensitivität selektiert. Nachfolgende Untersuchungen sollen zeigen, ob diese reduzierte Sensitivität gegenüber Iodosulfuron auf einen beschleunigten Abbau des Wirkstoffs zurückzuführen ist. Außerdem soll analysiert werden, welche CYPs daran beteiligt sind.

Material und Methoden

Selektion

Als Ausgangsmaterial für die Untersuchungen zur Resistenzentwicklung bei *A. spica-venti* dienten Samen einer sensitiven Population (A 77), die auf einer ökologisch bewirtschafteten Fläche gesammelt wurden. Die Fläche wurde seit mindestens 20 Jahren nicht mehr mit einem Herbizid behandelt. Diese Samen wurden in Anzuchtschalen ausgesät. Eine Selektion von Pflanzen mit reduzierter Herbizidsensitivität erfolgte mit dem Herbizid Husar OD (Bayer CropScience, Deutschland), das den Wirkstoff Iodosulfuron (100 g Iodosulfuron-Methyl-Natrium/l) enthält. Dazu wurden die *A. spica-venti* Pflanzen mit der Hälfte der zugelassenen Aufwandmenge (5 g Iodosulfuron/ha) behandelt. 30 überlebende Pflanzen wurden in größere Töpfe umpflanzte, miteinander gekreuzt und bis zur Samenreife weiter kultiviert. Die so entstandenen Samen bilden die F1-Generation (A 77-1). Von 32 Pflanzen dieser Population wurden Blattproben zur TSR-Bestimmung abgenommen.

Dosis-Wirkungskurven

Um zu ermitteln, wie stark die Selektion mit Iodosulfuron die Wirksamkeit dieses Wirkstoffes auf die A 77-1-Pflanzen verringert hat, wurde ein Biotest durchgeführt. Dazu wurden jeweils fünf Pflanzen im Keimblattstadium in einen Topf (7 x 7 x 8 cm) pikiert. Anschließend wurden sie unter kontrollierten Bedingungen (16 h Licht/ 20 °C, 8 h Dunkelheit/ 10 °C) in einem Klimaschrank (Rumed1401, Rubarth Apparate GmbH, Laatzten, Deutschland) kultiviert. Im 3-Blatt-Stadium erfolgte die Behandlung mit verschiedenen Iodosulfuron-Konzentrationen (0; 0,625; 1,25; 2,5; 5; 10; 20 g/ha) in einer stationären Spritzanlage. Die weitere Kultivierung der Pflanzen erfolgte unter den bereits beschriebenen Klima-Bedingungen. Nach 21 Tagen wurde die Herbizidwirkung

bonitiert und die pflanzliche Frischmasse bestimmt. Der Versuch wurde mit vier Wiederholungen pro Herbizidkonzentration durchgeführt. Als Referenzpopulation diente die Elternpopulation A 77. Um eine mögliche NTSR zu bestätigen, wurden zunächst A 77-1-Pflanzen, die keine TSR trugen, durch Sequenzierung identifiziert. Diese Pflanzen wurden in zwei Klone geteilt, die miteinander gekreuzt wurden. Die daraus resultierenden Samen bilden die Generation A 77-1-1.

Samen der Generation A 77-1-1 wurden erneut ausgesät und nach einer kurzen Bestockungsphase in vier Klone geteilt. Je ein Klon wurde mit 20 g Iodosulfuron/ha, 20 g Iodosulfuron/ha plus 1000 g Malathion/ha (CYP-Hemmer) oder 1000 g Malathion/ha behandelt. Der vierte Klon diente als Kontrolle. Ein Teil der so behandelten Pflanzen wurde 24 h nach der Behandlung geerntet und zur späteren molekularbiologischen Untersuchung in flüssigem Stickstoff eingefroren und bei -80 °C gelagert. Die übrigen Pflanzen wurden weiter kultiviert. Nach 21 Tagen wurde die Wirkung von Herbizid und Malathion bonitiert.

Zur detaillierteren Analyse, wie eine mögliche NTSR die Sensitivität der A 77-1-Pflanzen gegenüber Iodosulfuron beeinflusst, wurden A 77-1-1-Pflanzen einzeln in Töpfe pikiert. Nach einer Bestockungsphase wurden die Pflanzen in acht Klone mit je zwei Blättern geteilt. Dann wurden die Klone einem Biotest zur Bestimmung der Iodosulfuron-Sensitivität unterzogen. Die Behandlung erfolgte mit folgenden Iodosulfuron-Konzentrationen: 0; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 40; 80 g/ha. Anschließend wurden auch diese Pflanzen für 21 Tage weiter kultiviert bevor eine Bonitur und eine Bestimmung der Frischmasse erfolgten.

Analysen der Resistenzmechanismen

Analysen zur TSR in den Codons für Pro197 und Trp574 im ALS-Gen der A 77-1-1-Pflanzen wurden durchgeführt wie von HAMOUZOVA et al. (2014) beschrieben. Zur Identifizierung der genauen Substitution wurden PCR-Produkte sequenziert (Eurofins Genomics, Ebersberg, Deutschland).

Für die molekularbiologischen Untersuchungen zur NTSR der A 77-1-1-Pflanzen wurde das Pflanzenmaterial zunächst in flüssigem Stickstoff gemörsert. Anschließend erfolgte eine RNA-Extraktion mit dem NucleoSpin Plant RNA Kit nach Herstellerangaben (Macherey-Nagel, Düren, Deutschland). Um CYPs, die an der NTSR bei *A. spica-venti* beteiligt sind, zu identifizieren, wurde eine Annealing-Control-Primer (ACP)-PCR wie von IWAKAMI et al. (2014a) für *Echinochloa phyllopogon* beschrieben mit ausgewählten Primern durchgeführt. Bei dieser Methode handelt es sich um ein zweistufiges PCR-Verfahren, bei dem die Primer am 3'-Ende aus einer spezifischen Sequenz bestehen, die über eine Polydeoxyinosin-Verbindungsglied mit einem unspezifischen Sequenzanhang am 5'-Ende verbunden ist. Diese zweistufige PCR ermöglicht so ein spezifisches Amplifizieren der gewünschten Gensequenz. In einer anschließenden zweiten PCR mit Primern, die gegen konservierte Bereiche der CYPs gerichtet sind, können CYP-Sequenzen identifiziert werden (Abb. 1).

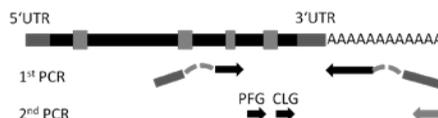


Abb. 1 Darstellung des schematischen Aufbau von CYP-Genen und der Genregionen, die für das Design der ACP-Primer (1. PCR) und der Primer für die spezifische Amplifikation von CYPs (2. PCR) verwendet wurden nach IWAKAMI et al. (2014). Die Pfeile stellen die PCR-Primer dar, die gestrichelten Linien die Polydeoxyinosin-Verbindungsglieder und die grauen Balken die unspezifischen 5'-Sequenzen.

Fig. 1 Presentation of the schematic structure of CYP genes and those regions used for ACP primer design (1st PCR) and the design of primers used for the specific amplification of CYPs (2nd PCR) according to Iwakami et al. (2014). PCR primers are depicted by arrows, the dashed lines show polydeoxyinosine and the grey bars represent the unspecific 5' sequences.

Ergebnisse

Nach der Selektion mit Iodosulfuron zeigt die F1-Generation A 77-1 eine verringerte Sensitivität gegenüber dem Wirkstoff im Vergleich zur Elterngeneration A 77 (Abb. 2A). Der Resistenzfaktor hat sich verdoppelt (RF = 2). Die Untersuchungen zur TSR zeigten, dass 53 % der untersuchten Pflanzen von A 77-1 eine TSR tragen. Dabei handelt es sich um eine Pro197Gln-Substitution.

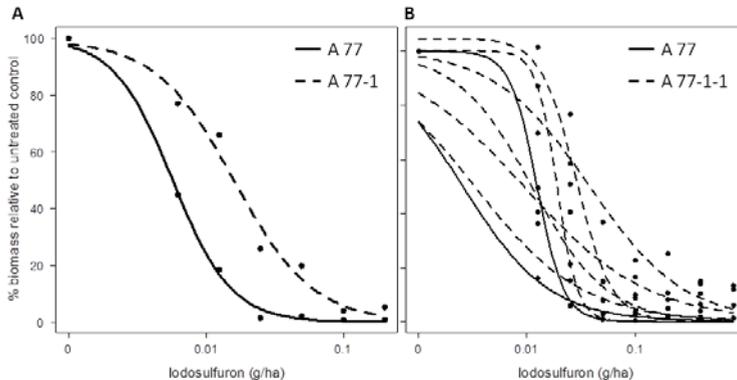


Abb. 2 Dosis-Wirkungsbeziehung für das Herbizid Husar OD mit seinem Wirkstoff Iodosulfuron auf die Spross-Frischmasse der Herbizid-sensitiven Elternpopulation A 77 und der selektierten F1-Generation A 77-1 (A) und auf die Spross-Frischmasse von Einzelpflanzen aus der Elternpopulation A 77 und Population A 77-1-1 (B).

Fig. 2 Dose-response relationship for the herbicidal active Iodosulfuron for the shoot fresh biomass of the herbicide-sensitive parental population A 77 and the selected F1 generation A 77-1 (A) and the shoot fresh biomass of individual plants from the parental population and the population A 77-1-1 (B).

Nicht alle untersuchten Pflanzen aus der F1-Generation A 77-1 zeigten eine TSR. Zusätzlich zeigte die Behandlung von Klonen mit Husar OD und dem CYP-Inhibitor Malathion, dass Malathion eine verringerte Herbizidwirkung bei Pflanzen der Population A 77-1-1 wiederherstellen konnte (Daten nicht dargestellt). Das heißt, in der Population A 77-1-1 spielten hinsichtlich der reduzierten Sensitivität gegenüber Iodosulfuron auch NTSR-Mechanismen eine Rolle. Um den Grad der Sensitivitätsreduktion zu bestimmen, wurde ein Biotest mit Klonen von Einzelpflanzen der Elternpopulation A 77 und der Population A 77-1-1 durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass sowohl die Elternpopulation als auch die Population A 77-1-1 in ihrer Sensitivität gegenüber Iodosulfuron schwankten und die Reduzierung der Iodosulfuron-Sensitivität eher gering war (Abb. 2B).

Mit Hilfe der ACP-PCR konnten bisher homologe Sequenzen zu sechs CYPs (Indole-2-Moonoxygenase (CYP71C4), Ent-Isokaurene C2-Hydrolase (CYP71Z6), CYP81A24, CYP81A19, CYP71A1, CYP72A14) identifiziert werden.

Diskussion

Nach der Selektion mit 5 g Iodosulfuron/ha zeigte die F1-Generation eine deutliche Verminderung der Sensitivität gegenüber Iodosulfuron. Diese kann auf TSR und NTSR-Mechanismen zurückgeführt werden. Also wurden hier in einer Population erfolgreich TSR und NTSR selektiert. Für weitere Untersuchungen zur NTSR wurden Einzelpflanzen, bei denen keine TSR vorlag identifiziert. Die Nachkommen dieser Einzelpflanzen zeigten nur eine geringfügig verringerte Sensitivität gegenüber Iodosulfuron im Vergleich zur A 77-1-Population. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass NTSR ein quantitatives, polygenes Merkmal ist (PETIT et al., 2010; BUSI et al., 2011). Eine Kreuzung von Individuen führt zu einer Aufspaltung der NTSR-Allele und so zu einer unterschiedlichen Ausprägung der NTSR in den Nachkommen.

Mit Hilfe der ACP-PCR konnten homologe Sequenzen von sechs CYPs identifiziert werden, die möglicherweise an einer NTSR in *Apera spica-venti* beteiligt sind. Für diese CYPs wurden bereits

Sequenzen in anderen Pflanzenarten identifiziert. CYP71A1 akkumuliert in Avocado während der Reifung und gehört zu den ersten CYPs, die in Pflanzen identifiziert wurden (BOZAK et al., 1990). Die genaue Funktion ist jedoch bis heute nicht vollständig verstanden. Zudem werden für CYP71A1 Veränderungen in der Genexpression im Zusammenhang mit abiotischen Stressoren beschrieben (GONG et al., 2015; OBAID et al., 2016) CYP71C4, CYP71Z6 und CYP72A14 wird eine Rolle in der Produktion von pflanzlichen Sekundärmetaboliten, die an der Antwort auf verschiedene biotische Stressoren beteiligt sind, zugeschrieben (FREY et al., 1997; SOLER et al., 2007; WU et al., 2011). CYP81A24 und CYP81A19 wurden kürzlich in Studien zur Resistenz gegenüber ALS-Inhibitoren in *Echinochloa phyllopogon* identifiziert (IWAKAMI et al., 2014a; IWAKAMI et al., 2014b). Dabei zeigte sich, dass die CYP81A24-Expression 12 h nach der Herbizidbehandlung hoch reguliert ist (IWAKAMI et al. 2014a) während CYP81A19 in *Echinochloa phyllopogon* als Pseudogen beschrieben ist (IWAKAMI et al., 2014b). Dies kann für *A. spica-venti* bisher nicht bestätigt werden, da bisher keine vollständige Gensequenz vorliegt. Bei den bisher identifizierten CYPs zeigt sich also eine Vielfalt an Funktionen in der Pflanze. Daher sind weitere Untersuchungen notwendig, um die mögliche Beteiligung dieser CYPs an der NTSR in *A. spica-venti* zu bestätigen und ihre genaue Funktion zu identifizieren.

Literatur

- BOZAK, K.R., H. YU, R. SIREVAG und R.E. CHRISTOFFERSEN, 1990: Sequence Analysis of ripening-related P-450 cDNAs from avocado fruit. *PNAS* **87**, 3904-3908.
- Busi, R., M.M. VILA-AIUB und S.B. POWLES, 2011: Genetic control of a cytochrome P450 metabolism-based herbicide resistance mechanism in *Lolium rigidum*. *Heredity* **106**, 817-824.
- FREY, M., P. CHOMET, E. GLAWISCHNIG, C. STETTNER, S. GRÜN, A. WINKLMAIR, W. EISENREICH, A. BACHER, R.B. MEELEY, S.P. BRIGGS, K. SIMCOX und A. GIERL, 1997: Analysis of a chemical plant defense mechanism in grasses. *Science* **277**, 696-699.
- GONG, L., H. ZHANG, X. GAN, L. ZHANG, Y. CHEN, F. NIE, L. SHI, M. LI, Z. GUO, G. ZHANG und Y. SONG, 2011: Transcriptome profiling of the potatoe (*Solanum tuberosum* L.) plant under drought stress and water stimulus conditions. *PlosOne* **10**, e0128041.
- HAMOUZOVA, K., P. KOSNAROVA, J. SALAVA, J. SOUKOUP, und P. HAMOUZ, 2014: Mechanisms of resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides in populations of *Apera spica-venti* from the Czech Republic. *Pest Management Science* **70**, 541-548.
- HANNEMANN, F., BICHET A., K.M. EWEN und R. BERNHARDT, 2007: Cytochrome P450 systems – biological variations of electron transport chains. *Biochimica et Biophysica Acta* **1170**, 330-344.
- HEAP, I., 2017: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. (www.weedscience.org).
- IWAKAMI, S., A. UCHINO, Y. KATAOKA, H. SHIBAIKE, H. WATANABE und T. INAMURA, 2014a: Cytochrome P450 genes induced by bispyribac-sodium treatment in a multiple-herbicide-resistant biotype of *Echinochloa phyllopogon*. *Pest Management Science* **70**, 549-558.
- IWAKAMI, S., M. ENDO, H. SAIKA, J.H. OKUNO, N. NAKAMURA, M. YOKOYAMA, H. WATANABE, S. TOKI, A. UCHINO und T. INAMURA, 2014b: Cytochrome P450 CYP81A12 and CYP81A21 are associated with resistance to two acetolactate synthase inhibitors in *Echinochloa phyllopogon*. *Plant Physiology* **165**, 618-629.
- OBAID, A.Y., J.S.M.SABIR, A. ATEF, X. LIU, S. EDRIS, F.M. EL-DOMYATI, M.Z. MUTWAKIL, N.O. GADALLA, N.H. HAJRAH, M.A. AL-KORDY, A. BAHIELDIN und R.K. JANSEN, 2016: Analysis of transcriptional response to heat stress in *Rhazya stricta*. *BMC Plant Biology* **16**, 252.
- PETIT, C., B. DUHIEU, K. BOUCANSAUD und C. DELYE, 2010: Complex genetic control of non-target-site-based resistance to herbicides inhibiting acetyl-coenzyme A carboxylase and acetolactate synthase in *Alopecurus myosuroides* Huds.. *Plant Science* **178**, 501-509.
- POWLES, S.B. und Q. YU, 2010: Evolution in action: Plant resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology* **61**, 317-347.
- SCHULER, M.A. und D. WERCK-REICHHART, 2003: Functional genomics of P450s. *Annual Review of Plant Biology* **54**, 629-667.
- SOLER, M., O. SERRA, M. MOLINAS, G. HUGUET, S. FLUCH und M. FIGUERAS, 2007: A genomic approach to suberin biosynthesis and cork differentiation. *Plant Physiology* **144**, 419-433.
- WU, Y., M. L. HILLWIG, Q. WANG und R. J. REUTERS, 2011: Parsing a multifunctional biosynthetic gene cluster from rice: Biochemical characterization of CYP71Z6 & 7. *FEBS Letters* **585**, 3446-3451.

Simulation zukünftig zu erwartender Wirkungsgrade von Herbiziden der HRAC-Klasse B gegenüber Windhalm in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsparametern

Simulation of expected future efficacy from HRAC group B herbicides against loose silky-bent grass, depending on cropping factors

Dominik Dicke^{1*}, Christian Henschke², Andreas Büchse³

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

²An den Gärten 2, 34311 Heimarshausen

³Siedlerstraße 31, 67292 Kirchheimbolanden

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

DOI 10.5073/jka.2018.458.015



Zusammenfassung

Das hessische Windhalm-Resistenzmonitoring aus dem Jahr 2014 zeigte, dass Resistenzen gegenüber Herbiziden der HRAC-Klasse B landesweit verbreitet sind. Daten von am Monitoring beteiligten Schlägen wurden herangezogen, um Bewirtschaftungsparameter wie z. B. Saattermin, Anteil Pflug in der Fruchtfolge u.a. zu identifizieren, welche den Wirkungsgrad und damit die Bildung von Resistenzen beeinflussen können. Korrelationen zwischen Bewirtschaftungsparametern und dem jeweils im Biotest erzielten Wirkungsgrad gegen Windhalm wurden berechnet. Daraufhin folgte ein Modellbildungsprozess, um Wirkungsgrade in Abhängigkeit der o. g. Einflussfaktoren simulieren zu können. Die Modellergebnisse zeigen, dass beispielsweise eine Erhöhung des Anteils von Herbiziden der HRAC-Klasse B in der Fruchtfolge zu einem hohen Wirkungsverlust führt. Um diesen Effekt zu neutralisieren, müsste der Pfluganteil steigen und der Anteil an Winterungen in der Fruchtfolge sinken. Das Modell sollte auf weitere Datensätze angewendet und weiter trainiert werden, um Strategien zur Resistenzvermeidung voran zu treiben.

Stichwörter: ALS-Hemmer, Gemeiner Windhalm, Herbizide, HRAC-Klasse B, Modell, Simulation, Wirkort-resistenz

Abstract

Results from the resistance monitoring on loose silky-bent grass conducted in 2014 in Hessen showed that resistance against herbicides from HRAC group B is disseminated throughout the federal state. Cropping data like seeding date, ploughing intensity etc. were collected for fields involved in the monitoring in order to identify the impact of such cropping practices on herbicide efficacy and evolution of resistance. Correlations were calculated between field cropping data and corresponding efficacy rates against loose silky-bent grass, generated from bioassays conducted in 2014. A simulation model was developed and validated to forecast efficacy rates in dependence of the collected cropping data. The simulation results demonstrate high efficacy losses if the proportion of herbicide from the HRAC group B will increase in the crop rotation. To neutralize the effect, ploughing intensity would have to increase and proportion of winter cereals should decrease. The simulation model should be applied to further datasets and further trained, to forward anti-resistance strategies.

Keywords: ALS-inhibitor, herbicides, HRAC group B, loose silky-bent, simulation, target-site resistance

Einleitung

Seit einigen Jahren treten auf hessischen Ackerflächen vermehrt Ungrasnester mit Gemeinem Windhalm (*Apera spica-venti*) auf. Diese Windhalmplanzen sind oft unempfindlich gegenüber Herbiziden der HRAC-Klasse B, was durch die Ergebnisse des hessischen Resistenzmonitorings aus dem Jahr 2014 belegt wurde. In der Untersuchung wurden bei mehr als der Hälfte der in 2014 insgesamt 109 getesteten Biotypen nur sehr geringe Wirkungsgrade von Herbiziden der HRAC-Klasse B erzielt, die sich zwischen 0 % und 20 % bewegten. Die schlechten Wirkungsgrade waren in den meisten Fällen auf Mutationen zurückzuführen, welche eine Target-Site Resistenz gegenüber Wirkstoffen der HRAC-Klasse B verursachen (Dicke et al., 2016). Es stellt sich die Frage, wie eine weitere Ausbreitung von Resistenzen verlangsamt oder sogar verhindert werden kann. Dicke et al. (2014) fassten zusammen, welche ackerbaulichen Maßnahmen einer Ausbreitung von Resistenzen entgegenwirken. Insbesondere die Faktoren Saattermin, Fruchtfolgegestaltung und

Bodenbearbeitung nehmen hier Schlüsselpositionen ein. In der Agrarforschung werden Modelle eingesetzt, um den Einfluss von Faktoren des jeweiligen Interesses auf Zielvariablen zu simulieren. Ziel ist es, daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten. So wurden in der Vergangenheit einzelne Prozesse aus dem Unkrautzyklus (COUSENS and MORTIMER, 1995) modelliert, z.B. Wachstum und Konkurrenz (KROPPF und VAN LAAR, 1993) oder Keimung und Auflaufen (VLEESHOUWERS und BOUWMEESTER, 1993), mit dem Ziel, Verunkrautungssituationen für zukünftige Jahre abzuleiten. VON REDWITZ et al. (2016) nutzten ein Modell, um den Einfluss der unterdrückenden Wirkung einer Untersaat auf die Ausbildung von Herbizidresistenz bei Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) in einer Mais nach Mais Fruchtfolge zu simulieren. Die Ergebnisse zeigten eine schnellere Entwicklung der Herbizidresistenz spät auflaufender Biotypen, wenn sie durch eine Untersaat unterdrückt wurden. Gleichwohl konnte jedoch die Populationsdichte von *E. crus-galli* insgesamt durch Einbringen einer Untersaat reduziert werden. RUMMLAND et al. (2014) simulierten die Entwicklung einer Target-site resistenten Windhalm-Population in Abhängigkeit unterschiedlicher Herbizidstrategien. Die Modellausgaben wurden mit Beobachtungen aus Felddaten verglichen und konnten die im Feld gefundenen Resistenzbildungen wiedergeben. Bislang existieren jedoch nur wenige Informationen darüber, wie die Auswirkungen von ackerbaulichen Änderungen in Anbausystemen in Bezug auf die Resistenzbildung quantifiziert werden können. In der vorliegenden Arbeit wurde das Ziel verfolgt, an Hand von realen Betriebsdaten, Bewirtschaftungsparameter zu identifizieren, die mit der Ausbildung von Resistenzen in Verbindung stehen. Auf Basis der Daten wurden nach Bildung und Validierung eines Modells die zu erzielenden Wirkungsgrade in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsparametern simuliert. Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, Bewirtschaftungsverfahren von Ackerbaubetrieben zu optimieren, um Resistenzproblemen langfristig vorzubeugen.

Material und Methoden

Erhebung von Bewirtschaftungsdaten

Landwirtschaftliche Betriebe, die im Rahmen des Resistenzmonitorings im Jahr 2014 (DICKE et al., 2016) Windhalmproben von ausgewählten Schlägen untersuchen ließen, wurden zur Bewirtschaftung der betreffenden Schläge befragt. Die Betriebe stellten Daten aus ihren Ackerschlagkarteien des Zeitraumes 2003-2013 (Beobachtungszeitraum) zur Verfügung. Daraus wurden folgende Parameter für den im Verlauf beschriebenen Modellbildungsprozess abgeleitet:

Saattermin

Der Saattermin orientierte sich innerhalb des Beobachtungszeitraumes auf dem jeweiligen Schlag am Aussaattermin des Winterweizens. Die Klasseneinteilung wurde wie folgt vorgenommen: Aussaat überwiegend bis 4. Oktober= früh (1). Aussaat überwiegend in der Zeit vom 5. Oktober-01. November= mittel (2). Aussaat überwiegend ab dem 2. November= spät (3).

Pfluganteil

Der „Pfluganteil“ gibt prozentual an, wie oft der untersuchte Schlag innerhalb des Beobachtungszeitraumes gepflügt wurde.

Anteil Winterungen

Der „Anteil Winterungen“ gibt prozentual an, wie oft auf dem untersuchten Schlag innerhalb des Beobachtungszeitraumes eine Winterung angebaut wurde.

Zeitpunkt des Herbizideinsatzes

Der Zeitpunkt des Herbizideinsatzes bezieht sich auf Winterweizen. Er gibt an, ob im Winterweizen überwiegend nur im Herbst (1), im Herbst und Frühjahr (2) oder nur im Frühjahr (3) eine Herbizidbehandlung durchgeführt wurde.

Anteil HRAC B

Der „Anteil HRAC B“ gibt prozentual an, wie häufig innerhalb des Beobachtungszeitraumes Herbizide der HRAC-Klasse B zum Einsatz kamen.

Wirkungsgrad

Im Resistenztest von 2014 (DICKE et al., 2016) wurden Wirkungsgrade unterschiedlicher Herbizide gegenüber Windhalmpflanzen von Ackerschlägen nach ABBOTT (1925) ermittelt. Für die Modellbildung wurde aus dem Datensatz jeweils der Wirkungsgrad des Herbizides Atlantis WG + FHS mit den Wirkstoffen Meso- und Iodosulfuron herangezogen.

Die Daten wurden in einer Matrix den jeweils zugehörigen Wirkungsgraden gegenübergestellt. Insgesamt konnten Daten von 44 Schlägen über einen Zeitraum von 10 Jahren (2003-2013) erfasst werden. Die Matrix diente als Datenbasis für statistische Auswertungen und anschließende Modellbildung.

Tab. 1 Ausschnitt des Datensatzes zur Bewirtschaftung von Schlägen, die am Resistenzmonitoring von 2014 beteiligt waren (Zeitraum 2003-2013).

Tab. 1 Extract of cropping data for fields involved in the resistance monitoring of 2014 (period of time 2003-2013).

Schlag	Wirkungsgrad	Pfluganteil	Anteil Winterungen	Saattermin	Behandlungszeitpunkt	Anteil HRAC B
1	0.85	0.88	1	2	2	0.125
2	0.1	0.43	0.86	2	2	0.57
3	0.95	1	0.82	1	2	0.09
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
44	0.25	0	0.5	3	3	1

Legende: Wirkungsgrad, Pfluganteil, Anteil Winterungen, Anteil HRAC B: 0.0: 0%; 1.0: 100%. Saattermin (bezogen auf Winterweizen): 1: (bis 4. Oktober); 2: (bis 01. November); 3: (nach dem 2. November) Behandlungszeitpunkt (Herbizidbehandlung Winterweizen): 1: Nur Herbst; 2: Herbst und Frühjahr; 3: Nur Frühjahr.

Datenanalyse und statistisches Modell

Zwischen den sechs Variablen *Wirkungsgrad*, *Anteil Pflug*, *Anteil Winterungen*, *Saattermin*, *Behandlungszeitpunkt* und *Anteil HRAC B* wurde jeweils der bivariate Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet, um einen Überblick zu erhalten, welche der erhobenen Eigenschaften untereinander und zum Wirkungsgrad in Beziehung standen (Tab. 3).

Um die Bedeutung der erhobenen pflanzenbaulichen Parameter auf den Wirkungsgrad zu untersuchen, wurde ein lineares Regressionsmodell angepasst. Die als Prozentwert vorliegende abhängige Variable „Wirkungsgrad“ wurde in den logit-Wert transformiert, um die Modellvoraussetzungen Additivität, Normalverteilung der Residuen und Varianzhomogenität zu erreichen: „Logit Wirkungsgrad = $\log(\text{Wirkungsgrad} / (1 - \text{Wirkungsgrad}))$ “. Die übrigen Variablen blieben untransformiert.

Für die Modellselektion wurden die fünf Haupteffekte *Anteil Pflug*, *Anteil Winterungen*, *Saattermin*, *Behandlungszeitpunkt* und *Anteil HRAC B* sowie deren Interaktionen erster Ordnung betrachtet. Damit ergaben sich insgesamt $5 + (5 \cdot 4) / 2 = 15$ potentielle Modellterme.

Es wurden dann wiederholt jeweils 75 % der 44 zur Verfügung stehenden Beobachtungen als Stichprobe gezogen und mittels schrittweiser Vorwärts-Selektion das Modell selektiert, welches für die Stichprobe die beste Vorhersagegüte hinsichtlich des korrigierten Akaike Informationskriteriums (AICc) zeigte. Bei 1000 Zufallsstichproben von jeweils 33 Beobachtungen wurden *Pfluganteil*, *Anteil HRAC B*, *Anteil Winterungen*, *Behandlungszeitpunkt* sowie die Interaktionen *Anteil HRAC B***Pfluganteil*, *Anteil Winterungen***Pfluganteil* und *Behandlungszeitpunkt***Pfluganteil* in mindestens 20 % der Fälle selektiert. Der Effekt des

Saattermins und weitere Interaktionen spielten dagegen eine untergeordnete Rolle und wurden in weniger als 5 % der Stichproben als Modellterme ausgewählt.

Das so selektierte Modell mit vier Haupteffekten und drei Interaktionen wurde abschließend an allen 44 Beobachtungen trainiert und es wurden die erhaltenen Schätzwerte der Modellparameter verwendet, um den Erwartungswert des Wirkungsgrades für unterschiedliche pflanzenbauliche Szenarien zu berechnen.

Tab. 2 Regressionskoeffizienten (Logit-Skala) des selektierten Modells.

Tab. 2 Regression coefficients (logit-scala) of selected model.

Effekt	Koeffizient	Standardfehler	FG	t-Wert	Pr > t
Intercept	-1,9056	1,1804	34	-1,61	0,1157
Pflug	11,7373	2,4576	34	4,78	<.0001
Wirkortklasse_B	0,7436	0,9925	34	0,75	0,4589
Pflug*Wirkortklasse_B	-11,8636	1,7675	34	-6,71	<.0001
Winterungen	-1,1033	1,0758	34	-1,03	0,3123
Pflug*Winterungen	-0,9754	2,7070	34	-0,36	0,7208
Behandlungszeitpunkt 1	4,1075	1,0646	34	3,86	0,0005
Behandlungszeitpunkt 2	0,3352	0,4345	34	0,77	0,4458
Behandlungszeitpunkt 3	0				
Pflug*Behandlungszeit. 1	-10,1259	1,9239	34	-5,26	<.0001
Pflug*Behandlungszeit. 2	-3,6880	1,0654	34	-3,46	0,0015
Pflug*Behandlungszeit. 3	0				

Die Scoringfunktion zur Bewertung neuer Schläge lautet damit:

Behandlungszeitpunkt 1: **E(logit_Wirkung)** = 2.20 + 1.61*Pfluganteil - 1.10*Anteil_Winterungen - 0.98*Pfluganteil*Anteil_Winterungen + 0.74*Anteil_HRAC B - 11.86*Pfluganteil*Anteil_HRAC B

Behandlungszeitpunkt 2: **E(logit_Wirkung)** = -1.57 + 8.05*Pfluganteil - 1.10*Anteil_Winterungen - 0.98*Pfluganteil*Anteil_Winterungen + 0.74*Anteil_HRAC B - 11.86*Pfluganteil*Anteil_HRAC B

Behandlungszeitpunkt 3: **E(logit_Wirkung)** = -1.91 + 11.74*Pfluganteil - 1.10*Anteil_Winterungen - 0.98*Pfluganteil*Anteil_Winterungen + 0.74*Anteil_HRAC B - 11.86*Pfluganteil*Anteil_HRAC B

Die Rücktransformation der Logitwerte auf die Prozentskala erfolgt über die Formel:

$$p = e^{\text{logit}} / (1 + e^{\text{logit}})$$

Die Datenanalyse wurde mit den Prozeduren CORR, SGPLOT, GLM, GLMSELECT und MIXED aus dem Statistikpaket SAS, Version 9.4 M2 durchgeführt (SAS INSTITUTE 2013, 2014).

Ergebnisse

Beziehungen zwischen Bewirtschaftungsparametern und Wirkungsgrad

Die folgende Tabelle 3 zeigt die paarweisen Korrelationen zwischen Bewirtschaftungsparametern. Bei den paarweisen Korrelationen zeigte sich, dass „Anteil Pflug“ mit dem Wirkungsgrad positiv und „Anteil HRAC B“ mit dem Wirkungsgrad negativ korreliert waren. Die anderen drei Variablen zeigten keine enge Beziehung zum Wirkungsgrad. Ferner bestanden Korrelationen zwischen „Anteil Winterungen“ und „Zeitpunkt Behandlung“ sowie zwischen „Anteil HRAC B“ und „Zeitpunkt Behandlung“. Der Behandlungszeitpunkt sollte in seiner Wirkung daher vorsichtig und nicht unabhängig vom Anteil der Winterungen in der Fruchtfolge und dem Anteil von Herbiziden der HRAC-Klasse B interpretiert werden, da er mit diesen verbunden ist. Es bestand zudem eine negative Korrelation zwischen Pfluganteil und Anteil von Herbiziden der HRAC-Klasse B, d.h. bei seltenem Pflugeinsatz werden vermehrt Herbizide mit der Wirkortklasse B eingesetzt.

Tab. 3 Korrelationskoeffizienten nach Pearson, N=44.**Tab. 3** Pearsons Correlation Coefficients, N=44.

	Wirkungsgrad	Anteil Pflug	Anteil Winterungen	Saattermin	Zeitpunkt Behandlung	Anteil HRAC B
Wirkungsgrad	1,00	0,66	-0,13	0,06	-0,10	-0,62
Anteil Pflug	0,66	1,00	-0,25	0,10	0	-0,33
Anteil Winterungen	-0,13	-0,25	1,00	-0,34	-0,64	-0,36
Saattermin	0,06	0,10	-0,34	1,00	0,18	0,18
Zeitpunkt Behandlung	0,10	0,00	-0,64	0,18	1,00	0,53
Anteil HRAC B	-0,62	-0,33	-0,36	0,18	0,53	1,00

Simulationsergebnisse

Im Folgenden werden exemplarisch die Simulationsergebnisse für unterschiedliche pflanzenbauliche Konstellationen vorgestellt.

Die Simulationsergebnisse in Abbildung 1 zeigen, dass bei geringem Einsatz des Pfluges sowie häufigem Einsatz von Herbiziden der HRAC-Klasse B sehr geringe Wirkungsgrade gegen Windhalm zu erwarten sind. Je häufiger Herbizide der HRAC-Klasse B eingesetzt werden, desto schlechter lässt sich der Windhalm bekämpfen. Werden permanent Herbizide der HRAC-Klasse B eingesetzt, fallen die Wirkungsgrade unabhängig von der Pflugintensität oder einem verringerten Anteil an Winterungen auf unter 20 %. Sofern komplett pfluglos gearbeitet wird, sind auch bei Einsatzhäufigkeiten von 25 % Herbizide der HRAC-Klasse B in Fruchtfolgen mit reinem Winterungsanteil und ausschließlich Frühjahrsbehandlung nur geringe Wirkungsgrade von etwa 10 % und damit zukünftige Resistenzsituationen zu erwarten. Fällt der Winterungsanteil auf 50 %, sind die zu erwartenden Wirkungsgrade höher. Sie liegen aber mit knapp 20 % dennoch in einem nicht akzeptablen Bereich. Wird dagegen häufiger gepflügt, kann der Anteil an Herbiziden der HRAC-Klasse B höher liegen, ohne dass ein gravierender Abfall des Wirkungsgrades zu erwarten ist. Dieser Effekt wird durch die Verringerung des Winterungsanteils von 100 % auf 50 % verstärkt. Wenn innerhalb der Fruchtfolge auf einem Schlag zu 50 % Herbizide der HRAC-Klasse B eingesetzt werden, sind unter den beschriebenen Voraussetzungen bei einem Pfluganteil von 75 % und einem Winterungsanteil von 50 % noch Wirkungsgrade in Höhe von 90 % zu erwarten. Steigt der Winterungsanteil auf 100 % an, fallen die Wirkungsgrade unter Beibehaltung aller anderen Faktoren auf unter 80 %. Wenn jetzt der Pfluganteil sinken würde, z.B. nur noch zu 25 % innerhalb der Fruchtfolge, fiel der Wirkungsgrad um etwa 60 Prozentpunkte ab. In dieser Situation könnte der Wirkungsgrad durch eine Verringerung des Anteils von Herbiziden der HRAC-Klasse B auf 25 % zwar leicht aber nur noch unwesentlich, um etwa 10 Prozentpunkte gesteigert werden.

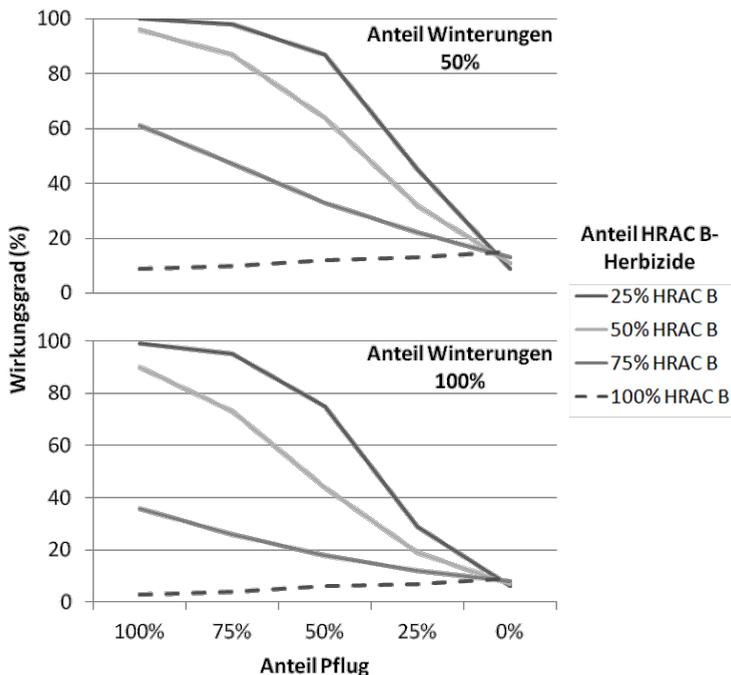


Abb. 1 Simulationsergebnisse für Schläge, auf denen ausschließlich eine Frühjahrsherbizidbehandlung in Wintergetreide stattfindet, in Abhängigkeit des Pflugeinsatzes, des Anteils an Winterungen und des Anteils an Herbiziden der HRAC-Klasse B innerhalb der Fruchtfolge.

Fig. 1 Simulation results for fields with sole spring herbicide application in winter cereals, depending on ploughing intensity, proportion of winter cereals and herbicides of HRAC group B within the crop rotation.

Diskussion

Die Simulationsergebnisse zeigen, unter welchen ackerbaulichen Voraussetzungen zukünftig Minderwirkungen von Herbiziden der HRAC-Klasse B gegenüber Windhalm zu erwarten sind. Je nach Kombination aus Pflug- und Winterungsanteil in Verbindung mit Intensitäten der Herbizide der HRAC-Klasse B können Wirkungsgrade von Herbiziden der HRAC-Klasse B verschlechtert oder auch auf hohem Niveau gehalten werden. Die Simulationen beziehen sich auf Schläge, auf denen ausschließlich eine Frühjahrsherbizidbehandlung stattfindet. Simulationen für Betriebe mit reiner Herbstbehandlung bzw. einer Kombination aus Herbst und Frühjahrsherbizidbehandlung stehen noch aus. Bei der Auswertung der Bewirtschaftungsdaten wurde deutlich, dass Betriebe, die häufig pflügen, vermehrt reine Herbstbehandlungen durchführen und seltener reine Frühjahrsherbizidbehandlungen mit Herbiziden der HRAC-Klasse B. So ist die negative Korrelation zwischen Anteil Pflug und Anteil an Herbiziden der HRAC-Klasse B zu erklären. Daher sollte der vom Modell berechnete sehr starke Einfluss des Pfluges auf den Wirkungsgrad mit Vorsicht betrachtet werden. Die Ergebnisse unterstreichen die Beratungsempfehlungen der Bundesländer, Sommerungen in die Fruchtfolge einzubauen, den Anteil von Herbiziden der HRAC-Klasse B innerhalb der Fruchtfolge zu begrenzen und soweit möglich den Einsatz des Pfluges in Betracht zu ziehen, um einer Resistenzbildung entgegen zu wirken. LUTMAN et al. (2013) zeigten, dass eine Verschiebung des Saattermins auf Ende Oktober bzw. Anfang November den Auflauf von Ungräsern, hier insbesondere Acker-Fuchsschwanz, um ca. 50 % verringern kann. Es ist zu erwarten, dass eine spätere Aussaat auch bei Windhalm auf Grund seines Keimungsverhaltens dazu beitragen könnte, den Auflauf zu verringern, um letztlich Minderwirkungen vorzubeugen. In dieser Untersuchung konnte jedoch kein Einfluss des Saattermins auf den Wirkungsgrad

festgestellt werden. In der Mehrheit der 44 zur Verfügung stehenden Datensätze wurde „nicht zu früh und nicht zu spät“ gesät, sodass Saattermin 2 (bis 1. November) überwog. Meist wurde in dieser Klasse in der Zeit zwischen dem 10. und 20. Oktober gesät. Mit der vorgenommenen Klassifizierung der Saattermine konnte kein signifikanter Effekt dieser ackerbaulichen Maßnahme sichtbar werden. Möglicherweise würde eine andere Klasseneinteilung der Saattermine einen Einfluss zeigen. Jedes Modell ist nur so gut, wie Quantität und Qualität seiner zu Grunde liegenden Ausgangsdaten. Es wäre daher wünschenswert, zukünftig von möglichst vielen Betrieben Daten zur Bewirtschaftung und den zugehörigen Resistenzstatus zu erhalten. Darüber hinaus sollten weitere ackerbauliche Einflussfaktoren, wie z.B. die Auswirkung eines falschen Saatbettes, Stoppelbearbeitungsmaßnahmen (...) bei der Modellbildung Berücksichtigung finden, um das Modell weiter zu trainieren und die Datengrundlage zu erhöhen. Letztgenannte Maßnahmen werden aktuell in Resistenzgebieten erprobt, um das Problem zu entschärfen. Durch Simulation zukünftiger Situationen in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsdaten der Vergangenheit können ackerbauliche Fehler, die Resistenzen befördern, aufgedeckt und korrigiert werden. Wie Golo Mann einst sagte: „Wer die Vergangenheit nicht kennt, kann die Zukunft nicht meistern“.

Literatur

- ABBOTT, W.S., 1925: A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* **18**, 265-267.
- COUSENS, R. und P. MORTIMER, 1995: *Dynamics of Weed Populations*. Cambridge University Press., 24.11.1995, 332 Seiten.
- 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.
- DICKE, D., C. HENSCHKE, J. PETERSEN und R. GERHARDS, 2016: Untersuchungen zur Resistenz von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Gemeiner Windhalm) gegenüber Herbiziden unterschiedlicher HRAC-Klassen in Hessen. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 68-75.
- KROPFF, R. und H.H. VAN LAAR, 1993: *Modelling Crop-Weed Interactions*. Wallingford. CAB International, 274 Seiten.
- 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.
- VON REDWITZ, C., H. PANNEWITT und B. GEROWITT, 2016: About the interplay of sensitive and resistant biotypes in weed populations-simulation exercises for *Echinochloa crus-galli* in maize crops. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 93-99.
- RUMMLAND, N., D. KERLEN, H. NORDMEYER, R. BEFFA und O. RICHTER, 2014: Modeling the development of a target site resistant *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. Population - A comparison of model output and field data. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 343-349.
- SAS INSTITUTE, 2013: *Base SAS®, 9.4 Procedures Guide: Statistical Procedures, Second Edition*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SAS INSTITUTE, 2014: *SAS/STAT®, 13.2 Users Guide: Statistical Procedures, Second Edition*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- VLEESHOUVERS, L.M. und H.J. BOUMEESTER, 1993: A simulation model for the dormancy cycle of weed seeds in the seed bank. 8th European Weed Research Society, Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical application, Proceedings, Braunschweig, 593-600.

Herbicide mixtures for control of herbicide resistant *Apera spica-venti* populations

Herbizidmischungen für die Kontrolle von herbizidresistenten Windhalm-Populationen

Jan Petersen

University of Applied Sciences Bingen, Berlinstr. 109, 55411 Bingen
petersen@th-bingen.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.016



Abstract

Apera spica-venti is a very important weed in cereal crops throughout Central, Northern and Eastern Europe and herbicide resistance to post-emergence herbicides is often present in *A. spica-venti* populations. To improve herbicide efficacy and to prevent further spread of resistance, herbicide mixtures with different mode of action might be a solution. The aim of this study was to investigate potential interactions of ALS- and ACCase inhibiting herbicides on different *A. spica-venti* populations. Mixtures of pinoxaden with met- and thifensulfuron caused antagonism in herbicide performance to all populations tested. Tank mixtures of pinoxaden with florasulfuron and pyroxsulam showed different interactions according to the status of resistance of the tested populations. Populations susceptible to both herbicides showed additive effects indicating that herbicides in the mixture do not influence their respective efficacy. Resistant populations showed not necessarily the same reaction to this herbicide mixture. In target-site resistant populations the efficacy of mixtures was increased with higher portions of the active ingredient still effective on the population. For populations with non-target-site resistance mechanisms the reaction was unpredictable depending on the population and mixture ratio. Synergism, antagonism and additive effects could be observed. However, results showed that these effects cannot be predicted even within different mixtures from the same modes of action.

Keywords: Antagonism, metsulfuron, pyroxsulam, pinoxaden, synergism, thifensulfuron

Zusammenfassung

Windhalm ist ein sehr bedeutendes Ungras im Wintergetreide in Zentral-, Nord- und Osteuropa. Das Vorkommen von herbizidresistenten Population gegenüber blattaktiven Herbiziden ist häufig. Um die Wirksamkeit von Herbizidapplikationen zu verbessern und damit der Verbreitung von Herbizidresistenz entgegen zu wirken, könnten Herbizidmischungen eine Lösung darstellen. Das Ziel dieser Studie war zu prüfen, ob potentielle Interaktionen von ALS- und ACCase-Hemmern bei verschiedenen Windhalm-Herkünften auftreten. Mischungen mit Pinoxaden und Met- und Thifensulfuron verursachten Minderwirkungen gegenüber allen geprüften Herkünften, die auf einen Antagonismus der Wirkstoffe zurückzuführen war. Tankmischungen von Pinoxaden mit Florasulfuron und Pyroxsulam zeigten in der Wirkung Interaktionen mit den verschiedenen Herkünften bzw. Resistenzmechanismen. Während bei sensitiven Herkünften die beiden Herbizide in beliebigen Mischungsverhältnissen ausgebracht werden konnten, ohne die Wirkung negativ zu beeinflussen, war bei resistenten Herkünften keine einheitliche Reaktion zu beobachten. Während Zielortresistenzen gegenüber einer Wirkstoffklasse zunehmend wirksamer kontrolliert wurde je höher der Anteil des noch wirksamen Bestandteils war, war dies bei Nicht-Zielortresistenz nicht unbedingt der Fall. Teilweise gab es Synergismen durch die Tankmischung oder es zeigten sich antagonistische zum Teil auch additive Effekte. Die Tankmischung zweier wirksamer blattaktiver Einzelkomponenten ist demnach nicht immer die Lösung, die eine sichere Bekämpfung von resistenten Windhalmherkünften verspricht.

Stichwörter: Antagonismus, Metsulfuron, Pyroxsulam, Pinoxaden, Synergismus, Thifensulfuron

Introduction

Loose silky bent grass (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.; APESV) is an annual grass weed in European winter cereal fields (NORTHAM and CALLIHAN, 1992). APESV is the most important grass weed in winter cereals in many regions of Central, Middle-eastern and Northern Europe (MELANDER et al., 2008; HAMOUZOVÁ et al., 2011). For post-emergence weed control of APESV only a few modes of action are available. Due to high abundance of the weed and frequent use of herbicides, resistant biotypes do occur in all countries where APESV is present (NIEMANN and ZWERGER, 2006; MASSA and GERHARDS, 2011; HEAP, 2017) and resistance in APESV is still spreading in space and strength. Consequently, APESV control strategies must be adapted to the current resistance situation to ensure sustainable arable systems. Next to an implementation of agronomic management

practices like crop rotations, soil tillage and others, herbicide application will still be a part of these strategies. However, anti-resistance strategies recommend rotation of herbicide mode of action, use of pre-emergence herbicides and use of herbicide mixtures (WSSA, 1995; DIGGLE et al., 2002; BECKIE et al., 2004; MOSS et al., 2007).

Nevertheless, not all active ingredients may be suitable partners in a certain herbicide mixture. Within herbicide mixtures three scenarios of interactions between the mixture partners may occur. Either the active ingredients herbicides do not influence each other's performance (additivity) or the performance of a herbicide in a mixture is either impaired (antagonism) or promoted (synergism) by the presence of other herbicides in the spray solution (HYDRICK and SHAW, 1994; HATZIOS and PENNER, 1985). Antagonism often occurs between selective broadleaf herbicides and graminicides (MINTON et al., 1989).

The potential for interactions in herbicide tank mixtures is currently not fully understood (DAMALAS, 2004) but knowledge about mixtures can provide important information for farmers as they decide about their weed control programs (HYDRICK and SHAW, 1994). Antagonistic effects in herbicide tank mixture may provoke the development of herbicide resistances. If synergistic effects occur, the herbicide rates can be reduced without increasing the risk of losing efficacy. Should additive effects result from mixing different modes of action, herbicide failure can be prevented in case of resistance if one mode of action remains still effective. However, many selective herbicides for APESV control in cereals contain ALS- or ACCase-inhibitors. For both modes of action resistance in APESV has been described. One idea to improve herbicide efficacy for control of APESV and to prevent spread of herbicide resistance in this species is to mix herbicides from both mode of action at full dose rates.

The aim of our study was to examine the efficacy of two different mixtures of ALS- and ACCase-inhibitors on susceptible and resistant APESV populations. Investigations on potential interactions of populations and herbicide mixture performance should allow choosing the right option for farmers in their particular situations without increasing the risk for herbicide resistance development.

Materials and Methods

Apera spica-venti (APESV) populations

Ten different APESV populations from different locations in Austria and Germany were analyzed in the presented study (Tab. 1). Characterization of the herbicide resistance profiles of the populations against pinoxaden and ALS-inhibitors (thifen- and metsulfuron and flora- and pyroxsulam) was conducted in previous bioassays in the greenhouse and subsequent genetic analyses. Two susceptible populations and different herbicide resistant APESV populations were chosen for the experiments. Criteria for choice of populations were different resistance factors and different mechanisms of resistance (NTSR, TSR). Trials with different ALS-inhibitors contained only partly the same populations, because trials with met- and thifensulfuron and pinoxaden showed in general no interactions with APESV but mixtures of pinoxaden with pyroxsulam did. Therefore also populations with resistance to pinoxaden were included into the trials with pyroxsulam and pinoxaden mixtures.

Tab. 1 Resistance factors (based on ED₅₀ values; 1.0 = mean of susceptible populations W11-024 and W11-111) and information on target-site-resistance (TSR) of *A. spica-venti* populations used in the experiments (n.i. – not investigated).

Tab. 1 Resistenzfaktoren (auf Basis der ED₅₀-Werte; 1.0 = Mittelwert der sensitive Herkünfte W11-024 und W11-111) und Angaben zur Zielortresistenz (TSR) der eingesetzten *A. spica-venti*-Herkünfte (n.i. – nicht untersucht).

population-code	post code	location	year of sampling	resistance factor			target-site resistance	
				pinoxaden	thifen- and metsulfuron	flora- and pyroxsulam	ALS	ACCase
W11-024	A-4773	Eggerding	2011	1.1	1.1	0.8	none	none
W11-111	17495	Klein Bünsow	2011	0.9	0.9	1.2	none	none
W09-157	39362	Meitzendorf	2009	0.9	17.6	11.8	none	none
W11-097	17237	Warbende	2011	0.6	29.2	14.4	Trp-574-Leu	none
W-879	48653	Coesfeld	2008	1.1	34.3	15.6	none	none
W12-062	19386	Granzin	2012	0.8	n.i.	34.0	Pro-197-Thr	none
W10-046	99610	Sömmerda	2010	1.2	22.1	1.4	none	none
Selfkant	52538	Selfkant	2008	9.0	n.i.	0.9	none	lle-1781-Leu
W12-033	93186	Pettendorf	2012	4.5	n.i.	12.0	none	none
W884	34613	Schwalmsstadt	2008	3.4	n.i.	74.4	Pro-197-Thr	none

Herbicides

Herbicides used in the study were pinoxaden (50 g a.i. L⁻¹; Axial 50; EC; Syngenta Agro GmbH), florasulam and pyroxsulam (22.8 + 68.3 g a.i. kg⁻¹; Broadway; WG; Dow AgroSciences GmbH) and met- and thifensulfuron (38.4 + 384.5 g a.i. kg⁻¹; Concert SX; WG; DuPont de Nemours). Herbicides were applied solo and in fixed ratios of pinoxaden and florasulam and pyroxsulam or pinoxaden and met- and thifensulfuron (0.8:0.2; 0.6:0.4; 0.4:0.6; 0.2:0.8) in greenhouse trials (Tab. 2).

Tab. 2 Applied dose rates (g a.i. ha⁻¹) for herbicides applied solo and in fixed ratios (mix) of pinoxaden with flora- and pyroxsulam and pinoxaden with met- and thifensulfuron, respectively.

Tab. 2 Aufwandmengen (g Wirkstoff ha⁻¹) für die verwendeten Herbizide (solo) und Tankmischungen (mix) von Pinoxaden mit Flora- und Pyroxsulam bzw. Pinoxaden mit Met- und Thifensulfuron.

Herbicide/Mixture	Active ingredients	Minimum dose	Maximum dose
Axial50 (solo)	pinoxaden	0.14	4.500
Broadway (solo)	florasulam	0.04	294.4
	+pyroxsulam	0.11	887.9
Concert SX (solo)	metsulfuron	0.14	115.2
	+thifensulfuron	1.44	1153.5
Mix: Axial50	pinoxaden	1.13	45
+Concert SX	metsulfuron	0.14	9.22
	+thifensulfuron	1.44	92.28
Mix: Axial50	pinoxaden	0.14	144
+Broadway	florasulam	0.04	9.48
	+pyroxsulam	0.11	28.4

Registered doses for APESV control: Pinoxaden 45 g ha⁻¹; flora- and pyroxsulam 2.96 + 8.88 g ha⁻¹; met- and thifensulfuron 5.76 + 5.7 g ha⁻¹

The dose ranges were selected to cover the responses of APESV populations from no observable herbicide effect to complete control of the population. The tested herbicide combinations were chosen because it was observed in field trials that pinoxaden with metsulfuron and thifensulfuron showed antagonistic effects (WOLBER and KREYE, 2012). The second combination of pinoxaden with

flora- and pyroxsulam was chosen because both herbicides play a very important role in the control of APESV and no observations of possible interactions in tank mixtures of these two herbicides are known up today. For mixtures of pinoxaden with met- and thifensulfuron six dose rates and for mixtures of pinoxaden with flora- and pyroxsulam eight dose rate were used for each mixture ratio. The ED₅₀ (the dose that reduces plant growth by 50%) for each herbicide was determined in preliminary experiments to find the most appropriate ratios for the binary mixtures. Used dose rates for herbicides applied solo and in mixtures are given in Table 2.

Bioassays

As soil substrate, a sieved and sterilized (4 h at 70 °C) soil (sandy loam, pH-value 6.5, organic matter content ~ 2%) was used. Seeds of each population were sown on trays, covered with 2 mm soil and trays were placed in the greenhouse with temperatures between 12 and 18 °C. The plants were irrigated manually as required by temporarily flooding of the glasshouse tables. Additional light with an intensity of 300 μE m⁻² s⁻² was given from 07:00 to 10:00 and 16:00 to 19:00. Ten days after sowing the seedlings were transplanted into Jiffy pots (8 x 8 cm) filled with the substrate mentioned above. Five seedlings of the same plant size were planted in each pot. Pots were integrated into a randomised block design in the greenhouse. Replications represented the blocks. All in all, three pots per population, dosage and herbicide combination were used as replicates. One week after transplanting at one to two-leaf stage, the herbicides were applied with a laboratory sprayer (Schachtner) nozzle TEE JET 9502EVS, a water volume of 250 l ha⁻¹, a speed of 2.5 km h⁻¹ and a pressure of 250 kPa. Twenty-one days after herbicide application the plant biomass was evaluated by cutting and measuring the fresh weight of each surviving plant. The studies were replicated twice under identical glasshouse conditions. Results of the repeated trials were very similar for both mixtures. Consequently, mean data of the two repeated trials are shown.

Statistical analysis

The data obtained from greenhouse trials (fresh biomass) was used to calculate ED₅₀ values of herbicides applied solo and in mixtures. The dose-response models were fitted using the statistical software R (R CORE TEAM, 2015) and the drc-package (RITZ and STREIBIG, 2005). The response of fresh biomass (U) on herbicide dose (z) was described by a logistic model (STREIBIG et al., 1998):

$$U_{ij} = C + (D - C) / (1 + \exp[b_i (\log(z_{ij}) - \log(ED_{50}(i)))]$$

Where U_{ij} is the fresh biomass at the jth dose of the ith herbicide mixture; D and C are the upper and lower limit of fresh biomass at zero and infinite doses. ED₅₀(i) is the dose required of herbicide i to reduce fresh biomass by half between the upper and lower limit, D and C. The b_i is proportional to the slope of the curve around ED₅₀(i).

In order to achieve a higher practical relevance, all following results will be presented as relative ED₉₀ values. Relative ED₉₀ values were calculated by dividing the ED₉₀ value by the maximum registered dose rate of regarding herbicide or mixture.

Results

Populations W11-024 and W11-111 were susceptible to all three herbicides tested (Tab. 1). Mean ED₅₀-values of these two populations were used as references for the calculations of resistance factors (RF). Populations W884, W12-033 and Selfkant were identified as pinoxaden resistant on the basis of the conducted bioassays. Selfkant was the only APESV population with ACCase target-site resistant (TSR) used in this experiment. Resistant factor for pinoxaden was 9 in the TSR population 'Selfkant' compared to 3.4 resp. 4.5 in the non-target-site-resistant (NTSR) populations 'W12-033' and 'W884'. Resistance factors to the ALS-inhibitor met- and thifensulfuron were higher compared to flora- and pyroxsulam of the populations W09-157, W12-046, W11-097 and W879. This observation was independent of the resistance mechanism. Resistant factors of flora- and pyroxsulam varied between 11.8 and 74.4. In general resistance factors for flora- and pyroxsulam

were higher in populations with TSR. However, also NTSR population W879 showed a resistance factor of 15.6 and was higher than for the TSR population W11-097.

Results of dose-response experiments with different ratios of herbicide mixtures are shown as relative ED₉₀-values in relation to the maximum registered dose. Relative ED₉₀-values below 100 indicate a susceptible plant-response to one herbicide or a mixture while relative ED₉₀-values higher than 100 indicate a reduced effectiveness due to the occurrence of lower susceptibility to herbicides or due to occurrence of herbicide resistance. Results for experiments using pinoxaden and met- and thifensulfuron solo and in mixtures are given in Table 3 and results for pinoxaden and flora- and pyroxusulam are shown in Table 4. Results of the susceptible populations W11-024 and W11-111 are presented as one mean value and described as 'sen' in following tables. The response of the tested populations to herbicides applied solo confirms the described resistance patterns from the preliminary trials reported above.

Tab. 3 Relative ED₉₀-values (% in relation to max. registered dose rate; 100 = registered dose rate shows 90% efficacy on tested plants) of analyzed APESV populations for pinoxaden, met- and thifensulfuron and different mixtures of both herbicides.

Tab. 3 Relative ED₉₀-Werte (% in Relation zur max. zugelassenen Aufwandmenge 100 = registrierte Aufwandmenge verursacht 90 % Wirkung) der untersuchten Windhalmherkünfte für Pinoxaden und Met- und Thifensulfuron und deren verschiedenen Tankmischungen.

fixed ratio	herbicide	sen	W10-046	W-879	W09-157	W11-097
1 -	pinoxaden					
- 0	met- & thifensulfuron	13.2	12.8	19.6	19.2	14.7
0.8 -	pinoxaden					
- 0.2	met- & thifensulfuron	40.7	59.0	37.3	63.3	27.4
0.6 -	pinoxaden					
- 0.4	met- & thifensulfuron	54.2	75.3	50.5	82.3	45.5
0.4 -	pinoxaden					
- 0.6	met- & thifensulfuron	70.4	95.6	71.8	119.9	66.6
0.2 -	pinoxaden					
- 0.8	met- & thifensulfuron	87.6	108.7	175.6	254.6	115.9
0 -	pinoxaden					
- 1	met- & thifensulfuron	93.5	>1000	>1000	>1000	>1000*

*ED₉₀ value far outside dose range tested

Tab. 4 Relative ED₉₀-values (% in relation to max. reg. dose; 100% = registered dose cause 90% efficacy) of analyzed *A. spica-venti* populations for pinoxaden with flora- and pyroxsulam and different mixtures of both herbicides.

Tab. 4 Relative ED₉₀-Werte (% in Relation zu max. zugelassenen Aufwandmenge 100 % = registrierte Aufwandmenge verursacht 90 % Wirkung) der untersuchten Windhalmherkünfte für Pinoxaden und Flora- und Pyroxsulam und deren verschiedenen Tankmischungen.

fixed ratio	herbicide	sen	W09-157	W11-097	W-879	W12-062	W-884	W12-033	Selfkant
1 -	pinoxaden	30.8	42.6	32.6	43.5	29.5	203.3	491.5	>1000*
- 0	flora- & pyroxsulam								
0.8 -	pinoxaden	30.2	213.4	47.1	128.8	19.1	128.6	38.2	32.6
- 0.2	flora- & pyroxsulam								
0.6 -	pinoxaden	27.4	137.1	170.8	280.5	46.0	155.0	47.8	21.1
- 0.4	flora- & pyroxsulam								
0.4 -	pinoxaden	24.7	122.0	147.9	147.6	63.6	116.3	46.8	18.9
- 0.6	flora- & pyroxsulam								
0.2 -	pinoxaden	17.9	84.7	148.2	207.5	>1000	>1000	34.4	18.1
- 0.8	flora- & pyroxsulam								
0 -	pinoxaden	20.9	136.4	267.4	>1000	>1000	>1000	38.1	19.4
- 1	flora- & pyroxsulam								

*ED₉₀ value far outside dose range tested

Discussion

Results of mixtures of pinoxaden with met- and thifensulfuron showed in general an increase of relative ED₉₀ values with increasing portion of met- and thifensulfuron in the mixture for all populations tested. However, in the ALS resistant populations the relative ED₉₀ values increased stronger with higher portion of met- and thifensulfuron in the mixture. This confirms the field observations of WOLBER and KREYE (2012) on mixtures of pinoxaden with met- and thifensulfuron. Data of susceptible and resistant populations showed no difference in herbicide response regarding the ratios. The tested mixture contains two different modes of action for control of APESV but they are losing their potential if they are applied in a tank mixture. Therefore this mixture is not useful for anti-resistance herbicide management.

Results of different herbicide ratios of the mixture of pinoxaden and flora- and pyroxsulam show that there is no general consistent interaction between pinoxaden with flora- and pyroxsulam in a tank mixture. The kind of interaction seems to be depending on the resistance status of the tested population. Results suggest that mixtures of pinoxaden with flora- and pyroxsulam can be a useful tool for the control of ALS resistant APESV populations, but the use of such mixtures requires a profound understanding of the resistance situation (= mechanisms of resistance present in a population) on the certain field where the mixture is to be applied. However, the reasons for this interaction remain unclear and demand further experiments with tank mixtures and resistant populations in the future.

In general, the use of ACCase- and ALS-inhibiting herbicides is considered to implicate a high risk of resistance development (Moss et al., 2007). Both modes of action are widely used for weed control in cereals and other crops. Besides single nucleotide polymorphism within the two target genes causing resistance, also NTSR to both modes of action can appear. Consequently a mixture of ALS- and ACCase inhibitors bear an inherent risk for selection of multiple resistant biotypes in the long run even if short term efficacy may be increased by mixtures.

References

- BECKIE, H.J., L.M. HALL, S. MEERS, J.J. LASLO and F.C. STEVENSON, 2004: Management Practices influencing herbicide resistance in wild oat. *Weed Technology* **18**, 853-859.
- DAMALAS, C., 2004: Herbicide tank mixtures: common interactions. *International Journal of Agriculture and Biology* **6**(1), 209-212.
- DIGGLE, A. J., P. B. NEVE and F. P. SMITH, 2002: Herbicides used in combination can reduce the probability of herbicide resistance in finite weed populations. *Weed Research* **43**, 371-382.
- HAMOZOVÁ, K.J., J. SOUKUP, M. JURSIK, P. HAMOUZ, P. VENCLOVA and P. TUMOVA, 2011: Cross-resistance to three frequently used sulfonylureas herbicides in populations of *Apera spica-venti* from the Czech Republic. *Weed Research* **51**, 113-122.
- HATZIOS, K.K. and D. PENNER, 1985: Interactions of herbicides with other agrochemicals in higher plants. *Review of Weed Science* **1**, 1-63.
- HEAP, I. M., 2017: International survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.com> [access: 03.07.2017]
- HYDRICK, D.E. and D.R. SHAW, 1994: Effects of Tank-Mix Combinations on Non-Selective Foliar and Selective Soil-Applied Herbicides on Three Weed Species. *Weed Technology* **8**, 129-133.
- MASSA, D. and R. GERHARDS, 2011: Investigations on herbicide resistance in European silky bent grass (*Apera spica-venti*) populations. *Journal of Plant Diseases and Protection* **118**, 31-39.
- MELANDER, B., N. HOLST, P.K. JENSEN, E.M. HANSEN and 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.
- MINTON, B.W., D.R. SHAW and M.E. KURTZ, 1989: Post emergence grass and broadleaf herbicide interactions for red rice (*Oryza sativa*) control in soybeans (*Glycine max*). *Weed Technology* **3**, 329-334.
- MOSS, S.R., S.A.M. PERRYMAN and L.V. TATNELL, 2007: Managing herbicide-resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides*) theory and practice. *Weed Technology* **21**, 300-309.
- NIEMANN, P. and P. ZWERGER, 2006: Über Herbizidresistenzen bei *Apera spica-venti* (L.). *Journal of Plant Diseases and Protection*, Special Issue **XX**, 81-88.
- NORTHAM, F.E. and R.H. CALLIHAN, 1992: The windgrasses (*Apera* Adans., Poaceae) in North America. *Weed Technology* **6**, 445-450.
- R CORE TEAM, 2015: R: A language and environment for statistical computing. R-Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
- RITZ, C. and J.C. STREIBIG, 2005: Bioassay Analysis using R. *Journal of Statistical Software* **12**, 1-22.
- STREIBIG, J.C., P. KUDSK and J.E. JENSEN, 1998: A general joint action model for herbicide mixtures. *Pesticide Science* **53**, 21-28.
- WOLBER, D.M. and H. KREYE, 2012: Antagonistic effects with pinoxaden. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 313-320.
- WSSA, 1995: *Weed Science Society of America Newsletter*, 1995. *WSSA* **23**, 21-23.

Stand und Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern

Situation and 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-Weißenstephan

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

DOI 10.5073/jka.2018.458.017



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 Entwicklung und verstärkte Ausprägungen der Herbizidresistenz. Während ACCase-Inhibitoren schon breit von Resistenz betroffen sind, verstärkt sich derzeit der Selektionsdruck auf die Resistenz gegenüber ALS-Inhibitoren. Im Verlauf der Untersuchungsperiode von 2004 bis 2016 wurden zunehmend multiresistente Populationen gegen verschiedene Herbizid-Wirkmechanismen nachgewiesen. Bei den seit 2012 zusätzlich durchgeführten molekulargenetischen Untersuchungen wurden regelmäßig Wirkortresistenzen gegen ACCase- und ALS-Inhibitoren bestätigt. In Einzelfällen treten multiple Wirkortresistenzen gegen die beiden wichtigsten Herbizidklassen auf.

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 all arable farming regions of Bavaria. 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. At the beginning of the test period in 2004 resistance to ACCase-Inhibitors was most important. Currently a selection pressure for resistance to ALS-Inhibitors is the greatest problem. During the course of the test program multiple resistance and multiple target-site resistance occurs increasingly.

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 Wintergetreideanbau, in Winterraps und im Maisanbau. Die Notwendigkeit für eine Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz 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. betriebspezifischen 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 Prüferkünfte 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 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. 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.

Die Applikation erfolgte je nach zu prüfendem 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 wurde berücksichtigt, dass eine der geprüften Konzentrationen der zugelassenen Standarddosis des jeweiligen Herbizids entsprach. Die Dosierung wurde so gewählt, dass bei der sensitiven Vergleichsherkunft ein mittlerer Wirkungsgrad im Bereich von >90 % erzielt wurde. Im Verlauf der Untersuchungsjahrgänge wurde das Spektrum der geprüften Herbizide an den Zulassungsstand und die anwendungstechnische Bedeutung der jeweiligen Präparate angepasst. Der aktuelle Prüfumfang ist in Tabelle 1 dargestellt. 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.

Die Untersuchungsergebnisse wurde mit Hilfe der Anwendung UNISTAT® 6.5 for Windows™ (UNISTAT LIMITED, 2015) einer Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse zur Überprüfung von signifikanten Unterschieden untersucht.

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.

Tab. 1 Im Resistenztest in 2016 eingesetzte Herbizide.

Tab. 1 *Herbicides used in 2016 in the resistance test.*

Präparat Handelsname	Wirkstoff a.i.	Standard- dosis g/ha	Prüfkonzentrationen (% Standarddosis)			Applikations- termin BBCH
			50	100	200	
Cadou SC	Flufenacet	250,00	☑	☑	-	00
Lentipur 700	Chlortoluron	2100,00	☑	☑	☑	10-11
Lexus + Trend*	Fluprimsulfuron	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
Kelvin OD	Nicosulfuron	40,00	☑	☑	-	12
Sword	Clodinafop	53,46	-	☑	☑	12
Focus Ultra	Cycloxydim	200,00	-	☑	-	12

*) präparatespezifischer Formulierungshilfsstoff

☑ = Prüfkonzentration angewendet, - = Prüfkonzentration nicht angewendet

BBCH = Skala für das phänologische Pflanzenentwicklungsstadium

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 Behandlungen mit der Standarddosis verwendet. Bei einem Wirkungsergebnis in der Stufe 1 liegt die Herbizidwirkung gegenüber der jeweiligen Prüferkunft nicht mehr auf dem Wirkungsniveau der sensitiven Vergleichsherkunft und wird als „verminderte Sensitivität“ eingestuft. In der Stufe 2 dieser Klassifikation werden Herkünfte bereits als „teil-resistent“ bezeichnet. Biotypen, die im Test die Stufen 3-5 erreichten, wurden gegenüber dem jeweiligen Herbizid als in zunehmender Intensität resistent eingestuft. Feste Wirkungsgrenzen können für die einzelnen Klassengrenzen nicht angegeben 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 der resistenten Vergleichsherkunft eingeteilt. Im Untersuchungszeitraum von 2004 bis 2016 wurden 463 bayerische Herkünfte bzw. Biotypen hinsichtlich ihrer Resistenzeigenschaften untersucht.

Ergebnisse

Im Vergleich der verschiedenen Herbizide und Wirkmechanismusgruppen sind die ACCase-Inhibitoren besonders stark von Herbizidresistenz bei Ackerfuchsschwanz betroffen (Tab. 2), wobei ein erheblicher Unterschied zwischen Sword® (Clodinafop) und Axial 50® (Pinoxaden) gegenüber dem in Getreide nicht-selektiven Focus Ultra® (Cycloxydim) besteht. In der Gruppe der ALS-Inhibitoren tritt eine deutliche Abstufung hinsichtlich der Resistenzbelastung in der Reihenfolge Lexus® (Fluprimsulfuron) > Attribut® (Propoxycarbazone) > Atlantis OD® (Mesosulfuron + Iodosulfuron) > Broadway® (Pyroxulam + Florasulam) > Kelvin OD® (Nicosulfuron) auf. Gegenüber den im Getreidebau eingesetzten und über die gesamte Untersuchungsperiode geprüften ALS-Inhibitoren wurde das ausschließlich im Maisanbau eingesetzte Kelvin OD® erst im Untersuchungsjahrgang 2016, aufgrund von Resistenzverdacht bei der Ackerfuchsschwanzbekämpfung im Maisanbau, in das Prüfset aufgenommen. Das einzige, aktuell im

Prüfset vorhandene Präparat aus der Gruppe der PSII-Inhibitoren, Lentipur 700® (Chlortoluron), weist einen gegenüber den ACCase- und ALS-Inhibitoren zwar abgestuften, aber durchaus deutlichen Resistenzanteil auf. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Einsatzhäufigkeit von Chlortoluron im Untersuchungszeitraum in der Anbaupraxis relativ gering ist. Die Prüfung von Fenoxaprop-P und Isoproturon wurde in 2016 aufgrund der ausgelaufenen Zulassung eingestellt. Für das Herbizid Cadou SC® (Flufenacet) aus der Gruppe der Zellwachstumshemmer wurde bisher keine Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz in Bayern nachgewiesen (Tab. 2).

Tab. 2 Resistenzhäufigkeit im Vergleich der aktuell untersuchten Herbizide im Mittel der Untersuchungs-jahrgänge 2004 bis 2016 (n = 463 Herkünfte).

Tab. 2 Rate of herbicide resistance in case of current evaluated herbicides averaged over tests conducted 2004 - 2016 (n = 463 biotypes).

Präparat (Handelsname)	Wirkstoff (a.i.)	Anteil resistenter Herkünfte (%)
Lexus + Trend*	Flupyrsulfuron	16,9
Sword	Clodinafop	15,4
Axial 50	Pinoxaden	14,2
Attribut	Propoxycarbazone	10,1
Lentipur 700	Chlortoluron	5,9
Atlantis OD	Mesosulfuron + Iodosulfuron	5,7
Broadway + FHS*	Pyroxsulam + Florasulam	3,5
Focus Ultra	Cycloxydim	2,0
Kelvin OD	Nicosulfuron	0,7
Cadou SC	Flufenacet	0,0

*präparatespezifischer Formulierungshilfsstoff

In Bezug auf die jeweilige Wirkmechanismusgruppe sind im Verlauf des gesamten Untersuchungszeitraums ACCase-Inhibitoren (HRAC: A), mit einer Resistenzhäufigkeit von 54 %, eindeutig am stärksten betroffen (Tab. 3). Bei einem Anteil von 37 % resistenter Herkünfte gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Hemmer (HRAC: B) darf die Gefährdung dieser wichtigen Herbizidgruppe allerdings auf keinen Fall unterschätzt werden. Vorwiegend bodenaktive Herbizide aus der Gruppe der Photosystem-II-Inhibitoren (HRAC: C2; Wirkstoffe: Isoproturon und Chlortoluron) und der Zellwachstumshemmer (HRAC: K3; Wirkstoffe: Flufenacet und Pendimethalin) sind mit einer Häufigkeit von 7 % und 3 % nur nachrangig von Herbizidresistenz betroffen.

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 (%)
ACCCase-Inhibitoren	A	54
ALS-Inhibitoren	B	37
Photosystem-II- Inhibitoren	C2	7
Zellwachstumshemmer	K3	3

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

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 % nicht unerheblich von Resistenz betroffen. Die Prüfung von Pendimethalin wurde allerdings aufgegeben, weil das Herbizid nicht mehr gezielt zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz eingesetzt wird. Für den Wirkstoff Flufenacet, der regelmäßig in Herbizidbehandlungskonzepten zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz integriert ist, wurde bisher keine Resistenz in Bayern nachgewiesen.

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. In den Untersuchungen bestätigte sich bei 45 % der Proben ein Resistenzverdacht mit Wirkungsergebnissen in den Klassen 3-5. Der Anteil an Herkünften mit deutlicher bis sehr hoher Resistenz nahm im Verlauf der Untersuchungsperiode zu (Abb. 1). Herbizidresistenz gegenüber einem einzigen Wirkmechanismus wurde bei 57 % der positiv geprüften Herkünfte festgestellt. Hierbei handelte es sich vorwiegend um Resistenz gegen ACCase-Inhibitoren (44 %). Ausschließliche Resistenz gegen die Wirkmechanismusgruppen ALS- bzw. PS-II-Inhibitoren kommt mit einer Häufigkeit von 9 bzw. 2 % der resistenten Herkünfte dagegen nur begrenzt bzw. in geringen Umfang vor. Herbizidresistenz gegenüber zwei bzw. drei Wirkmechanismen konnte in 29 % bzw. 12 % der resistenten Herkünfte nachgewiesen werden. Bei multiplen Resistenzen gegenüber zwei verschiedenen Wirkmechanismen handelt es sich vorwiegend (83 %) um Resistenz gegen ACCase- und ALS-Inhibitoren, während multiple Resistenzen gegen drei Wirkmechanismen in 92 % der Fälle ACCase-, ALS- und PSII-Inhibitoren betreffen.

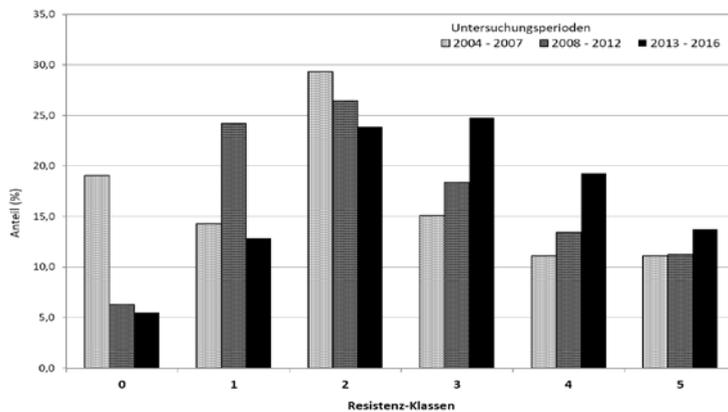


Abb. 1 Resistenzklassen-Anteil im Untersuchungszeitraum.

Fig. 1 Percentage of resistance rank classes during test period.

In Fällen mit hohen Resistenzgraden im Biotest wurden molekulargenetische Untersuchungen hinsichtlich Wirkortresistenz in Auftrag gegeben. Hierbei konnten bekannte Mutationen für ALS an den Positionen Pro-197 und Trp-574, sowie für ACCase an den Positionen Asp-2078, Gly-2096, Ile-1781, Ile-2041 und Trp-2027 nachgewiesen werden (IDENTXX, 2014, 2015, 2016). Bei 60 % bzw. 50 % der geprüften Herkünfte konnte eine Wirkortresistenz gegenüber ACCase- bzw. ALS-Inhibitoren nachgewiesen werden. Bei 11 % der Herkünfte handelte es sich um multiple Wirkortresistenz gegen ACCase- und ALS-Inhibitoren. Im Fall von ACCase-Wirkortresistenz dominierte die Mutation der Position Ile-1781 (72 % der geprüften Herkünfte). Bei ALS-Wirkortresistenz handelte es sich vorwiegend um eine Mutation an der Position Trp-574 (Abb. 2).

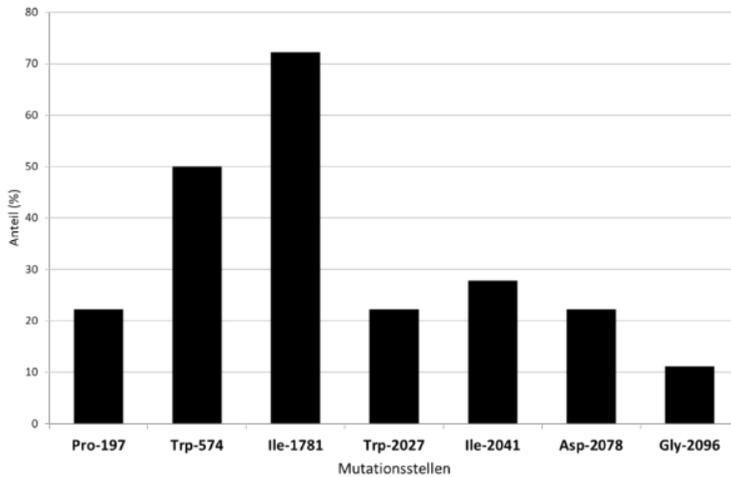


Abb. 2 Wirkortresistenz bei Acker-Fuchsschwanz in Bayern - Anteil unterschiedlicher Mutationsformen.

Fig. 2 Target site resistance of Black-Grass in Bavaria - Percentage of different types of mutation.

Die Anzahl der jährlich eingereichten Proben zur Resistenzuntersuchung lag im Bereich von 17 bis 79 Herkünften je Untersuchungsjahrgang. Die höchste Probenanzahl hatten die Jahrgänge 2008 und 2009. In diesen beiden Jahren wurde neben den Verdachtsproben ein Monitoring mit Probenauswahl unabhängig von einem konkreten Resistenzverdacht durchgeführt. Ansonsten war die Anzahl der jährlichen Proben auch von der jahrgangsspezifischen Bekämpfungsleistung gegen Acker-Fuchsschwanz in der Anbaupraxis beeinflusst. Eine Abhängigkeit der Resistenzintensität von der Anzahl der Proben je Jahrgang oder von der Art der Probe (Verdachts- vs. Monitoringproben) konnte jedoch nicht festgestellt werden. Im Verlauf des Untersuchungszeitraums konnte vielmehr eine diskontinuierliche Steigerung der Resistenzintensität im Mittel der Herkünfte und Jahrgänge nachgewiesen werden (Abb. 3). Eine Varianzanalyse der Untersuchungsergebnisse mittels Kruskal-Wallis One-Way ANOVA ergab signifikante Unterschiede in der Resistenzintensität im Vergleich der Jahrgänge. Der Jahrgangseffekt war hierbei allerdings nicht kontinuierlich im chronologischen Verlauf, wenngleich der Jahrgang 2004 das niedrigste Resistenzniveau und die Jahrgänge 2015 und 2016 die höchsten Resistenzgrade aufwiesen. Im Trend zeigt sich eine deutliche Zunahme der Resistenz im zeitlichen Verlauf.

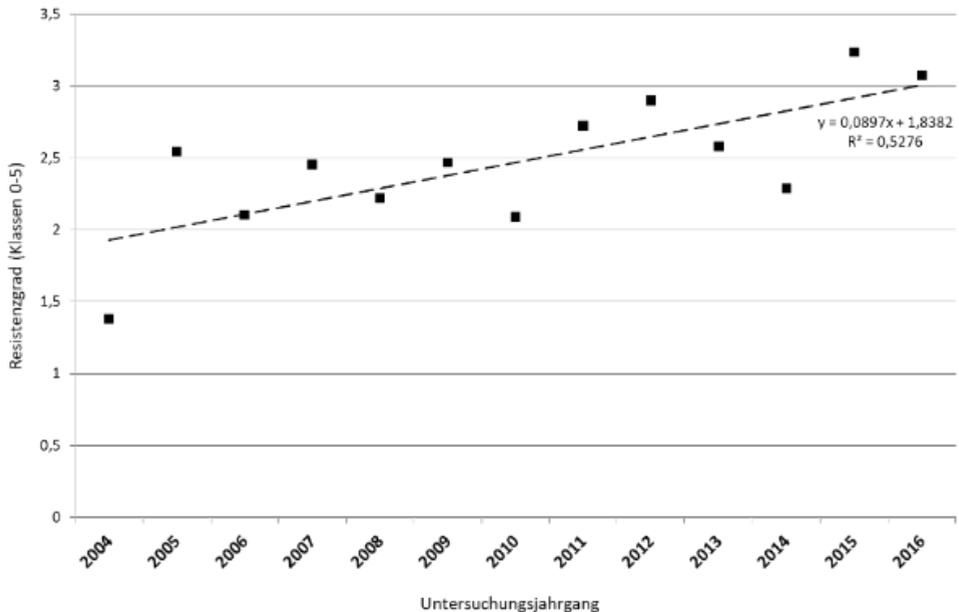


Abb. 3 Entwicklung der Resistenzintensität im Untersuchungszeitraum; Maximale Resistenz je Biotyp als Mittelwert je Untersuchungsjahrgang und Trend.

Fig. 3 Development of herbicide resistance during the test period.

Diskussion

Eine breite Palette von Herbiziden ist von Resistenz bei Acker-Fuchsschwanz betroffen. Im Bereich der im Getreidebau eingesetzten Herbizide betrifft es am stärksten die Gruppe der ACCase-Inhibitoren (HRAC: A). Präparate wie Ralon Super® (Fenoxaprop-P) und Topik® (Clodinafop) haben inzwischen aufgrund von resistenzbedingtem Verlust der Wirkungssicherheit keine Bedeutung mehr für die Acker-Fuchsschwanzbekämpfung. Ein hohes Risiko besteht für Axial 50® (Pinoxaden), da dieses Herbizid für die Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in der Gerste unverzichtbar ist. 17 % der untersuchten Acker-Fuchsschwanz-Proben hatten eine deutliche bis sehr hohe Resistenz (Klasse 3-5) gegenüber Pinoxaden. In diesen Fällen ist der wirtschaftliche Anbau von Wintergerste stark eingeschränkt bis nicht mehr möglich.

Im Anbau von Winterweizen hat sich die Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in Bayern nahezu vollständig auf den Einsatz von ALS-Inhibitoren im Frühjahr verlagert. Die Resistenzhäufigkeit und -intensität liegt bei ALS-Inhibitoren noch nominal unter der bei ACCase-Inhibitoren. Der Einsatzschwerpunkt von ALS-Inhibitoren zeigt allerdings eine zunehmende Selektion zu Biotypen und Populationen mit entsprechenden Resistenzeigenschaften. Der im Maisanbau vorwiegend zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz eingesetzte ALS-Inhibitor Nicosulfuron wurde aufgrund von Verdachtsfällen im Jahr 2016 erstmals in das Prüfset aufgenommen. 12,5 % der in 2016 untersuchten Herkünfte zeigten eine deutliche bis hohe Resistenz (Klasse 3-4) gegenüber Nicosulfuron. Die bei diesen Herkünften ebenfalls durchgeführte molekulargenetische Untersuchung bestätigte in allen Fällen eine ALS-Wirkortresistenz an der Position Trp-574.

Das Untersuchungsprogramm bestätigt ein zunehmendes und verstärktes Auftreten von Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz. Im Verlauf dieses Prozesses sind verschiedene Herbizide für die Bekämpfung ineffektiv geworden (Fenoxaprop-P, Clodinafop) oder werden nur noch als Komponenten mit Nebenwirkung in Behandlungskonzepten verwendet (z.B. Flupyrsulfuron). Die resistenzbedingt verminderte Wirkungssicherheit einzelner Herbizide und der

Verlust von Wirkstoffen aufgrund ausgelaufener Zulassung (z.B. Isoproturon) konzentriert den Einsatz zunehmend auf einzelne, noch ausreichend effektive Präparate. Diese Einsatzkonzentration erhöht in der Anbaupraxis allerdings den Selektionsdruck und führt zu einer weiter zunehmenden Resistenzproblematik. Die bekannten Prinzipien eines vorbeugenden Resistenzmanagements (GEHRING et al., 2012; GEHRING, 2017; ZWERGER et al., 2017) werden in der landwirtschaftlichen Praxis offensichtlich noch nicht ausreichend umgesetzt. Der Verlust der Einsatzfähigkeit einzelner Herbizide und der Wirtschaftlichkeit einzelner Kulturen, sowie zunehmend auftretende Bekämpfungsprobleme im Getreide- und Maisanbau scheinen noch keinen ausreichenden Druck für die Anpassung von Produktionssystemen in der breiten Praxis auszuüben.

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.

Literatur

- 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., 2017: Problem Ackerfuchsschwanz – Bekämpfung und Resistenzmanagement. *Der Pflanzenarzt* **9-10/2017**, 4-8.
- 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.
- GEHRING, K., T. FESTNER und S. THYSSEN, 2016: Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 412-417.
- IDENTXX, 2014: Molekulargenetische Untersuchung zur Wirkortresistenz bei Acker-Fuchsschwanz. Unveröffentlicht.
- IDENTXX, 2015: Molekulargenetische Untersuchung zur Wirkortresistenz bei Acker-Fuchsschwanz. Unveröffentlicht.
- IDENTXX, 2016: Molekulargenetische Untersuchung zur Wirkortresistenz bei Acker-Fuchsschwanz. Unveröffentlicht.
- UNISTAT LIMITED, 2015: User's Guide, Version 6.5. London, UK, 1244 p.
- ZWERGER, P., B. AUGUSTIN, J. BECKER, CH. DIETRICH, R. FORSTER, K. GEHRING, R. GERHARDS, B. GEROWITT, M. HUTTENLOCHER, D. KERLEN, G. KLINGENHAGEN, M. LANDSCHREIBER, E. MEINLSCHMIDT, H. NORDMEYER, J. PETERSEN, H. RAFFEL, A. SCHÖNHAMMER, L. ULBER, D. M. WOLBER, 2017: Integriertes Unkrautmanagement zur Vermeidung von Herbizidresistenz. *Journal für Kulturpflanzen* **69(4)**, 146–149.

Entwicklung nachhaltig wirkender Methoden zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.)

Development of effective non-chemical methods for controlling black-grass (Alopecurus myosuroides Huds.)

Ulrich Henne¹, Manja Landschreiber^{2*}, Constanze Schleich-Saidfar²

¹Landwirtschaftliche Unternehmensberatung Eckhorst, Arfrader Weg 4, 23617 Stockelsdorf

²Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Grüner Kamp 15-17, 24768 Rendsburg

*Korrespondierende Autorin, mlandschreiber@lksh.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.018



Zusammenfassung

In einem 7-jährigen Großflächenversuch wurde an zwei Standorten (Marsch bzw. Parabraunerde) im Rahmen einer Fruchtfolge mit Winter-Raps, 3 x Winterweizen und in den letzten Jahren Sommergetreide untersucht, mit welchen Bodenbearbeitungsverfahren (Pflug, Grubber, flache Mulchsaat) sich der Acker-Fuchsschwanz (AF) am besten niederhalten lässt, welche Effekte eine spätere Saatzeit speziell beim Anbau von Winterweizen auf den AF hat und was durch die Fruchtfolgeglieder „Winterraps“ bzw. „Sommergetreide“ bei der AF-Bekämpfung erreicht werden kann. Chemisch wurde die AF-Bekämpfung im Winterweizen mit mehreren Herbizidvarianten durchgeführt: Bodenherbizide zum VA/NAK-Termin, gefolgt von Atlantis im zeitigen Frühjahr. Auf Teilstücken wurden nur Bodenherbizide nach der Saat appliziert, durch den Verzicht auf Atlantis hier wurde eine voll ausgeprägte Resistenz des Acker-Fuchsschwanzes gegenüber diesem Herbizid simuliert, die de facto auf den Flächen derzeit noch nicht vorhanden war. Man wollte sehen, was passiert, wenn Atlantis u.a. ALS-Hemmer resistenzbedingt nicht mehr eingesetzt werden können. Im Raps und Sommergetreide erfolgte keine Differenzierung, sondern eine einheitliche Herbizidbehandlung, da ACCase-Hemmer zunehmend nicht mehr wirkten und daher wenig Spielraum verblieb.

Der AF wurde in Abhängigkeit von den Acker-Fuchsschwanzauflauf-Wellen im Mittel 10-mal pro Jahr gezählt. In 2012 und 2016 wurden außerdem vor dem AF-Samenausfall im Sommer Bodenproben aus drei Tiefen gezogen und im Gewächshaus der Besatz von keimfähigen AF-Samen im Boden anhand aufgelaufener Pflanzen erfasst.

Die wichtigsten Ergebnisse: Solange Atlantis eingesetzt wurde und wirkte, blieben alle ackerbaulichen Effekte unsichtbar. Ohne Atlantis stieg in den Mulchsaaten im dreijährigen Winterweizenanbau der AF-Besatz stark an. Der Pflug hielt den AF in den Kulturen nieder. Die späte Aussaat von Winterweizen reduzierte den AF-Besatz. Mit Winterraps konnte der AF-Besatz niedergehalten werden, solange die dort applizierten blattaktiven Herbizide (DIMs) wirkten. War das nicht mehr der Fall, war der AF beim Anbau von Winterraps nur mit Bodenherbiziden nicht ausreichend zu kontrollieren. Mit Sommergetreide ließ sich der AF-Besatz niederhalten, wenn die Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung im Herbst erfolgte, im Frühjahr Glyphosat appliziert und danach die Sommergetreidesaat mit möglichst wenig Bodenbewegung eingeschlitzt wurde. Durch einen dreijährigen Sommergetreideanbau konnten so der oberirdische AF-Besatz und auch der Besatz mit AF-Samen im Boden wieder reduziert und die in 2010-12 stark mit AF befallenen Teilflächen weitgehend saniert werden.

Stichwörter: Acker-Fuchsschwanzkontrolle, Bodenbearbeitungsverfahren, Saatzeit, Sommergetreideanbau

Abstract

In a seven-year long-term field experiment at two locations in Northern Germany (marshland and loamy soil, respectively), field trials were carried out within a crop rotation of winter oil seed rape, 3 x winter wheat and spring crops (cereals) during the last years. The aim was to find out which method of soil cultivation (ploughing, chisel plough, reduced tillage with power harrow) achieved the highest efficacy in controlling black-grass under field conditions. Furthermore, different drilling dates of winter wheat, the cultivation of winter oilseed rape and of spring cereals were tested with regard to their level of black-grass control.

In winter wheat, different herbicides were applied with the aim of black-grass control: Pre-emergence herbicides (flufenacet), followed by Atlantis (mesosulfurone) in March/April. On several experimental plots only pre-emergence herbicides were used. The reason: a fully developed resistance of black-grass against Atlantis should be simulated in order to see, what happened, when Atlantis was no longer applicable. Still now this resistance was not fact on the locations. Winter oilseed rape and spring cereal plots were treated with herbicides uniformly because of existing herbicide resistances of black-grass against ACCase-inhibitors. So

there were no more possibilities of differentiation. Black-grass plants/ears in the plots on both locations were counted about 10 times per year dependant on the emergence of black-grass.

In summer 2012 and 2016, soil samples from three different soil depths were taken before black-grass seed dispersal. In a greenhouse, soil samples were put into dishes, stirred in order to stimulate the germination of black-grass seeds by light and kept humid. All emerging black-grass seedlings were counted and then removed. This was repeated until no more black-grass plants emerged.

Results: When the herbicide Atlantis was applied and showed high efficacy, no effect of different tillage systems on black-grass populations was visible. Without Atlantis application, the level of black-grass exploded within three years of winter wheat production in plots where chisel plough or reduced tillage systems were utilised. Ploughing kept the level of black-grass low and late drilling dates of winter wheat reduced the level of black-grass infestation. A low level of black-grass in winter oilseed rape was only observed as long as ACCase inhibiting herbicides (DIMs) achieved a high efficacy. Otherwise, the control of black-grass in winter rape was not sufficient. Three years of spring cereals cultivation reduced the level of black-grass infestation within the crop as well as seed densities in the soil. Important: ploughing and making of the seedbed should be done in autumn. In spring: glyphosate-application before sowing and sowing spring crops with as little soil motion as possible.

Keywords: Black-grass control, soil cultivation, sowing date, spring cereals

Einleitung

In den maritim beeinflussten Regionen und auch bundesweit beeinträchtigt der Acker-Fuchsschwanz (AF) den Wintergetreide- und Winterrapsanbau zunehmend. Die Kontrolle des Acker-Fuchsschwanzes allein durch den Herbizid-Einsatz wird auf Grund zunehmender Resistenzen schwieriger.

Grund dieser Entwicklung: Unter den gegebenen ökonomischen Zwängen wurde eine Wirtschaftsweise begünstigt, die die Verungrasung durch Acker-Fuchsschwanz stark gefördert hat, z.B. durch enge Winterkulturfruchtfolgen bis hin zur Winterweizenmonokultur. Auch die Anbaupraxis mit frühen Aussaatterminen im Herbst und dem Trend zu Dünnsaaten, stark eingekürzten oder genetisch kurzen Sorten und intensiver N-Düngung haben das Vorkommen des Ungras gefördert. Dazu kommt ein zunehmend rechtlich stärker eingeschränktes Herbizidspektrum.

Da chemische Neuentwicklungen wie Herbizide mit einem völlig neuem Wirkmechanismus im Stoffwechsel des Acker-Fuchsschwanzes nach Angaben der Herstellerfirmen auf Jahre nicht zu erwarten sind, wird der Wintergetreide- und Winterrapsanbau auf vielen Flächen mit resistentem Acker-Fuchsschwanzbesatz künftig in Frage gestellt, wenn nicht ackerbaulich umgesteuert wird.

Die stärkere Einbeziehung ackerbaulicher Maßnahmen in die Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz scheitert allerdings nicht nur an ökonomischen Zwängen, sondern auch daran, dass nicht mehr ausreichend Erfahrungen darüber vorliegen, mit welchen ackerbaulichen Maßnahmen der Acker-Fuchsschwanz im Einzelfall am effektivsten zurückgedrängt werden kann unter Berücksichtigung der Biologie dieses Ungrases und auch daran, dass ackerbauliche Maßnahmen weniger zuverlässig wirken als ein gut funktionierendes Herbizid.

Ziel dieses Projektes war es daher, Erkenntnisse darüber zu gewinnen, mit welchen Bodenbearbeitungsverfahren, Fruchtfolgen – spez. Einbau von Sommergetreide – in Kombination mit welchen Pflanzenschutzmaßnahmen der Acker-Fuchsschwanz effektiver bekämpft werden kann. Es handelte sich um großflächige Versuche auf Praxisbetrieben.

Dabei ging es darum, durch ackerbauliche Maßnahmen noch vorhandene Herbizide zu entlasten mit den Zielen:

- Frisch ausgefallenen AF-Samen nicht tiefer in den Boden gelangen zu lassen,
- bevor gesät wird, möglichst viel AF zu bekämpfen und
- alten AF-Samen aus der Samenbank im Boden abzubauen.

Diese Ziele waren nicht immer gleichzeitig zu erreichen, aber ein oder zwei der genannten Ziele sollten durch die verwendeten Varianten möglichst realisiert werden.

Material und Methoden

Das Acker-Fuchsschwanzprojekt wurde auf zwei Standorten in Schleswig-Holstein durchgeführt.

Der Versuchsschlag Galmsbüll lag im nördlichen Nordfriesland (langjährig 800 mm Niederschlag pro Jahr, in den Versuchsjahren teilweise knapp 1.000 mm, alte Marsch, sLU mit 30 % Ton und 4 % Humus). Vor Projektbeginn wurde die Fläche 30 Jahre lang gepflügt.

Der Versuchsschlag Petersdorf lag auf der Insel Fehmarn (langjährig 550 mm Niederschlag pro Jahr, im Versuchszeitraum auch hier teilweise nassere Jahre, Parabraunerde, sL mit > 8-12 % Ton). Vor Projektbeginn wurde auf der Fläche über viele Jahre Mulchsaat betrieben.

Es wurden an den beiden Standorten stationäre Großflächenversuche angelegt mit Bearbeitungsstreifen von 24 m Breite (eine Fahrspur) und 144 m Länge.

Die Versuche liefen über zwei Phasen mit etwas unterschiedlichen Fragestellungen. Von 2009/10-2012/13 wurden im Schwerpunkt unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren in Kombination mit verschiedenen Herbizid-Strategien im Winterweizen geprüft und der Effekt von Winterrips auf den AF-Besatz. Da in den ersten 4 Jahren der Acker-Fuchsschwanz sich durch die durchgeführten Maßnahmen teilweise sehr vermehrte, es aber darum ging, wie die Flächen ackerbaulich saniert werden könnten, musste das Versuchsprogramm geändert werden: 2013/14-2015/16 wurden daher unterschiedliche Saatzeiten bei den Winterungen (auf Fehmarn) getestet und die Frage der Auswirkungen durch den Anbau von Sommergetreide (Galmsbüll und Fehmarn) auf den Acker-Fuchsschwanz vertieft.

Galmsbüll: Zur Ernte 2010, 2011 und 2012 wurden insgesamt sechs unterschiedliche Bearbeitungsstreifen auf der Fläche angelegt: Winterweizen (fünf Streifen) mit unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren und Sommerweizen (ein Streifen), vgl. Abbildung 1. Allerdings winterte in Var. 5 – Mulchsaat flach in 2012 die Winterkultur aus, daher erfolgte 2012 ein Nachschlitzen von Sommerweizen in diesem Streifen (und natürlich danach kein Atlantis-Einsatz in der nachgeschlitzten Sommerung, sondern IPU in Block B und C).

Zur Ernte 2013 wurde auf allen sechs Streifen Winterrips angebaut. Auch in 2013 winterte in der flachen Mulchsaat die Winterung aus und in diesem Streifen wurde erneut Sommerweizen nachgeschlitzt, der allerdings sehr dünn blieb.

	Var. 1) Pflug früh	Var. 2) Pflug spät	Var. 3) Mulchsaat früh (Grubber)	Var. 4) Mulchsaat spät (Grubber)	Var. 5) Mulchsaat flach (nur Kreiselegge)	Var. 6) Sommerung (mit Grubber)
A						
B						
C						

Abb. 1 Die Versuchsanlage in Galmsbüll 2010-12 (die Querstreifen A, B, C geben die Herbizid-Varianten an).

Fig. 1 The experimental plan at Galmsbüll in 2010-12 (A, B, C: Herbicide-variations).

Nach Änderung des Projektkonzeptes in Galmsbüll erfolgte 2014 der Anbau von Sommerhafer, 2015 Anbau von Sommerroggen und Nachschlitzen von Sommergerste, 2016 Anbau von Sommerweizen, alle drei Jahre jeweils auf allen sechs Streifen. Gleichzeitig wurden ab 2014 Bodenbearbeitungsvarianten zusammengelegt, so dass in Galmsbüll die Var. 1 und 2 zu einem Termin gepflügt wurden, die Varianten 3 und 4 entsprechend gegrubbert und die Varianten 5 und 6 als flache Mulchsaat geführt wurden. Die Variante 5 war daher über alle 7 Jahre in Galmsbüll flache Mulchsaat, die Variante 6 ab 2014.

Verfahren Mulchsaat flach, auf Fehmarn als Direktsaat bzw. modifizierte Direktsaat bezeichnet. Es wurde durchgängig nur im obersten Bereich des Bodens nach ein- bis mehrmaliger Stoppelpbearbeitung (möglichst flacher Striegeleinsatz auf Fehmarn) mit der Kreiselegge gearbeitet. Bei Bedarf erfolgte eine Tiefenlockerung mit Agrisem. Vor dem Einschlitzen der Saat wurde Glyphosat (Menge s.o.) appliziert.

Ferner lief 2010-12 in einem Streifen eine Sommerungsvariante mit.

Sommerung – Verfahren in der Sommerungsvariante: in Galmsbüll im 6. Streifen in 2010-12, auf Fehmarn im 12. Streifen, aber nur einmal in 2011 (ansonsten wurde der 12. und auch der 1. Streifen auf Fehmarn ebenso wie die Mulchsaat spät behandelt, lief also als Platzhalter mit). Der Sommerungsstreifen wurde mindestens zwei Wochen unbearbeitet in Stoppeln liegen gelassen, damit Prädatoren einen Teil der AF-Samen beseitigen konnten. Danach erfolgte eine Stoppelpbearbeitung, Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung im Herbst, erneutes Liegenlassen der Fläche unbestellt bis zum Frühjahr und vor der Saat im Frühjahr eine Glyphosat-Applikation. Danach wurde in Galmsbüll die Sommerung mit möglichst wenig Bodenbewegung eingeschlitzt, auf Fehmarn wurden die Sommerungen mit der Kreiselegge bestellt. Dieses Verfahren des Sommerungsanbaus wurde auch in den Jahren 2014-16 gleichermaßen praktiziert.

Es erfolgten einheitliche Saattermine in den Jahren 2010-13: Winterweizen wurde Ende September bis Anfang Oktober gedrillt, der Winterraps Mitte-Ende August und die Sommerung Mitte-Ende März, das galt ebenso in Galmsbüll wie auf Fehmarn. .

In der zweiten Projektphase 2014-16 wurden auf Fehmarn die Varianten „Pflug früh“ und „Pflug spät“ (Streifen 5,6 und 7,8) zu einem einheitlichen Termin gepflügt, in den Streifen 3 und 4 bzw. 9 und 10 wurde zu einem Termin gegrubbert und die Streifen Nr. 1 und 2 bzw. Nr. 11 und 12 wurden als flache Mulchsaat geführt.

Auf Fehmarn wurden ab Herbst 2013 in den jeweils von der Bodenbearbeitung her gleich behandelten Bearbeitungsstreifen für die Saat der Winterungen zwei Saatzeiten eingeführt. Beim Winterweizen Anfang und Ende Oktober, beim Winterraps in der letzten Augustdekade bzw. Anfang September. Während also in 2010-13 auf Fehmarn der Termin der Grundbodenbearbeitung variierte bei gleichen Saatterminen kehrte sich das nun um, jeweils 2 Streifen mit gleicher Grundbodenbearbeitung und unterschiedlichen Saatterminen in den Winterungen (alles in doppelter Ausführung, da 12 Streifen). Die Sommerungen auf Fehmarn in 2015 und 2016 wurden wie in Galmsbüll zu einem Saattermin gesät, 2015 in den Streifen 7-12 (in Var. 1-6 Winterweizen) und 2016 in allen Streifen, 1-12.

Herbizidapplikationen: In allen Jahren von 2010-16, in denen Winterweizen angebaut wurde, wurden generell quer zu den Bearbeitungsstreifen drei Herbizidvarianten (Block A, B, C, jeweils 24 x 48 m) gelegt:

In Block A wurde nur ein Bodenherbizid zum VA/NAK-Termin ausgebracht (mindestens 240 g/ha Flufenacet), auf Fehmarn wurde zusätzlich im Frühjahr IPU (3 l/ha Arelon Top) nachgelegt, aber kein Atlantis. Block A simulierte die Situation, dass im Winterweizen resistenzbedingt künftig kein Atlantis mehr eingesetzt werden könnte.

In Block B und C wurde in Galmsbüll 2010-12 Atlantis im Frühjahr nachgelegt (0,4 kg/ha, bzw. 0,5 kg/ha plus FHS + AHL zu einem Termin).

Auf Fehmarn wurde ab 2011 in Block B und C ebenfalls Atlantis im Frühjahr nachgelegt, jeweils 0,5 kg/ha + FHS + AHL zu zwei, etwa 10-14 Tage auseinanderliegenden Terminen. In 2010 war in Block B noch Axial im Herbst an Stelle von Atlantis ausgebracht worden, das aber resistenzbedingt versagte.

Im Feld wirkte Atlantis noch auf beiden Standorten.

Im Winterraps und in den Sommerungen erfolgten aufgrund der Resistenzsituation (AF resistent gegenüber ACCase-Hemmern) keine Differenzierung der Herbizidmaßnahmen mehr. Die Behandlungen wurden in diesen Kulturen ortsüblich durchgeführt. Im Raps wurde Metazachlor im

VA/NAK ausgebracht und DIMs zum NAF-Termin mit deutlich abnehmender Wirkung sowie Propyzamid im Spätherbst. Im Sommergetreide wurden außer IPU (wenn genügend Bodenfeuchte vorhanden war) wegen der vorhandenen FOP- und DEN-Resistenzen auf beiden Standorten keine weiteren Herbizide ausgebracht.

Alle übrigen Maßnahmen (Düngung und Pflanzenschutz) erfolgten an beiden Standorten ebenfalls ortsüblich und einheitlich auf den Versuchsflächen.

Das Wesentliche des Projektes war: der Acker-Fuchsschwanzbesatz wurde rund um das Jahr mit dem Göttinger Zählrahmen immer wieder gezählt, im Mittel der Jahre 10 mal pro Jahr: Zunächst die Anzahl an AF-Pflanzen, wenn das wegen der Bestockung nicht mehr möglich war, wurde der Ungrasdeckungsgrad in % erfasst und schließlich AF-Ähren/m² vor der Ernte gezählt. Auf Fehmarn wurde an 180 Zählpunkten 4x gezählt, daneben frei in der Fläche, in Galmsbüll generell frei in der Fläche, jeweils 288 Zählungen pro Durchgang.

Die Bonitur des AF-Besatzes erfolgte in allen Jahren auf jedem einzelnen Bearbeitungstreifen und getrennt in den Blöcken A, B, C, auch dann, als in den Jahren 2014-16 einheitlichere Maßnahmen erfolgten da die Nachwirkungen der Maßnahmen aus 2010-13 erfasst werden sollten.

Außerdem wurden Witterungsdaten, die Bestandesdichten der Kulturen, die Herbizidwirkungen, Krankheiten oder Schädlinge, sofern sie auftraten, Frost- und Nässeauswirkungen und weitere Auffälligkeiten festgehalten.

Die Beerntung der Teilflächen wurde im Kerndrusch mit dem Parzellenmähdrescher durchgeführt, pro Bodenbearbeitungsvariante, d. h. pro Streifen, 18 Ernteparzellen. Wenn die Fläche aus innerbetrieblichen Gründen mit dem Häcksler für die Biogasanlage beerntet wurde, konnte mangels Versuchstechnik nur der Ertrag des gesamten Streifens erfasst werden.

Die Verrechnung der Erträge geschah soweit möglich über das PIAF-Programm und mit Hilfe des Statistikprogramms Minitab 18, über das auch weitere Verrechnungen durchgeführt wurden, soweit das von der statistischen Verteilung der Werte her möglich war.

In den Jahren 2012 und 2016 wurde das Potenzial keimfähiger AF-Samen im Boden anhand von Bodenproben von den Flächen erfasst. Die Bodenproben wurden aus 0-5, 5-10 und 10-30 cm Tiefe gezogen und im Gewächshaus in flache Schalen (einheitliche Menge mit 2750 ml/pro Schale) eingebracht, eine ca. 2-3 cm dicke Schicht, darunter eine 2 cm dicke Torfschicht und eine Unkrautfolie, um die Feuchte von unten sicher zu stellen und Unkrautwuchs aus dem Torf zu verhindern, regelmäßiges Gießen der Schalen von oben. Alle vier Wochen wurden die bis dahin aufgelaufenen AF-Pflanzen (und Unkräuter) gezählt, entfernt und der Boden umgerührt, um die zur weiteren AF-Keimung nötigen Lichteffekte zu verursachen. Das wurde fortgesetzt, bis kein neuer AF mehr keimte (1 Jahr lang).

Der Resistenzstatus des AF an beiden Standorten wurde anhand von AF-Samen-Proben aus den Flächen durch die Firma Bayer CropScience im Gewächshaustest festgestellt, in Galmsbüll jedes Versuchsjahr, auf Fehmarn 2010-13. Auf beiden Flächen gab es Resistenzen des Acker-Fuchsschwanzes gegen ACCase-Hemmer, in den letzten Jahren wurden zunehmend Minderwirkungen gegenüber Atlantis im Gewächshaustest festgestellt, die aber im Feld noch nicht sichtbar wurden.

Ergebnisse

Auf den Teilstücken, auf denen Atlantis noch mit voller Feldwirkung eingesetzt wurde, wurden die ackerbaulichen Effekte auf den Acker-Fuchsschwanzbesatz als Folge der unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren weitgehend überdeckt. Ohne Atlantis wurden sie sichtbar, also besonders im Block A an beiden Standorten. Man konnte hier erkennen, was passiert, wenn Atlantis aus Resistenzgründen nicht mehr wirkt. In Tabelle 1 werden die AF-Zählergebnisse aus Galmsbüll vor der Ernte über alle Versuchsjahre aufgezeigt (Block A und in Klammern eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus Block B/C). Auf Fehmarn waren die Ergebnisse – auf einem

weniger hohen AF-Besatz-Niveau – vergleichbar, aus Platzgründen wird daher hier auf eine Darstellung verzichtet.

Tab. 1 Ergebnisse der AF-Zählungen (AF-Ähren pro m²) vor der Ernte in Galmsbüll in den Jahren 2010-16.

Tab. 1 Results of black-grass counts (heads per m²) before harvest in Galmsbüll in 2010-16.

2010-12 WW	Var. 1 Pflug früh	Var. 2 Pflug spät	Var. 3 Mulchsaat früh (Grubber)	Var. 4 Mulchsaat spät (Grubber)	Var. 5 Mulchsaat flach	Var. 6 Sommerung SW
2013 Wi-Raps	Pflug			Mulchsaat (Grubber)	Mulchsaat flach	Mulchsaat (Grubber)
2014-16 Sommerung (Hater – So- Roggen/SG- SW)	Pflug			Mulchsaat (Grubber)	Mulchsaat flach	
AF-Ähren am 06.07.10	15,0 (0,1)	100,3 (0,1)	38,3 (1,25)	143,5 (2,0)	29,0 (1,1)	Mittel 16,3
AF-Ähren am 02.07.11	57,5 (40,9)	345,0 (10,9)	577,5 (45,3)	1137,5 (36,9)	321,9 (14,7)	Mittel 135,8
AF-Ähren am 22.06.12	392,5 (2,2)	899,4 (2,2)	1401,3 (53,1)	1402,5 (54,4)	1110,6 (241,3)	Mittel 238,8
AF-Ähren am 19.07.13	87,5 (123,1)	477,5 (58,8)	367,5 (56,6)	606,3 (140,0)	1204,4 (644,1)	Mittel 124,0
AF-Ähren am 14.06.14	43,8 (7,8)	57,5 (4,4)	95,0 (25,9)	191,3 (84,4)	344,4 (234,4)	Mittel 59,8
AF-Ähren am 16.07.15	53,8 (23,8)	75,6 (25,3)	68,8 (43,8)	71,9 (31,6)	46,9 (65,3)	Mittel 32,5
AF-Ähren am 18.07.16	153,1 (100,3)	219,4 (113,4)	133,8 (90,9)	122,5 (105,9)	97,5 (126,6)	Mittel 98,8

Erläuterungen zu Tabelle 1:

- Werte für Var. 1-5 aus Block A (2010-12 nur Bodenherbizideinsatz),
- Werte für Var. 6 aus dem ganzen Bearbeitungsstreifen, da einheitliche Herbizid-Behandlung
- Werte in Klammern: Var. 1-5 Mittelwerte aus Block B/C (2010-12 Atlantis-Nachlage nach bodenherbizid)
- In 2012 und 2013 in Var. 5 (flache Mulchsaat) infolge von Auswinterung Nachsaat von SW, der aber sehr dünn blieb und wenig konkurrenzkräftig war.

Mit dem Pflugeinsatz konnte der Acker-Fuchsschwanz (AF) 2010-13 reduziert werden. In Galmsbüll war dabei die Variante „Pflug früh“ die wirksamere, auf Fehmarn waren, nach vielen Jahren mit Mulchsaat, beide Pflugvarianten effektiv. Sie blieben es auch in den Folgejahren. Im Jahr 2016 in Galmsbüll wurden allerdings AF-Nester aus den Vorjahren wieder hochgepflügt.

Mulchsaaten (tiefere Grubbersaaten und flache Mulchsaaten) ließen den AF-Besatz an beiden Standorten im Block A im Winterweizen generell deutlich ansteigen.

Die Nachwirkungen nicht ausreichender AF-Bekämpfung waren mehrere Jahre erkennbar, denn wenn viel Acker-Fuchsschwanz in den Kulturen stand, wurde auch viel Samen in den Boden eingetragen. Es bildete sich also in Block A besonders in den Mulchsaaten im Boden ein Samen-Puffer (Abb. 5), das „Gedächtnis“ des Bodens.

In der Marsch funktionierte die flache Mulchsaat nässebedingt nicht, den Kulturen ging „die Luft aus“. Die vom Institut für Agrartechnologie der TI Braunschweig durchgeführten Untersuchungen an im Februar 2013 gezogenen Stechzylinderproben bestätigten das geringe Volumen luftführender Poren in der flachen Mulchsaat (Var. 5). Das erklärt die Auswinterungen in der Variante 5 in Galmsbüll in den Jahren 2012 und 2013.

In der flachen Mulchsaatvariante auf Fehmarn wurde flaches Striegeln eingeführt. Im Rahmen der Stoppelbearbeitung erwies sich in einem Versuch auf Fehmarn (trockener Herbst) ein flacher Striegel-Einsatz (1-2 cm tief) als geeigneter zur Förderung des Auflaufens von Acker-Fuchsschwanz (und nachfolgender Beseitigung) als die Kurzscheibenegge, die AF-Samen vergräbt (Abb. 3).

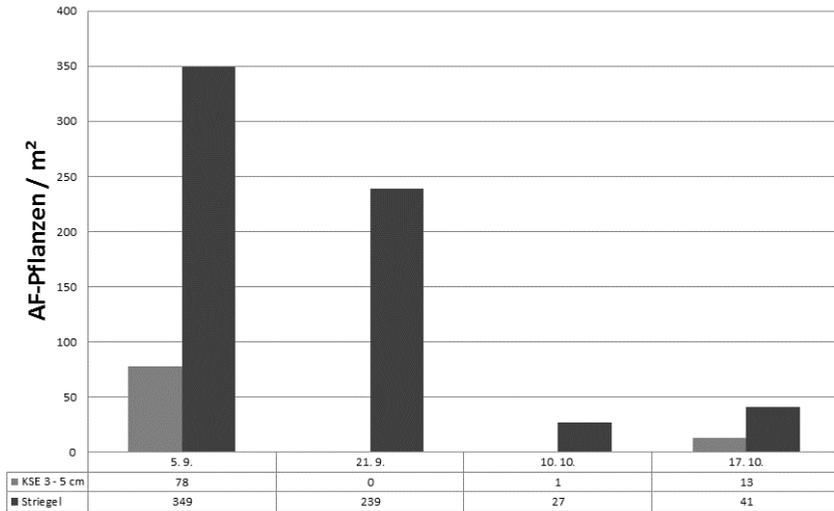
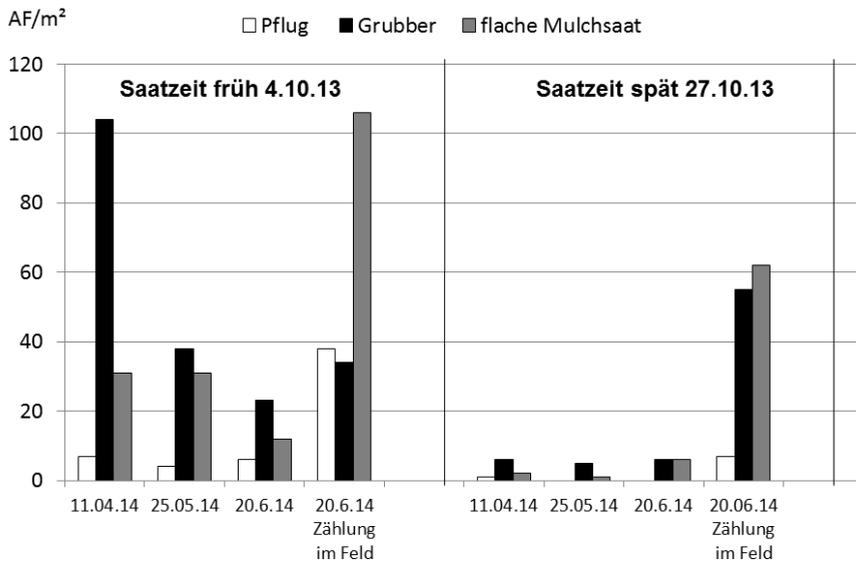


Abb. 3 Stoppelbearbeitung Fehmarn 2012, Vergleich von Kurzscheibenegge (KSE) und Striegel (U. Henne, 2013).

Fig. 3 Stubble treatment, Fehmarn 2012, comparison of disk and harrow (U. Henne, 2013).

Die Spätsaaten auf Fehmarn reduzierten in 2013/14 den AF-Besatz (Abb. 4). In 2014/15 war aufgrund der feuchten Herbstwitterung zu beiden Saatterminen die Bodenherbizidwirkung so gut, dass keine Saattermineffekte festgestellt werden konnten. Ebenso überdeckte die Behandlung mit Atlantis in Block B und C alle Effekte der weiteren getesteten Versuchsvarianten.



11.4.14: AF-Pflanzen/m², danach AF-Ähren/m²

Abb. 4 Verschiedene Saattermine im Herbst 2013, AF im Winterweizen, Fehmarn, Frühjahr 2014, Block A.

Fig. 4 Different sowing dates in autumn 2013, black-grass in winter wheat, Fehmarn, spring 2014, Block A.

Nach Winterraps blieb der AF-Besatz gering solange die blattaktiven Herbizide wirkten und nicht zu viel Acker-Fuchsschwanz in der Samenbank des Bodens vorhanden war. Ansonsten war es schwer, vom NAK-Termin bis zum Termin der Kerb-Applikation den Acker-Fuchsschwanz zu kontrollieren. Das zeigte sich 2013 in Galmsbüll sehr deutlich (Tab. 1).

Durch den Anbau von Sommergetreide wurde der AF-Besatz in den Sommerkulturen gedrückt, wobei die Konkurrenzkraft besonders von der Entwicklungsgeschwindigkeit und der Bestandesdichte der Kultur bestimmt wurde (Tab. 1). Durch mehrjährigen Sommergetreideanbau konnte der Acker-Fuchsschwanz in der Samenbank wieder reduziert werden (Abb. 5).

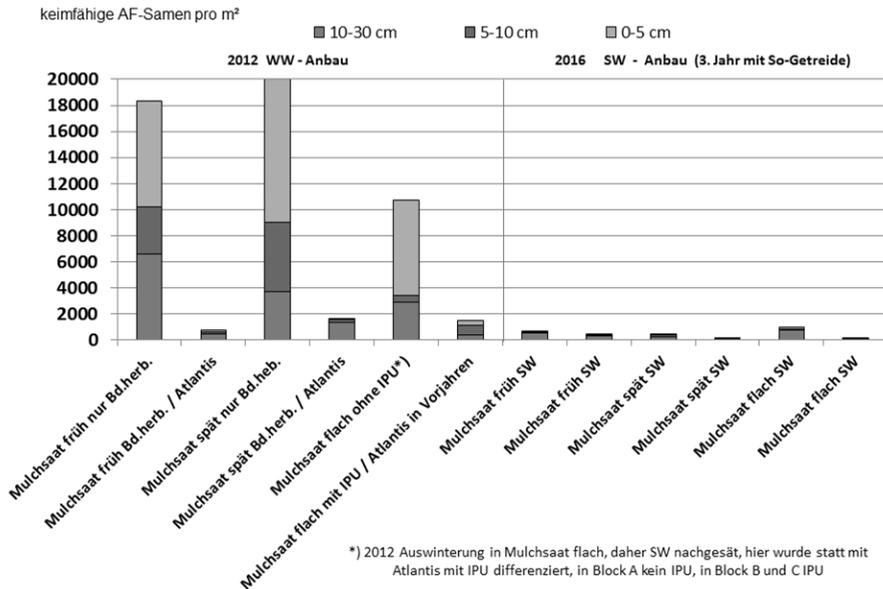


Abb. 5 Ergebnis der Testung auf keimfähige AF-Samen im Boden, Galmsbüll 2012 und 2016 – Mulchsaaten.

Fig. 5 Results of tests to evaluate the amount of black-grass seeds alive in the soil, Galmsbüll 2012 and 2016 – reduced tillage.

Diskussion

Die Ergebnisse aus Galmsbüll und Fehmarn decken sich mit denen anderer Autoren (MOSS, 1979; KNAB und HURLE, 1988; CHAUVEL et al., 2009; LUTMAN und MOSS, 2009; MOSS et al., 2013; COOK et al., 2014).

Einige Anmerkungen zu den getesteten Verfahren:

Die Variante „Pflug früh“ bekämpfte den Acker-Fuchsschwanz besser als das klassische Pflügen kurz vor dem Saattermin. Das lag vor allem daran, dass im fertigen Saatbett (Scheinbestellung) der Acker-Fuchsschwanz aus der sekundären Keimruhe sofort keimen und auflaufen konnte (MENCK, 1968), umso stärker, je mehr Zeit er dazu hatte, je später also letztlich gesät wurde. Dieser Acker-Fuchsschwanz konnte vor der Saat der Kultur mit Glyphosat beseitigt werden, sodass in der Kultur selbst der Selektionsdruck auf die dort eingesetzten Herbizide geringer war. Generell ist bei allen Verfahren mit Scheinbestellung ein Einschlitzen der Saat mit möglichst minimaler Bodenbewegung wichtig. Ein Nachteil beim Pflügen ist generell, dass viel aus der Vorkultur stammender Acker-Fuchsschwanz im Boden begraben wird und in den Folgejahren wieder in obere Bodenschichten gelangt. Zudem gibt es beim Verfahren „Pflug früh“ ein höheres Wetterrisiko als beim klassischen Pflugverfahren kurz vor dem Saattermin, da der offen liegende

Boden nach der Scheinbestellung bei heftigen Niederschlägen leichter verschlämmt oder bei Dürre stärker austrocknet. Und eine gründliche Stroheinmischung ist nur bedingt möglich bei dem Verfahren. In der Praxis hat sich das Verfahren „Pflug früh“ in der Marsch aber bewährt.

Die klassische Pflugvariante („Pflug spät“) erlaubt eine mehrfache, erst ganz flache und dann vertiefende Stoppelbearbeitung und Stroheinarbeitung vor dem Pflugeinsatz. Hat der Acker-Fuchsschwanz allerdings eine lange primäre Keimruhe, hilft das nicht, da das Ungras nicht keimt (COOK et al., 2006). Dann müsste eigentlich bis Ende der primären Keimruhe abgewartet und beim Winterweizenanbau eine sehr späte Pflugsaat eingeplant werden, die aber mit einem sehr hohen Wetterisiko verbunden sein kann. Oder es wird früher gepflügt und wieder mehr AF-Samen aus der Vorfrucht vergraben.

Grubber-Mulchsaaten auf AF-Standorten sind auf Dauer nur dann sinnvoll, wenn sie mit sehr späten Winterweizen-Saatterminen oder mit Sommergetreideanbau kombiniert werden.

In der flachen Mulchsaat laufen im Herbst vor der Bestellung und in der Kultur besonders viele AF-Pflanzen auf, da die Masse der AF-Samen in den obersten cm des Bodens liegen bleibt und unter günstigen Bedingungen der Acker-Fuchsschwanz als Lichtkeimer daher jederzeit keimen und auflaufen kann. Das ist der Grund, warum an beiden Standorten die flache Mulchsaat zur AF-Regulation nicht optimal war. In Sommerungen war bei flacher Mulchsaat der Selektionsdruck auf das vorab eingesetzte Glyphosat extrem hoch. Dazu kam auf Fehmarn, dass das Stroh aus der Vorfrucht hier die Nachfrucht stärker belastete.

In die tiefere Samenbank wird in der flachen Mulchsaat allerdings kein neuer Acker-Fuchsschwanz eingetragen. Tiefer als 5-10 cm in der Samenbank liegende AF-Samen werden im Laufe der Jahre im Boden inaktiviert (COOK et al., 2014), auf schweren nassen Standorten dauert das allerdings lange. So fand sich in der Marsch nach 7 Jahren in der flachen Mulchsaat noch ein Restbestand keimfähiger Samen im Boden aus 10-30 cm Tiefe.

Die Spätsaat von Winterweizen hat viele Vorteile, allerdings sollte sie frühestens Ende Oktober mit einer Schlitzsaat erfolgen. Dann ist genug Zeit zur AF-Bekämpfung vor der Saat und biologisch bedingt erfolgt weniger AF-Auflauf nach der Saat (MENCK, 1968). Zudem erfolgt auch weniger Pilz-, Schädlings-, Virus- und Lagerdruck im Folgejahr. Allerdings ist das Wetterisiko bei diesem Verfahren hoch und gut funktionierende Verfahren der Schlitzsaat in feuchten Boden sind noch nicht ausgereift. Das Einrichten fester Fahrspuren und leichte, breite Sämaschinen wären teilweise eine Option. Die Praxis geht ungern das Risiko von Spätsaaten ein, zumal bei frühem Wintereinbruch auch das Auswinterungsrisiko steigt oder zumindest die Winterweizenerträge sinken können. Mit steigendem AF-Druck im Winterweizen, der erheblich Ertrag kosten kann, werden aber spätere Saaten ökonomisch interessanter und auch Sommerungen, da hier zusätzlich der Aufwand geringer als im Winterweizen ist. Wer sich fest auf Spätsaaten einstellt, sollte bei der Sortenwahl auf winterfeste Sorten setzen und ggf. einen Teil seines Saatweizens als Wechselweizen einkaufen. Hier fehlen derzeit aber noch potente Sorten.

Mehrfähriger Sommergetreideanbau ist eine echte Option zur Sanierung von mit Acker-Fuchsschwanz befallenen Flächen, wenn einige Grundvoraussetzungen erfüllt werden: Die Fläche sollte nach der Ernte mindestens 14 Tage liegen bleiben, um Prädatoren ihre Arbeit zu ermöglichen (NIEMANN, 2002). Die Zeit im Herbst muss danach intensiv zur AF-Bekämpfung genutzt werden. Da der Acker-Fuchsschwanz überwiegend im Herbst aufläuft (MENCK, 1968; WALLGREN et al., 1978; BOND et al., 2007) sind gute Effekte erreichbar. Die Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung sind im Herbst durchzuführen, danach auflaufender Acker-Fuchsschwanz wird im Frühjahr durch Glyphosat beseitigt. Die Saat im Frühjahr muss mit minimaler Bodenbewegung eingeschleift werden und die Saatmengen sollten keinesfalls knapp bemessen sein. Denn auf Resistenzstandorten stehen kaum mehr Herbizide gegen den AF im Sommergetreide zur Verfügung, daher muss die Konkurrenzkraft des ausreichend dichten Bestandes den Bekämpfungseffekt bringen. Daher ist das Verfahren auf Standorten mit Vorsommertrockenheit

nicht möglich. Das Manko des Systems ist, dass Glyphosat fast unverzichtbar ist, vor allem, wenn witterungsbedingt mechanische AF-Bekämpfungsmaßnahmen versagen.

Das ist auch der Punkt, an dem weitere AF-Projekte ansetzen müssen: Wie bekommt man die AF-Kontrolle ackerbaulich ganz ohne Glyphosat hin? Auf schweren Standorten mit viel Nässe, auf denen die Resistenzen des Acker-Fuchsschwanzes bereits deutlich fortgeschritten sind, wird man ggf. ohne das Totalherbizid den Ackerbau einstellen müssen.

Generell ist festzuhalten, dass ackerbauliche Maßnahmen zur AF-Bekämpfung - nicht zuletzt aufgrund stärkerer Witterungseinflüsse - nie so sicher in ihrer Wirkung vorauszusagen sind wie das bei einem gut funktionierenden Herbizid der Fall ist. Dennoch müssen sie stärker in der Praxis praktiziert werden, um die noch vorhandenen Herbizide zu schonen, auch dort, wo sich die Resistenzen noch in Grenzen halten. Es ist falsch, erst dann stärker auf den Ackerbau zu setzen, wenn Resistenzen bereits massiv vorhanden sind. Dabei ist sehr stark situativ vorzugehen, Patentrezepte gibt es nicht.

Ist erst einmal ein höherer AF-Besatz auf einer Fläche vorhanden, der Resistenz-bedingt chemisch nicht mehr ausreichend zu bekämpfen ist, muss man generell Abstriche vom gewohnten monetären Ertrag machen. Dann geht es vor allem darum, weiterhin überhaupt noch Ackerbau auf einer mit Acker-Fuchsschwanz verseuchten Fläche betreiben zu können.

Literatur

- BOND, W., G. DAVIES und R. TURNER, 2007: The biology and non-chemical control of black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.), 12 S., <http://www.gardenorganic.org.uk/organicweeds>.
- CHAUVEL, B., J.-P. GUILLEMIN und N. COLBACH, 2009: Evolution of a herbicide-resistant population of *Alopecurus myosuroides* Huds. in a long-term cropping system experiment. *Crop Protection* **28** (4), 343-349.
- COOK, S.K., A.J. SWAIN, J. CLARKE, S. MOSS, Z. HUGHES, J. ORSON, L. POWELL, A. CREASEY, K. NORMAN and J. ALFORD, 2006: Improving crop profitability by using minimum cultivation and exploiting grass weed ecology. HGCA Project Report No. **381**, 2006, 90 S.
- COOK, S., J. CLARKE, S.R. MOSS, C. BUTLER ELLIS, R. STOBART und K. DAVIES, 2014: HGCA, Managing weeds in arable rotations, 24 S., HGCA Publication T 0845 245 0009, 2010, updated 2014, download under: www.hgca.com.
- KNAB, W. und K. HURLE, 1988: Einfluss der Grundbodenbearbeitung auf Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XI*, 97-108.
- LUTMAN, P. und S.R. MOSS, 2009: The management of weeds in winter cereals: the role of crop agronomy. *Research review for Syngenta*, 2009, 56 pp.
- MENCK, B.-H., 1968: Biologie des Ackerfuchsschwanzes (*Alopecurus myosuroides* Huds.) und seine Verbreitung in Schleswig-Holstein, Inaugural-Dissertation am Inst. für Phytopath., Christian-Albrechts-Universität Kiel, 1968, 250 S.
- MOSS, S.R., 1979: The influence of tillage and method of straw disposal on the survival and growth of black grass, *Alopecurus myosuroides*, and its control by chlortoluron and isoproturon. *Annual of Appl. Biology* **91**, 91-100.
- MOSS, S.R., P. LUTMAN, 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.
- NIEMANN, P., 2002: Eliminierung von Ausfallweizen durch Formen der Stoppelbearbeitung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*, 625-632.
- WALLGREN, B. und K. AVHOLM, 1978: Dormancy and germination of *Apera spica-venti* L. and *Alopecurus myosuroides* Huds. *Swedish Journal of Agricultural Research* **8**, 11-15.

Resistenzsituation bei Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Niedersachsen und Maßnahmen zur langfristigen Resistenzvermeidung

Resistance situation in Alopecurus myosuroides in Lower Saxony and activities to prevent resistance

Goßwirth Warnecke-Busch^{1*}, Dirk Michael Wolber¹, Lisa Köhler¹, Matthias Breiding²



¹Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Wunstorfer Landstraße 9, 30453 Hannover

²Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Wunstorfer Landstraße 11, 30453 Hannover

*Korrespondierende Autorin, warnecke-busch@lwk-niedersachsen.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.019

Zusammenfassung

Herbizidresistenzen lassen ganze Wirkstoffgruppen weltweit wegfallen. In Deutschland zeigt sich dieses Phänomen bei *Alopecurus myosuroides* auch auf vielen niedersächsischen Flächen. Beginnend in den Fluss- und Küstenmarschen Niedersachsens, die seit Jahren intensiv in engen Getreidefruchtfolgen bewirtschaftet werden, breiteten sich die Herbizidresistenzen in den vergangenen 10 Jahren auch auf die Löss- und tonhaltigen Standorte in der Mitte und im südniedersächsischen Hügelland aus. Neben den Wirkstoffgruppen der ACCase-Hemmer und Photosynthesehemmer sind zunehmend die ALS-Hemmer resistenzgefährdet. Diese Entwicklung wurde besonders aufgebaut durch einseitigen Herbizideinsatz, enge Getreidefruchtfolgen (Winterweizen-Winterweizen – Raps) und zunehmenden Pflugverzicht. *Alopecurus myosuroides* zeigt auf vielen Standorten bereits multiple Resistenzen gegen mehrere Wirkstoffgruppen. Samenproben von Monitoringflächen wurden in den Jahren 2007 – 2016 in 541 Biotestungen im Gewächshaus mit jeweils unterschiedlichen Wirkstoffen aus den verschiedenen HRAC-Gruppen (vgl. Tab. 1) getestet. In 40 % (214 Proben) der untersuchten 541 *Alopecurus myosuroides* – Herkünfte wurden in den vergangenen 10 Jahren eine ALS-Resistenz gegenüber Atlantis WG nachgewiesen. Diese 214 gegenüber Atlantis WG resistenten Proben zeigten teilweise auch Resistenzen gegenüber anderen Wirkstoffen der HRAC-Gruppe B, aber auch gegenüber Wirkstoffen aus der HRAC-Gruppe A und C.

Stichwörter: Ackerfuchsschwanz, *Alopecurus myosuroides*, Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung

Abstract

Worldwide entire groups of active substances are getting ineffective due to herbicide resistance. This phenomenon presents itself in *Alopecurus myosuroides* plants on numerous fields in Lower Saxony, Germany. Having first emerged in the river and coastal marshes of Lower Saxony, which have been intensely cultivated in narrow crop rotations for years, the herbicide resistances have spread to the fields in the Middle and the South of Lower Saxony in the past 10 years. Besides the ACCase inhibitors and photosynthesis inhibitors, the ALS inhibitors are also at increasing risk of becoming resistant. This development is based on the one-sided use of herbicides, the narrow crop rotations (winter wheat- winter wheat – oilseed rape) and the reduced use of ploughing. *Alopecurus myosuroides* already shows multiple resistance on many fields to several active substance groups on numerous fields. Seed samples from monitoring areas were tested in 541 bioassays in greenhouses from 2007 until 2016, in which different active substances from different HRAC groups were applied (see Tab. 1). Over the past 10 years, an ALS resistance against Atlantis WG has been detected in 40% (214 samples) of the examined 541 *Alopecurus myosuroides* provenances. Some of these 214 samples, showing a resistance against Atlantis WG, also showed a resistance to other active substances from the HRAC group B, but also to active substances from the HRAC groups A and C.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, black grass, grass weed control, herbicide resistance management

Einleitung

Das Auftreten von herbizidresistenten Unkräutern ist die Folge eines Selektionsprozesses durch den häufigen Einsatz von Herbiziden mit demselben Wirkmechanismus bzw. dem gleichen Wirkstoff. Dabei werden Biotypen mit einer natürlichen Widerstandsfähigkeit in ihrer Entwicklung begünstigt. Der Anteil resistenter Biotypen in der Population nimmt stetig zu und es entstehen zunehmend Bekämpfungsprobleme.

Ackerbauliche Strukturen mit ihren teils sehr einseitigen Fruchtfolgen (z.B. Winterweizen - Winterweizen - Wintertraps) fördern das Auftreten von Gräsern wie *Alopecurus myosuroides*. Die Weizensorten sind zudem infolge ihres Längenwachstums nicht konkurrenzfähig gegenüber diesem Ungras. Auch hohe Bestandesdichten werden angesichts erhöhter Lageranfälligkeit nicht angestrebt, obgleich auf diese Weise das Unkraut eher verdrängt wird. In diesen Fruchtfolgen sind mehrfache Herbizidbehandlungen mittlerweile Standard. *Alopecurus myosuroides* zeigt das gleiche Auflaufverhalten wie Wintergetreide (BALGHEIM, 2006). Er keimt oft schneller als das Wintergetreide, was ihm einen deutlichen Vorsprung zur Kulturpflanze verschafft. Besonders in den Fluss- und Küstenmarschen Niedersachsens wird auf den schweren tonhaltigen Böden die Aussaat des Wintergetreides oft in den September gelegt, da in einem regenreichen Herbst die Befahrbarkeit dieser Flächen zu einem späteren Zeitpunkt möglicherweise nicht mehr gegeben ist. Darüber hinaus ist die Aussaatstärke beim Wintergetreide an den Aussaattermin gebunden. In den daraus resultierenden dünneren Beständen des früh ausgesäten Wintergetreides entwickelt sich das einher auflaufende Ungras nahezu ohne nennenswerte Konkurrenz. Der Einfluss der Bodenbearbeitungsform (wendend/nicht wendend) hängt von dem Unkrautbesatz in der Vorfrucht und der Witterung im Bearbeitungszeitraum ab. Nicht wendende Bodenbearbeitung begünstigt den Auflauf von *Alopecurus myosuroides*-Samen. Über die Jahre reichern sich so viele Ungrassamen in der oberen Bodenschicht an und es muss mit einer Zunahme der Ungrasdichte gerechnet werden. Die wendende Bodenbearbeitung verschüttet die Ungrassamen in einen tieferen Horizont. Diese Samen kommen in der Folgekultur nicht mehr zur Auskeimung (ZWERGER, 2002).

Das Pflanzenschutzamt der Landwirtschaftskammer Niedersachsen hat in den vergangenen zehn Jahren Monitoringproben, die aus allen Teilen Niedersachsens stammen, im Biotest untersucht, um die Verbreitung von Resistenzen bei *Alopecurus myosuroides* gegen die verschiedenen Wirkstoffgruppen zu untersuchen.

Material und Methoden

Zum Nachweis einer vorliegenden Herbizidresistenz wurde ein Biotest im Gewächshaus an intakten Pflanzen, unter definierten Temperatur und Lichtbedingungen durchgeführt. In den Jahren 2007 bis 2016 konnten in Niedersachsen 541 solcher Biotestungen an Samenproben von *Alopecurus myosuroides* durchgeführt werden.

Die ausgedroschenen Samenproben wurden trocken in Papiertüten aufbewahrt, bis sie vor der Aussaat zur Brechung der Dormanz 5 Tage bei - 18 °C in der Tiefkühltruhe gelagert wurden. Im Anschluss daran erfolgte unmittelbar die Aussaat der Samenproben in Biotesttöpfe (Jiffy-Rundtöpfe 8 x 8 cm geschlitzt) in 4 Wiederholungen je Versuchsvariante. Die Töpfe (Jiffy-Pots) standen in Pflanzschalen (40 x 60 cm), auf deren Boden eine Plastikfolie sowie darauf ein Bewässerungsfliß passgenau ausgelegt wurden. Bei der Aussaaterde handelte es sich um PSA-Standardboden (lehmgiger Sand pH 6,5, Humusgehalt 1,8 %, ca. 300 g incl. Topf, sterilisiert ca. 60 % WK max.). Das zu testende Samenmaterial wurde zu ca. 20 Samen portioniert, in die mit Erde gefüllten Töpfe gestreut und jeweils mit einer ca. 1 cm dicken Schicht fein gesiebter Erde des PSA-Standardbodens bedeckt. Für das weitere Wachstum im Gewächshaus wurden die folgenden Parameter eingestellt: Tagphase: 20 °C, 16 h Beleuchtung mit 8000 LUX (180 Watt/m²), Nachtphase: 16 °C, 8 h Dunkelheit. Die Bewässerung erfolgte durch bedarfsgerechtes Gießen von unten (Anstau). Eine Ausnahme bildeten die Varianten mit Bodenherbiziden. Hier wurde in den ersten 10 Tagen nach der Applikation von oben gegossen. Der Feuchtigkeitszustand der Töpfe wurde täglich kontrolliert.

Die Applikation erfolgte in einer Schachtner Applikationskabine (Wasseraufwandmenge 200 l/ha; Düse ES 90-02; 1,89 bar; Spritzhöhe 40 cm) für die Bodenherbizide im BBCH 0-7 (je nach Herbizid) und für die Blattherbizide im BBCH 11-12.

21 Tage nach der Herbizidapplikation wurde gemäß EPPO-Richtlinie PP1/93(3) der Wirkungsgrad bonitiert. Für die Bewertung des Wirkungsgrades wurden folgende Grenzwerte zugrunde gelegt:

Wirkungsgrad 0-50 %: resistente Proben, Wirkungsgrad 51-80 %: moderat resistente Proben und Wirkungsgrad 81 – 100 %: sensitive Proben.

Als Referenz wurde ein sensitiver Standard von *Alopecurus myosuroides* der Firma Herbiseed, Berkshire mit getestet.

Im Biotest sollten möglichst verschiedene Wirkungsmechanismen der Herbizide geprüft werden. Daher richtete sich die Auswahl der Herbizide nach ihrem Wirkungsmechanismus nach HRAC. Behandelt wurde dann mit handelsüblichen Gräserherbiziden in einfacher und doppelter Aufwandmenge (Tab. 1).

Die getesteten Herbizide wurden über die vergangenen zehn Jahre an die Rahmenbedingungen und die sich entwickelnden Resistenzen angepasst. Der in den Jahren 2007 bis 2009 untersuchte Wirkstoff Isoproturon (Arelon Top) wurde schrittweise durch den Wirkstoff Flufenacet (Cadou SC) ersetzt. Zunehmende Resistenzen gegenüber Iodosulfuron (Lexus) und Fenoxaprop (Ralon Super) führten zum Ausschluss auch dieser Produkte zugunsten von Nicosulfuron (Motivell forte/Kelvin) und Clethodim (Select 240 SC). Zusätzlich wurde 2010 der Wirkstoff Propyzamid (Kerb FLO) mit aufgenommen, da in der Praxis auf behandelten Flächen vermeintliche Minderwirkungen beobachtet wurden. Als letztes, wirksameres Sulfonylherbizid wurde in den vergangenen 3 Jahren auch Thiencarbazone (Mais Ter; MaisTer Power) verwendet. Seit 2015 werden auch glyphosathaltige Herbizide geprüft. In Tabelle 1 ist eine Übersicht aller im Biotest getesteten Herbizide aufgeführt.

Tab. 1 Im Resistenztest verwendete Herbizide.

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

Herbizid	Wirkstoff	Wirkstoffgruppe	Aufwandmenge voll l/g/ha	Aufwandmenge doppelt l/g/ha	Applikation BBCH
Cadou SC 2008-dato	Flufenacet	K	0,5	1,0	0-0
Arelon Top* bis 2009	Isoproturon	C	1,5	3,0	0-0
Boxer 2009-2011	Prosulfocarb	N	5,0	10,0	0-0
Ralon Super bis 2010	Fenoxaprop-P	A	1,2	2,4	11-12
Focus Ultra + Dash ab 2009	Cycloxydim	A	2,5 + 1,0	5,0+ 2,0	11-12
Select + Parasommer ab 2014	Clethodim	A	0,5+1,0	1,0+2,0	11-12
Motivell 2010-11	Nicosulfuron	B	1,0	2,0	11-12
Kelvin ab 2012-13	Nicosulfuron	B	1,0	1,0	11-12
Motivell Forte ab 2014	Nicosulfuron	B	0,75	1,5	11-12
MaisTer 2014-16	Iodosulfuron + Foramsulfuron	B	1,5	3,0	11-12
MaisTer Power ab 2016	Iodosulfuron + Foramsulfuron + Thiencarbazone	B	1,5	3,0	11-12
Atlantis OD bis 2009	Iodosulfuron + Mesosulfuron	B	1,2	2,4	11-12
Atlantis WG + FHS ab 2010	Iodosulfuron + Mesosulfuron	B	0,5 + 1,0	1,0 + 1,0	11-12
Lexus + FHS bis 2013	Flupyrsulfuron	B	0,02 + 0,25	0,04 + 0,25	11-12
Kerb FLO ab 2010	Propyzamid	K	1,875	3,75	11-12
Roundup Power Flex ab 2015	Glyphosat	G	3,75	7,5	11-12

In den Jahren 2007 bis 2016 wurden in Niedersachsen insgesamt 541 Samenproben von *Alopecurus myosuroides* von Monitoringflächen im Biotest untersucht. Im Sommer 2015 wurden zusätzlich 26 im Biotest resistente Herkünfte auf eine TSR (Tager-Site-Resistenz) untersucht.

Darüber hinaus erfolgte eine Auswertung der Schlaghistorien. Diese Schlaghistorien entstammen den Feldern, auf denen die Samenproben für die Biotestungen gezogen wurden und beschreiben Kulturart, Bodenbearbeitung und Herbizideinsatz auf den beprobten Flächen über einen Zeitraum von fünf Jahren.

Die exakte Verbreitung von *Apera spica-venti* in Niedersachsen wurde auf Landkreisebene von den Pflanzenschutzberatern der Bezirksstellen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen geschätzt.

129 Wirkungsversuche, die im Zeitraum von 2007 bis 2016 in Niedersachsen zur Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* auf Praxisflächen im Winterweizen durchgeführt wurden, sind ausgewertet worden, um zu untersuchen, wie sich der Wirkungsgrad von Atlantis WG in den vergangenen 10 Jahren verändert hat.

Ergebnisse

Zunächst verbreitete sich die Resistenz gegenüber Isoproturon (IPU) aus der Gruppe der Photosynthesehemmer (HRAC C). Als dieser Wirkstoff nicht mehr ausreichende Gräserwirkung zeigte, wurden ACCase-Hemmer (HRAC A) gegen *Alopecurus myosuroides* eingesetzt. Anfangs kamen vermehrt FOP's wie z.B. Haloxyfop, Quizalofop, Fluazifop, und Propaquizafop zum Einsatz. Nachdem auch hier Resistenzen auftraten, wurden im Getreide ALS-Hemmer (HRAC B) wie Sulfosulfuron, Flupyr-sulfuron, Amidosulfuron, Propoxycarbazone, Iodosulfuron sowie Metsulfuron eingesetzt und in dikotylen Kulturen (Raps, Kartoffeln und Zuckerrüben) zur Ungrasbekämpfung vermehrt DIM's aus der Gruppe der ACCase-Hemmer appliziert. In den vergangenen 10 Jahren haben sich auf vielen Flächen in Norddeutschland breite Resistenzen des Acker-Fuchsschwanzes gegenüber teilweise mehreren Wirkstoffgruppen ausgebreitet. Neben der Wirkstoffgruppe der ACCase-Hemmer ist auch die Wirkstoffgruppe der ALS-Hemmer stark resistenzgefährdet. Die exakte Verbreitung von *Alopecurus myosuroides* wurde auf Landkreisebene von den Pflanzenschutzberatern der Bezirksstellen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen geschätzt (Abb. 1).

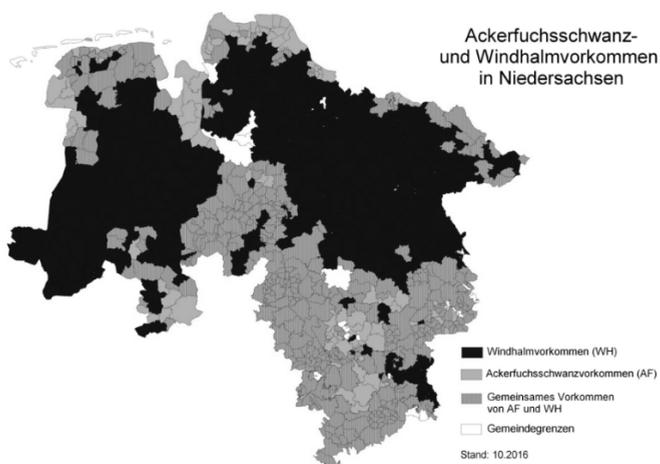


Abb. 1 Vorkommen von *Alopecurus myosuroides* in Niedersachsen.

Fig. 1 Occurrence of *Alopecurus myosuroides* in Lower Saxony.

In den Jahren 2007 bis 2016 wurden in Niedersachsen 541 Samenproben von *Alopecurus myosuroides* von Monitoringflächen im Biotest untersucht (Abb. 2).

In 40 % (214 Proben) der untersuchten 541 *Alopecurus myosuroides* – Herkünfte wurden in den vergangenen zehn Jahren eine ALS-Resistenz gegenüber Atlantis WG nachgewiesen. Nur 45 % der

untersuchten Monitoringproben weisen eine noch ausreichende Wirkung mit Wirkungsgraden von 81 – 100 % gegenüber Atlantis WG auf.

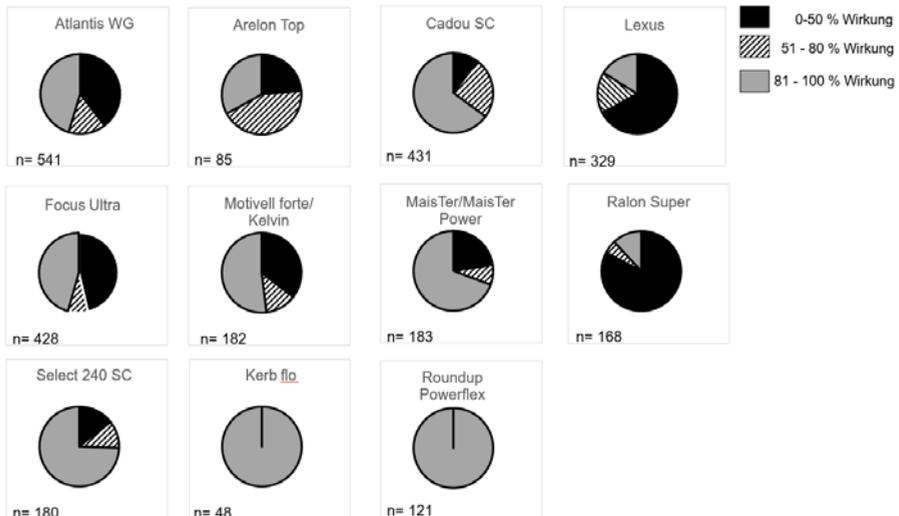


Abb. 2 Überblick über untersuchte *Alopecurus myosuroides*-Samenproben im Biotest 2007 – 2016.

Fig. 2 Overview of studied *Alopecurus myosuroides* seed samples in the bioassays 2007 – 2016.

Fast die Hälfte der untersuchten Proben in Niedersachsen zeigte mit Wirkungsgraden unter 50 % Wirkung keine ausreichende Wirkung für die Wirkstoffgruppe der DIMs. Focus Ultra (Cycloxydim) ist besonders betroffen und in einem geringeren Umfang auch Select 240 EC (Clethodim). Für die Gruppe der FOPs, dazu gehören Herbizide wie z.B. Fenoxaprop (Ralon Super), Clodinafop (Topik 100, Sword) und Propaquizafop (Agil-S), zeigte in den Resistenzuntersuchungen lediglich für ca. 12 % der Proben noch eine ausreichende Wirkung.

Der im Raps eingesetzte Wirkstoff Propyzamid (Kerb FLO, Cohort, Groove und Milestone) zeigte noch keine Wirkungsminderungen, ebenso wie der hier nicht aufgeführte Wirkstoff Pendimethalin (enthalten in Malibu, Picono und Stomp Aqua). Der bodenwirksame Wirkstoff Flufenacet (enthalten in Cadou SC, Herold SC, Bacara Forte) zeigte in ca. 10 % der untersuchten Monitoringproben für *Alopecurus myosuroides* eine beginnende Herbizidresistenz.

Im Sommer 2015 sind 26 im Biotest resistente Herkünfte auf eine TSR (Targt-Site-Resistenz) untersucht worden. Von den 26 untersuchten Herkünften wiesen 21 Proben eine Resistenz an der Position Trp574 auf und 5 Proben an der Position Pro197.

Die 214 gegenüber Atlantis WG resistenten Proben wurden im jeweiligen Testdurchgang auch bezüglich ihrer Sensitivität gegenüber anderen Wirkstoffen getestet. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 dargestellt. In der Summe wiesen 55 Standorte eine Resistenz gegenüber den ALS-Hemmern Iodosulfuron und Mesosulfuron in Atlantis WG und gleichzeitig gegenüber den ACCase-Hemmern Focus Ultra (Cycloxydim) sowie Select (Clethodim) (nur 15 der 55 Proben) auf. Von den 28 Proben, die neben Atlantis WG auch gegenüber Ralon Super (Fenoxaprop) geprüft wurden, wurden 26 Herkünfte mit Wirkungsgraden unter 50 % bonitiert. Aufgrund der nur noch wenigen sensiblen Ergebnisse und Beobachtungen in der Praxis ist der Wirkstoff Fenoxaprop ab 2010 nicht mehr in der Testung verwendet worden.

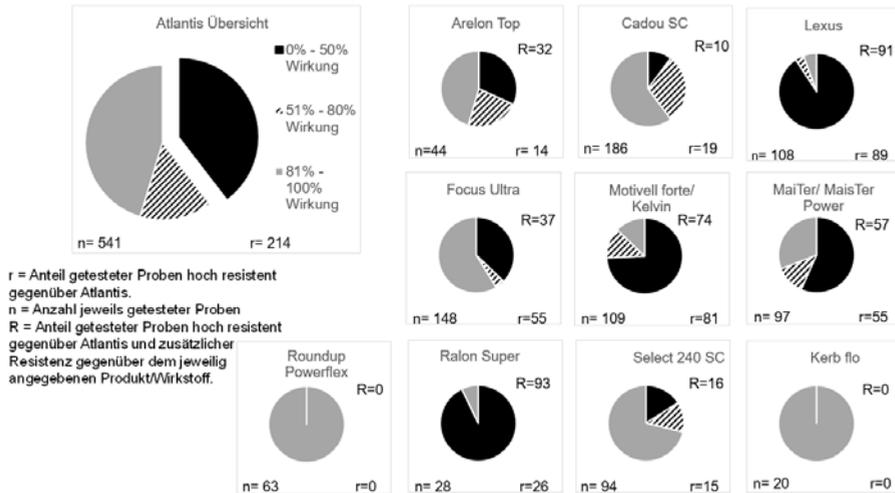


Abb. 3 Multiple Resistenz in *Alopecurus myosuroides* bis 2016.

Fig. 3 Multiple resistance in *Alopecurus myosuroides* until 2016.

Bei mehr als 70 % der Proben ($r= 81$ von $n=109$ getesteten Proben) bestätigte sich im Biotest neben der Resistenz gegen Atlantis WG auch eine Resistenz gegenüber dem im Mais eingesetzten Nicosulfuron (Motivell forte, Kelvin OD) und 55(r) von 97 (n) Monitoringproben waren resistent gegenüber Foramsulfuron (MaisTer, MaisTer Power).

Bis zum Jahr 2013 wurden diese multiplen Resistenzen eher auf den Marschböden in Niedersachsen gefunden, seit 2014 nehmen sie aber besonders auf den typischen *Alopecurus myosuroides*- Standorten in Süd- und Ostniedersachsen zu.

Der Vergleich von 129 Wirkungsversuchen, die im Zeitraum von 2007 bis 2016 in Niedersachsen zur Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* im Winterweizen durchgeführt wurden verdeutlicht, dass der Wirkungsgrad auch von Atlantis WG in den vergangenen 10 Jahren auf den Praxisflächen in Niedersachsen deutlich abnahm (Abb. 4).

Atlantis WG (0,5kg/ha) – Wirkung in 10 Versuchsjahren

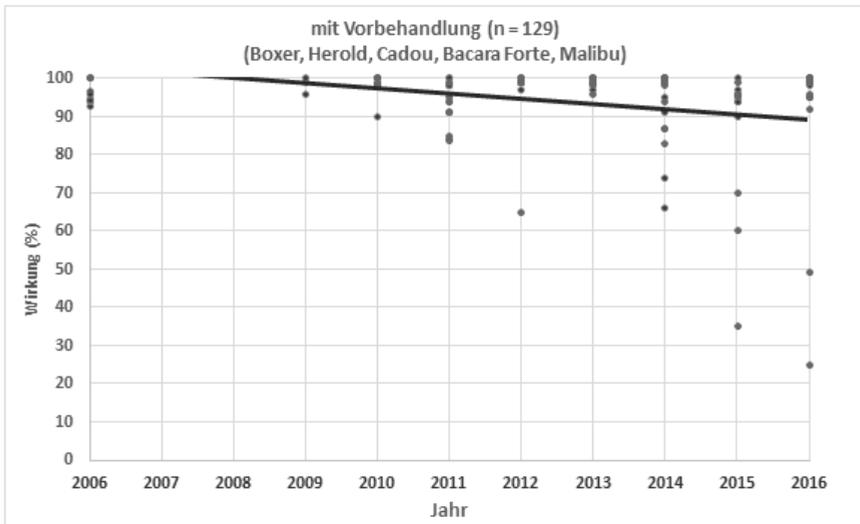


Abb. 4 Wirkungsverlust von Atlantis WG in 129 niedersächsischen GEP-Versuchen im Wintergetreide.

Fig. 4 Loss of efficacy of Atlantis WG in 129 Lower Saxony GEP experiments in winter cereals.

Die Auswertung der Schlagdaten in Abbildung 5 bestätigt die Ergebnisse der Resistenzuntersuchung. Je häufiger ein ALS-Hemmer in der Fruchtfolge eingesetzt wurde, umso häufiger traten Resistenzen gegenüber Atlantis WG auf. Von den 68 Schlägen mit nachgewiesener Resistenz gegenüber Atlantis WG (<50 % Wirkung) wurde in 77 % der Fälle mehr als zweimal Atlantis WG in den vergangenen fünf Jahren appliziert und in 81 % der Fälle mehr als dreimal ein ALS-Hemmer wie z.B. Atlantis WG.

Auswertung der Schlagdaten einiger untersuchter Samenproben

	Atlantis <50% Wirkung n=68 Proben mit 5 jähr. Schlaghistorie Angaben in % der Schlaghistorie	Atlantis 51-80 % Wirkung n= 55 Proben mit 5 jähr. Schlaghistorie Angaben in % der Schlaghistorie	Atlantis 81-100 % Wirkung n= 105 Proben mit 5 jähr. Schlaghistorie Angaben in % der Schlaghistorie
> 3x Wintergetreide in 5 Jahren in der Fruchtfolge	84	96	57
Pflugverzicht	76	44	40
Kein ALS-Hemmer	0	0	21
Kein Einsatz von Flufenacet	12	10	14
> 2x Atlantis in 5 Jahren in der Fruchtfolge	77	29	26
≥ 3x ALS-Hemmer in 5 Jahren in der Fruchtfolge	81	40	26

Abb. 5 Auswertung von Schlagdaten.

Fig. 5 Evaluation of field data.

Auch der völlige Pflugverzicht resultiert in einer Minderwirkung von Atlantis WG. In 76 % der untersuchten Fälle stammten die gegenüber Atlantis WG resistenten Herkünfte von Flächen, auf denen vollkommen auf den Pflug verzichtet wurde.

Diskussion

In den niedersächsischen Fluss- und Küstenmarschen haben sich bei *Alopecurus myosuroides* seit den 1990er Jahren durch einseitige Getreidefruchtfolgen mit ausschließlichem Anbau von Winterungen sowie in den September vorgezogene Saattermine, und auch durch zu häufigen Einsatz von Herbiziden der gleichen Wirkstoffgruppe, breite Resistenzen gegenüber teilweise mehreren Wirkstoffgruppen ausgebreitet. Neben der Wirkstoffgruppe der ACCase-Hemmer (HRAC A) sind auch die ALS-Hemmer (HRAC B) stark resistenzgefährdet. Die Beschreibung der HRAC-Gruppen und das jeweilige Resistenzrisiko sind in Abbildung 6 aufgeführt (WOLBER, 2017).

Gruppe	A	B	C	E	F	G	K	N	O
Wirkmechanismus	ACC-Hemmer	ALS-Hemmer	Photosynthesehemmer	PPO-Hemmer	Carotinoidsynthesehemmer	ESPS-Hemmer	Zellwachstumshemmer	Lipidsynthesehemmer	Synthetische Auxine
Wirkstoffe	FOPs*/ DENS	Fluprpyrsulfuron Propoxy-carbazone			Diffufenican		Flufenacet	Prosulfocarb	MCPA*
	und DIMS*	Mesosulfuron,	CTU		Clomazone* Acifluorfen		Pendimethalin	Ethofumesat	Dichlorprop* Mecoprop* Quinmerac
		Metsulfuron-methyl	Metamitron	Flumioxazin Carfentrazone Bifenox	Flurtamone*	Glyphosate	Metazachlor		Dicamba Aminopyralid Clopyralid Picloram Fluoroxypyr 2,4-D*
		Iodosulfuron Imaxamox Triflusaluron Rimsulfuron Nicosulfuron*	Metribuzin Terbutylazin Lenacil		Tricetone		S-Metolachlor Dimethenamid Pethoxamid*		
	Resistenzrisiko gegen Gräserarten	sehr hoch	hoch	mittel - hoch	sehr gering	sehr gering	gering - mittel	mittel	gering
Getreide	Axial, Ralon Super, Sword, Traxos	Absolute M, Atlantis, Attribut, Calliban, Broadway, Concert SX, Husar OD, Lexus, Viper	Carmina, Fenikan, Lentipur 700, Toluron 700 SC, Trinity*	Sumimax, Fox, Lotus, Oratio 40	Bacara forte, Fenikan, Herold SC, Carmina 640, Othello	Roundup u.a.	Activus SC*, Cadou SC, Herold SC, Pontos, Stomp Aqua*, Mallibu*, Picona*, Trinity*	Boxer*	Starane, U 46 M*, U 46 D*, Duanti, Ariane C,
Kartoffeln		Cato	Sencor WG, Artlist	Shark	Bandur		Artist	Boxer*	
Rüben	Agil S, Fusilade Max, Galant Super, Panarex, Targa Super, Select, Focus Ultra	Debut	Goltix Titan/Gold, Maxpro	---	---	Roundup u.a.	Spectrum	Ethosat 500	Rebell Ultra
Raps		CL-Vantiga und CL-Clentiga nur in Clearfield-Sorten	---	---	Centium*, Cirrus*, Echelon*, Gamit 36 CS		Brasan*, Butisane, Colzor Trio*, Nimbus*, Kerb, Quantum*, Milestone	---	Butisan Top, Effigo, Rebell Ultra, Lontrel
Mais	Focus Ultra nur in Duo Sorten	Accent, Adengo, Arigo*, Cato, Motivell*, Samson*, Milagro*, Kelvin*, Principal*, MaisTer	Artett, Calaris, Bromoterb, Gardo Gold, Successor T*	---	Adengo, Arigo, Elumis, Laudis, Callisto, Calaris, Mikado	Roundup u.a.	Activus SC*, Clio Super, Dual Gold, GardoGold, Stomp Aqua*, Successor T*	---	Mais Banvel, Effigo

Abb. 6 Wirkstoffgruppen nach HRAC und Wirkungsmechanismen mit deren Resistenzrisiko (Auszug).

Fig. 6 Active substance groups according to HRAC and modes of action with their resistance to resistance (excerpt).

Anhand der Resistenzuntersuchungen im Biotest und der ausgewerteten Versuche lässt sich die allgemeingültige Tabelle in Abbildung 7 ableiten (WOLBER, 2017).

Das Resistenzrisiko steigt, wenn regelmäßig ein hoher Unkrautbesatz bereits vor dem Herbizideinsatz geduldet wird. Je mehr Unkräuter vorhanden sind, desto eher kann ein mutiertes Unkraut mit der entsprechenden Resistenzeigenschaft selektiert werden. Auch steigt das Resistenzrisiko zum Beispiel in einer engen Getreidefruchtfolge insbesondere dann, wenn ortstypisch ein sehr früher Saatzeitpunkt gewählt oder wenn vollständig auf den Pflug verzichtet wird. Besonders bei frühen Saatterminen, also im September und Oktober, kann sich ein stärkerer Unkrautbesatz vor Winter entwickeln und damit auch ein größeres Herbizidresistenzrisiko.

Erst bei der Erweiterung der Fruchtfolge mit Blattfrüchten wird ein Herbizidwirkstoffwechsel im Sinne eines Resistenzmanagements ermöglicht. Bei Saatterminen bis Ende November ist die Keimrate von *Alopecurus myosuroides* deutlich geringer als bei früheren Saatterminen. Der Einsatz von Roundup vor oder kurz nach Saat hilft zusätzlich bei einem starken Ungrasbesatz, kann aber eine extensive Stoppelbearbeitung im Sinne des Resistenzmanagements nicht vollständig ersetzen.

Auf Flächen wo erstmals eine Herbizidresistenz zu beobachten ist, kann ein einmaliges Unterpflügen, gefolgt von einem mehrjährigen Pflugverzicht die weitere Ausdehnung einer resistenten Population mindern (WOLBER, 2017). Allerdings ist dann die Überlebensdauer der Unkrautsamen im Boden zu beachten. In Abhängigkeit von der Bodenart, der biologischen

Bodenaktivität und den ackerbaulichen Einflüssen können *Alopecurus myosuroides* bis zu 10 Jahre im Boden (ZWINGER, 2002) überleben.

Mit zunehmendem Anteil von Sommerungen und Blattfrüchten in der Fruchtfolge wird zusätzlich eine nachhaltige Minderung des Samenpotentials erreicht, da die Samen von Ungräsern nur eine begrenzte Zeit keimfähig sind und nach der Bodenbearbeitung zur Sommerung deutlich vermindert auflaufen. Ein jährlicher Wechsel zwischen Blatt- und Halmfrucht kann die Verunkrautung mit *Alopecurus myosuroides*, im Vergleich zu Fruchtfolgen mit 67 % Getreideanteil, fast halbieren. Sorten mit guter Konkurrenzkraft sowie homogene, lückenfreie Bestände helfen ebenfalls den Unkrautbesatz zu unterdrücken und unterstützen so ein effektives Resistenzmanagement.

Gefährdung	Gering	Mittel	Hoch
Fruchtfolge	Vielseitig mit Sommerungen	Eingeschränkt, vorwiegend Winterungen	Kein Fruchtwechsel
Bodenbearbeitung	Pflugeinsatz, intensive Stoppelbearbeitung	Pflugeinsatz, ansonsten eher Extensiv	Minimalbodenbearbeitung
Unkrautbesatz vor Herbizideinsatz	Niedrig	Mittel	Hoch
Resistenzverbreitung in Region	Ohne	Erste Verdachtsfälle in einzelner Wirkstoffgruppe	Mehrere Wirkstoffgruppen betroffen
Selektionsdruck	Wirkungsgrade 100 % (z.B. Mischungen von mehr als zwei Wirkstoffgruppen)	Zunehmender Selektionsdruck durch abfallende Wirkungsgrade (unter 99 %) ohne Kombination und Wechsel von Wirkstoffgruppen	
Wechsel von Wirkstoffgruppen	Wechsel pro Fruchtfolge	Jährlicher Wechsel mit einer Unkrautgeneration	Mehrmalige Verwendung einer Wirkstoffgruppe in einer Kultur bei „Teilwirkung“
Ausbreitungsgeschwindigkeit der Unkrautresistenz		Langsame Ausbreitungsgeschwindigkeit (Metabolische Resistenz, viele Gene betroffen)	Schnelle Ausbreitungsgeschwindigkeit (TSR, Punktmutation eines Gens, Pollentransport)

Abb. 7 Wie hoch ist die Gefahr einer Herbizidresistenz? (Quelle: WOLBER (2017) verändert nach HRAC: Guidelines to the management of herbicide resistance).

Fig. 7 What is the risk of herbicide resistance? (Source: WOLBER (2017) modified according to HRAC: Guidelines to the management of herbicide resistance).

Eine angepasste Bodenbearbeitung unterstützt ein Anti-Resistenzmanagement zusätzlich, so bewirkt eine intensive Stoppelbearbeitung eine verbesserte Strohhrotte. Die Stroh- und Spreuverteilung wird gleichmäßiger und damit verbessert sich der gleichmäßige Aufgang der Unkrautsamen. Allerdings sind 6-8 Wochen Keimruhe bei *Alopecurus myosuroides* keine Seltenheit. Unterstützend auf eine schnellere und gleichmäßigere Unkrautentwicklung nach dem Grubbereinsatz wirkt ein zusätzlicher Arbeitsgang mit einer Crosskill-Walze, insbesondere wenn der zweite Grubberstrich nach später Ernte nicht mehr möglich ist. Auch ein zeitiger Pflugeinsatz im August, insbesondere für schwere Böden, bewirkt eine abgetrocknete Krume und ein feinkrümeliges Saatbett, welches einen verzögerten Auflauf des Unkrauts vermeiden kann (WOLBER, 2017).

Fazit

Die Herbizidresistenzen haben sich in Niedersachsen auf nahezu auf allen Standorten mit *Alopecurus myosuroides*- Vorkommen ausgebreitet. Die Monitoringproben zeigen mittlerweile multiple Resistenzen bei *Alopecurus myosuroides* auf, wie in Abbildung 3 verdeutlicht. Eine Bekämpfung ist ohne flankierende pflanzenbauliche Maßnahmen nicht mehr möglich. Die HRAC-

Gruppen A und B sind auf vielen Flächen nicht mehr vollständig wirksam. In der Wirkstoffgruppe A bleiben auf einzelnen Flächen lediglich die Gruppe der DIMs. In der Wirkstoffgruppe B treten erste Resistenzen gegen in Mais eingesetzte Sulfonylharnstoffe auf, was eine Sommerung mit Mais auf *Alopecurus myosuroides*-Resistenzstandorten schwierig macht.

Ein Umdenken der Praxis in längerfristige „Wirkstoffplanungen“ über die Fruchtfolge ist zwingend erforderlich, um Herbizidresistenzen mittelfristig zu vermeiden und nachhaltig Ackerbau betreiben zu können. Der Wirkstoffwechsel, auch über die Fruchtfolge gesehen, reicht alleine nicht aus, um die Resistenzentwicklungen aufzuhalten. Wesentliche Risikofaktoren sind auch einseitige Fruchtfolgen bis hin zur Monokultur, die die Entwicklung einzelner Unkräuter oder Ungräser besonders begünstigen (z. B. ausschließlich Winterungen in Frühsaat). Der vollständige Verzicht auf den Pflug und der Einsatz von Minimalbestellverfahren ermöglichen eine unmittelbare Generationsfolge bei Samenunkräutern/-gräsern, die Folge ist ein erhöhtes Resistenzrisiko (WOLBER, 2017).

Der Einbau von Sommerungen in die Fruchtfolge und spätere Aussattermine gewährleisten auch weiterhin eine erfolgreiche Landbewirtschaftung durch die Kombination von Stoppelparbeitungsgängen im Herbst und Einsatz von Glyphosat nach dem Wiederergrünen, wie teils auch vor Winterungen üblich (WOLBER, 2017).

Literatur

- BALGHEIM, R., 2006: Herbizidresistenz vermeiden, Wirkstoffe erhalten – eine Gemeinschaftsaufgabe von Beratung, Forschung und Praxis am Beispiel des Ackerfuchsschwanzes (*Alopecurus myosuroides* Huds.). Journal of Plant Diseases and Protection, Sonderheft **XX**, 49-56.
- LANDSCHREIBER, M., C. SCHLEICH-SAIDFAR und U. HENNE, 2017: Herbizide allein helfen nicht mehr. Ackerbauliche Maßnahmen gegen Ackerfuchsschwanz: 7 Jahre Erfahrungen mit Ackerfuchsschwanz in der Marsch und im östlichen Hügelland in Schleswig-Holstein (Teil 1). LOP 8/2017, 14-21.
- EPPO-RICHTLINIE PP1/93(3) Weeds in cereals; European and Mediterranean Plant Protection Organisation.
- WOLBER, D. M., 2017: Herbizidresistenzen: das Ende der Fahnenstange ist erreicht. Getreidemagazin **3**/2017, 8-15.
- MOSS, S.R., K.M. COCKER, A.C. BROWN, L. HALL und L.M. FIELD, 2003: Characterisation of target-site resistance to ACCase-inhibiting herbicides in the Weed *Alopecurus myosuroides* (black-grass). Pest Management Science **59**, 190-201.
- WOLBER, D.M., 2017: Wirkstoffmanagement wird immer wichtiger. Getreidemagazin **4**/2017, 18-27.
- ZWERGER, P. und H.U. AMMON, 2002: Unkraut Ökologie und Bekämpfung. Verlag Ulmer.
- ZWERGER, P., P. AUGUSTIN, J. BECKER, C. DIETRICH, R. FORSTER, K. GERING, R. GERHARDS, B. GEROWITT, M. HUTTENLOCHER, D. KERLEN, G. KLINGENHAGEN, M. LANDSCHREIBER, E. MEINDLSCHMIDT, H. NORDMEYER, J. PETERSEN, H. RAFFEL, A. SCHÖNHAMMER, L. ULBER und D. M. WOLBER, 2017: Integriertes Unkrautmanagement zur Vermeidung von Herbizidresistenz. Journal für Kulturpflanzen **69**, 146-149.

Resistenzentwicklung von *Alopecurus myosuroides* HUDS. (Acker-Fuchsschwanz) gegenüber ALS-Hemmern nach unterschiedlichen Vorbehandlungen

Development of resistance in Alopecurus myosuroides HUDS. (blackgrass) against ALS inhibitors after different pre-treatments

Dirk Michael Wolber*, Goßwinth Warnecke-Busch, Lisa Köhler

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Wunstorfer Landstr. 9,
30453 Hannover *Korrespondierender Autor, dirk.wolber@lwk-niedersachsen.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.020



Zusammenfassung

Die Resistenzentwicklung von *Alopecurus myosuroides* HUDS. (Acker-Fuchsschwanz) gegen ALS-Hemmer kann aufgrund unterschiedlicher Vorbehandlungen möglicherweise beschleunigt werden. In diesem Zusammenhang werden Sequenzbehandlungen von ALS-Hemmern in einer Kultur kritisch gesehen. Um diese Frage zu beantworten wurde ein besonderes Biotestverfahren entwickelt. Hier werden unter standardisierten Bedingungen im Freiland mit züchterischen Methoden *A. myosuroides*-Pflanzen einer Population mit beginnender ALS-Resistenz nach unterschiedlichen Vorbehandlungen vermehrt und die nachfolgende Generation hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einem ALS-Hemmer überprüft.

Stichwörter: Acker-Fuchsschwanz, ALS-Hemmer, Resistenzmanagement, Sequenzbehandlung, Ungrasbekämpfung

Abstract

The resistance development of *Alopecurus myosuroides* HUDS. (blackgrass) against ALS inhibitors may possibly be accelerated due to different pretreatments. In this context, sequential applications of ALS inhibitors in a culture are thought to be critically. To answer this question, a special bioassay has been developed. In a first step, *A. myosuroides* were sequentially treated with different ALS inhibitors and propagated under standardized conditions in the open field using breeding methods. Seeds of these plants were collected and their susceptibility towards ALS inhibitors was determined.

Keywords: ALS inhibitors, blackgrass, grass weed control, herbicide resistance management, sequence treatment

Einleitung

Alopecurus myosuroides HUDS. gilt als eine sehr schwer zu bekämpfende Ungrasart und hat bereits Resistenzen gegen einige HRAC-Wirkstoffgruppen ausgebildet. Sowohl Resistenzen gegen ALS-Hemmer (HRAC-Gruppe B), ACCase-Hemmer (HRAC-Gruppe A), als auch Photosynthese-Hemmer (HRAC-Gruppe C) sind weit verbreitet. Diese Resistenzen verbreiten sich rasch und haben in Niedersachsen bereits ein enormes Ausmaß erreicht (PETERSEN, 2017; WOLBER, 2017). Als Konsequenz für die Praxis werden die möglichen Herbizidanwendungen angepasst und zunehmend strategisch fruchtfolgeübergreifend geplant (WOLBER, 2017), um weitere Resistenzentwicklungen zu vermeiden.

Material und Methoden

Bei dem untersuchten Samenmaterial handelt es sich um einen Biotyp aus dem Raum Hannover, der bereits eine schwach beginnende metabolische Resistenz gegenüber ALS-Hemmern ausgebildet hat. Dieser Biotyp wurde im Jahr 2016 in Töpfen (Durchmesser 30 cm) ausgesät und die Applikation erfolgte in einer Schachtner Applikationskabine (Wasseraufwandmenge 200 l/ha, ES 90-02, mit 1,89 bar, Spritzhöhe 40 cm). Die Behandlungen sind dem Versuchsplan (Tab. 1.) zu entnehmen. Die Versuchsglieder (VGL) 1 bis 6 wurden zu den Terminen der Unkrautentwicklung H1 (BBCH 11) bis H4 (BBCH 21-23) behandelt und nach der Behandlung ins Freiland gestellt und dort kultiviert. Vor der Blüte wurden die einzelnen Varianten mit Tüten übergestülpt, um eine Fremdbefruchtung zwischen den Versuchsvarianten zu verhindern. Die sich entwickelnden Samen wurden dadurch ausschließlich durch Blütenstände innerhalb der Varianten befruchtet. Die so

gewonnenen Samen der sich entwickelten F2-Generation wurden geerntet und erneut im Biotest untersucht.

Tab. 1 Versuchsplan (Aufwandmenge in kg/ha).

Tab. 1 Experimental design (application rate in kg/ha).

VGL	H1 02.05.16		H2 04.05.16		H3 11.05.16		H4 03.06.16	
	11	11	12	12	13	13	21	23
1			Atlantis WG FHS (Genapol)	0,4 0,8				
2					Atlantis WG FHS (Genapol)	0,4 0,8		
3							Atlantis WG FHS (Genapol)	0,4 0,8
4	Lexus	0,02	Atlantis WG FHS (Genapol)	0,4 0,8				
5	Lexus	0,02					Atlantis WG FHS (Genapol)	0,4 0,8
6			Lexus	0,02			Atlantis WG FHS (Genapol)	0,4 0,8

Zum Nachweis einer vorliegenden Herbizidresistenz der gewonnenen F2-Generation wurde im Gewächshaus an intakten Pflanzen unter definierten Temperatur- und Lichtbedingungen der Biotest durchgeführt. Die ausgedroschenen und gesiebten Samenproben wurden getrocknet und in Papiertüten gelagert. 5 Tage vor der Aussaat wurden die Samen zur Brechung der Dormanz bei -18°C gelagert. Im Anschluss daran erfolgte unmittelbar die Aussaat der Samenproben in Biotesttöpfe (Jiffy-Rundtöpfe, 8 x 8 cm, geschlitzt) mit 4 Wiederholungen je Versuchsvariante. Die Töpfe standen in Pflanzschalen (40 x 60 cm), deren Boden passgenau mit einer Plastikfolie und einem Bewässerungsfliß ausgelegt war. Bei der Aussaaterde handelte es sich um Standardboden (lehmgiger Sand, pH 6,5, Humusgehalt 1,8 %, ca. 300 g incl. Topf, sterilisiert ca. 60 % WK max.). Das zu testende Samenmaterial wurde portioniert, in die mit Erde gefüllten Töpfe gestreut und jeweils mit einer 1 cm dicken Schicht fein gesiebter Erde des Standardbodens bedeckt. Für das weitere Wachstum im Gewächshaus wurden die folgenden Parameter eingestellt: Tagphase: 20°C , 16 h Beleuchtung mit 8000 LUX (180 Watt/m²), Nachtphase: 16°C , 8 h Dunkelheit. Die Bewässerung erfolgte durch bedarfsgerechtes Gießen von unten (Anstau). Der Feuchtigkeitszustand der Töpfe wurde täglich kontrolliert. Die Applikation erfolgte im Stadium BBCH 11-12 von *A. myosuroides* in einer Schachtner Applikationskabine (Wasseraufwandmenge 200 l/ha, ES 90-02, mit 1,89 bar, Spritzhöhe 40 cm). Die F2-Generation wurde mit Atlantis WG 0,5 kg/ha behandelt.

Nach 21 Tagen wurde gemäß EPP0-Richtlinie PP1/93(3) der Wirkungsgrad bonitiert. Für die Bewertung des Wirkungsgrades wurden folgende Grenzwerte zugrunde gelegt: 0 – 50 % = resistente Proben; 51 – 80 % = moderat resistente Proben und 81 – 100 % = sensitive Proben.

Ergebnisse

Die Wirkung von Sequenzspritzungen mit ALS-Hemmern auf *A. myosuroides* mit beginnender metabolischer Resistenz wird durch eine Wirkungsbonitur am 24.06.2016 in der Abbildung 1 dargestellt.

Die alleinige Anwendung von Atlantis WG zum Stadium BBCH 11 des *A. myosuroides* (Biotyp mit einer beginnenden metabolischen Resistenz) hat einen Wirkungsgrad von 98 % erzielt. Damit wurde eine ausreichend wirkungssichere Bekämpfung erreicht. Zum Zeitpunkt BBCH 12 des *A. myosuroides* war die Wirkung auf 82 % abgefallen, und zum Zeitpunkt BBCH 21 des *A. myosuroides* war eine gute Bekämpfung mit einem Wirkungsgrad von 98 % möglich (Abb. 1).

Der Wirkungsabfall von Atlantis WG in BBCH 12 war in allen Wiederholungen festzustellen. In den Varianten 4 bis 6 mit Sequenzbehandlungen mit den Herbiziden Lexus und Atlantis WG waren Wirkungsgrade zwischen 92 bis 98 % festzustellen (Abb. 1).

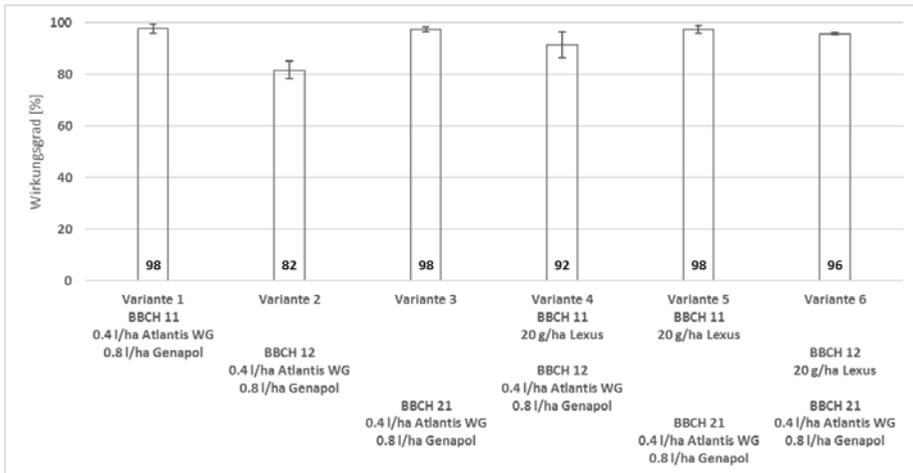


Abb. 1 Wirkung von Sequenzapplikationen mit ALS-Hemmer (Lexus und Atlantis WG) auf *A. myosuroides* mit beginnender metabolischer Resistenz (Wirkungsbonitur am 24.06.2016). Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung.

Fig. 1 Effect of sequential applications of ALS inhibitors (Lexus and Atlantis WG) on *A. myosuroides* exhibiting beginning metabolic resistance (efficacy was determined on 24.06.2016). Error bars indicate standard deviation.

Eine Minderwirkung der Atlantis-Behandlung in Spritzfolgen mit einer Lexus-Vorbehandlung war nicht zu erkennen. In keiner der Varianten war eine vollständige Bekämpfung von *A. myosuroides* möglich, so dass in allen Varianten Ungrassamen für die weiteren Untersuchungen an der F2 geentet werden konnten (Abb. 1).

Die Vorbehandlungen mit dem Soloprodukt Atlantis WG in BBCH 11 und 12 des *A. myosuroides* (Variante 1 und 2) erreichten nach Behandlung mit Atlantis WG 0,5 kg/ha in der F2-Generation eine vollständige Bekämpfungsleistung (Abb. 2) oder anders ausgedrückt: die Nachkommen in der F2 sind vollständig sensitiv. Die beginnende metabolische Resistenz der ursprünglichen Generation war nach Vorbehandlung in der F1-Generation nicht festzustellen.

Die Vorbehandlung mit dem Soloprodukt Atlantis WG in BBCH 21 (Variante 3) ließ in der F2-Generation, nach der erneuten Behandlung von Atlantis WG, nur einen über die Wiederholungen gemittelten Wirkungsgrad von 78 % feststellen (Abb. 2).

Eine ähnliche Beobachtung zeigte das Resistenzniveau der F2-Generation nach der Sequenzbehandlungen mit Lexus und Atlantis WG in der F1-Generation. Auch hier schwankte das Resistenzniveau bei der Vorbehandlung von Lexus in BBCH 11 und Atlantis WG in BBCH 12 (Variante 4) zwischen einer sensitiven Bewertung bis zu einem Biotyp mit einer mittleren Resistenzprägung, im Mittel der Wiederholungen mit 85 % (Abb. 2).

Ganz anders zeigten sich dagegen die F2-Nachkommen nach Vorlage der Sequenzbehandlung von Lexus in BBCH 11 und Atlantis WG in BBCH 21 (Variante 5) und nach der Vorlage der Sequenzbehandlung von Lexus in BBCH 12 und Atlantis WG in BBCH 21. In beiden Varianten waren die Nachkommen in der F2-Generation vollständig sensitiv (Abb. 2). Die beginnende metabolische Resistenz der ursprünglichen Generation war in der F2-Generation nach Selektion der Varianten 5 und 6 nicht festzustellen.

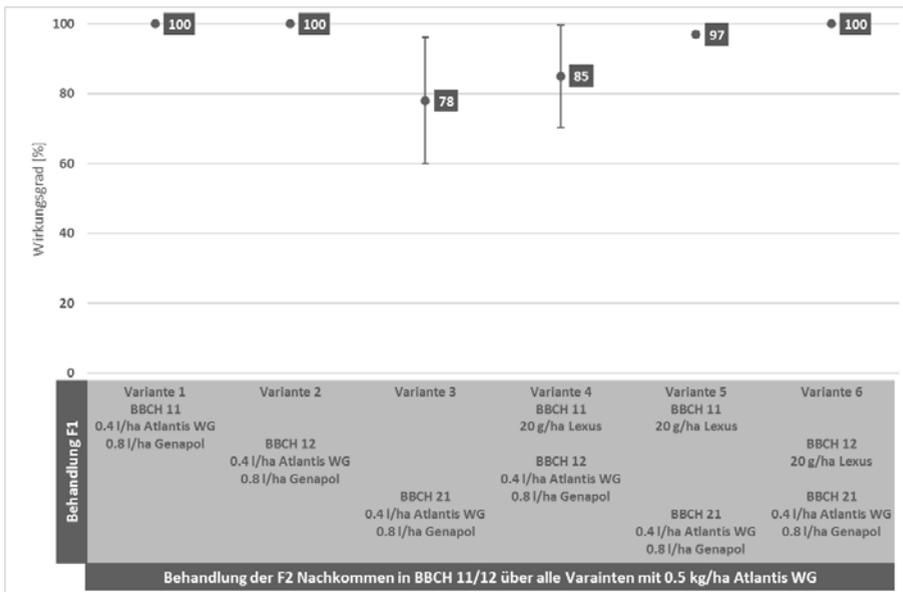


Abb. 2 Resistenzuntersuchung der F2-Generation nach Sequenzbehandlungen mit ALS-Hemmer (Lexus und Atlantis WG) in der F1- Generation von *A. myosuroides* mit beginnender metabolischer Resistenz.

Fig. 2 Resistance study of the F2 generation after sequential treatment with ALS inhibitors (Lexus and Atlantis WG) in the F1 generation of *A. myosuroides* with beginning metabolic resistance.

Zusammenfassend zeigen die F2-Nachkommen nach Anwendung von Atlantis WG in Variante 1 und 2 sowie nach Sequenzbehandlungen in Variante 5 und 6 keine Verschiebung in Richtung eines erhöhten Resistenzniveaus gegenüber der ursprünglichen Population (Abb. 2). Lediglich die F2 Nachkommen der späten Nachbehandlung von Atlantis WG in BBCH 21 (Variante 3) sowie die F2-Nachkommen der Sequenzbehandlung in Variante 4 zeigten eine Varianz in der Wirkung geben die Schwankungsbreite der Ursprungspopulation mit einer beginnenden metabolischen Resistenz wieder.

Diskussion

Der häufig postulierte Grundsatz, dass Sequenzbehandlungen von ALS-Hemmern, wie zum Beispiel Lexus gefolgt von Atlantis WG, gegenüber einem alleine eingesetzten ALS-Hemmer (Atlantis WG), die Wirkungssicherheit gegen *A. myosuroides* beeinträchtigen, ist anhand der gezeigten Ergebnisse der Topfversuche nicht zu bestätigen. In einer früheren Arbeit waren durch eine Sequenzbehandlung von Lexus gefolgt von Atlantis WG auch synergistische Effekte zu beobachten (DROBNY et al., 2006). Auch eine mögliche Förderung der Resistenzentwicklung gegenüber der Wirkstoffgruppe der ALS-Hemmer konnte anhand der gezeigten Untersuchungsergebnisse für eine beginnende metabolische Population von *A. myosuroides* für die nachfolgende Generation nicht bestätigt werden. Auch PETERSEN (2014) bestätigt für vier untersuchte Biotypen von *A. myosuroides*. (2 sensitive und 2 metabolisch resistente) das unterschiedliche Vorbehandlungen (keine, Lexus, Boxer, Cadou) die Wirksamkeit einer Behandlung mit Atlantis WG im Frühjahr nicht beeinflusst haben.

Untersuchungen zur Resistenzentwicklung in der nächsten Unkrautgeneration nach Sequenzbehandlungen von ALS-Herbiziden gibt es nur sehr wenige. PETERSEN (2015) zeigt für eine resistente Population von *A. myosuroides* „Elbe“, dass die Vorbehandlungen mit Sequenzanwendungen von ALS-Hemmern keinen messbaren Einfluss auf die weitere Resistenzentwicklung hatten. PETERSEN (2015) gibt aber zu bedenken, dass die Population schon

resistent war und die kleinräumige Anordnung möglicherweise durch wechselseitigen Pollenaustausch mögliche Unterschiede nivelliert haben könnte. Dieser Pollenaustausch mit anderen Versuchsvarianten kann in den hier gezeigten Ergebnissen ausgeschlossen werden, da die Pflanzen durch übergestülpte Tüten am Pollenaustausch gehindert waren.

Eine Resistenzentwicklung von *A. myosuroides* gegenüber ALS-Hemmern tritt unter Freilandbedingungen erfahrungsgemäß nach mehreren Jahren nach Erstanwendung der Wirkstoffgruppe auf. Dies geschieht meist erst nach ca. 6-8 Anwendungen, vor allem, wenn es zum Wiederholen, alleinigen Einsatz der ALS-Hemmer kommt. Sie kann aber hinausgezögert werden, wenn Maßnahmen zum Resistenzmanagement genutzt werden (WOLBER, 2017).

Neben den ackerbaulichen Resistenzmanagementmaßnahmen sind daher auch der Wirkstoffwechsel und die Wirkstoffkombination von mehreren wirksamen Wirkstoffgruppen zu nennen. Tankmischungen und Spritzfolgen sind mögliche Verfahren, um eine ausreichend sichere Unkrautbekämpfung zu erzielen, wobei möglichst Herbizide mit unterschiedlichen Wirkmechanismen eingesetzt werden sollten (ZWERGER et al., 2017). Eine Bekämpfungsfolge mit demselben Wirkungsmechanismus innerhalb einer Kultur oder in einer unmittelbaren Folge gegen die Nachkommen behandelter Unkrautarten ist zu vermeiden (ZWERGER et al., 2017). Eine vollständige 100 prozentige Wirkung, wie in den gezeigten Ergebnissen zu sehen ist, ist in der Praxis kaum erreichbar. Daher werden immer Wirkstoffkombinationen mit einem unterstützenden Bodenwirkstoff eingesetzt (WOLBER, 2017).

Die Ergebnisse zeigen, dass die sequentielle Applikation von ALS-Hemmern nicht zwangsläufig zu Minderwirkungen innerhalb einer Generation führen muss. Im Sinne eines guten Resistenzmanagements und zum Erreichen eines höchstmöglichen Wirkungsgrades ist jedoch zumindest bei einem ALS-Hemmer ein Partner einer wirksamen zweiten Wirkstoffgruppe in einer Tankmischung zuzusetzen.

Literatur

- DROBNY, H.G., M. SALAS und J.P. CLAUDE, 2006: Management of metabolic resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides* HUDS.) populations in Germany – challenges and opportunities. *Journal of Plant Diseases and Protection, Sonderheft XX*, 66-72.
- MEINLSCHMIDT, E., C. TÜMLER, K. EWERT, H. SCHMALSTIEG und E. BERGMANN, 2016: Verbreitung und effektive Kontrolle von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) im Hinblick auf die Resistenzentwicklung - Auswertung der Ringversuche der Bundesländer Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen von 2000-2014. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 371-384.
- PETERSEN, J., 2014: Einfluss von Sequenzbehandlungen auf die Herbizidresistenzentwicklung bei *Alopecurus myosuroides*. *Julius-Kühn-Archiv* **447**, 102-103.
- PETERSEN, J., 2015: Einfluss von Sequenzbehandlungen auf die Herbizidresistenzentwicklung bei Ackerfuchsschwanz. *Getreidemagazin* **4**, 17-21.
- PETERSEN, J., 2017: Resistenzentwicklung von Ackerfuchsschwanz. *Getreidemagazin* **4**, 14-17.
- WOLBER, D., 2017: Herbizidresistenzen: das Ende der Fahnenstange ist erreicht. *Getreidemagazin* **3**, 23-29.
- ZWERGER, P., B. AUGUSTIN, J. BECKER, C. DIETRICH, R. FORSTER, K. GEHRING, R. GERHARDS, B. GEROWITT, M. HUTTENLOCHER, D. KERLEN, G. KLINGENHAGEN, M. LANDSCHREIBER, E. MEINLSCHMIDT, H. NORDMEYER, J. PETERSEN, H. RAFFEL, A. SCHÖNHAMMER, L. ULBER und D. WOLBER, 2017: Integriertes Unkrautmanagement von Herbizidresistenz. *Journal für Kulturpflanzen* **69** (4), 146-149.

Herbizidresistenzen bei *Apera spica-venti* - Sachstand in Niedersachsen

Resistance of herbicides against Apera spica-venti in Lower Saxony

Goßwirth Warnecke-Busch^{1*}, Dirk Michael Wolber¹, Lisa Köhler¹, Matthias Breiding²



¹Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Wunstorfer Landstraße 9, 30453 Hannover

²Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Wunstorfer Landstraße 11, 30453 Hannover

*Korrespondierende Autorin, warnecke-busch@lwk-niedersachsen.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.021

Zusammenfassung

Herbizidresistenzen lassen ganze Wirkstoffgruppen weltweit wegfallen. In Deutschland zeigt sich dieses Phänomen auch auf niedersächsischen Flächen, die seit Jahren intensiv in engen Getreidefruchtfolgen bewirtschaftet werden. Neben den Wirkstoffgruppen der ALS-Hemmer und Photosynthesehemmer sind beginnend auch die ACCase-Hemmer resistenzgefährdet. Diese Entwicklung hat sich bei *Apera spica-venti* durch einseitigen Herbizideinsatz und enge Getreidefruchtfolgen aufgebaut. In den Jahren 2009 bis 2016 wurden auf 269 Monitoringflächen Samenproben von *Apera spica-venti* gezogen und in Biotestungen die Wirksamkeit von Herbiziden unterschiedlicher Wirkstoffklassen getestet. Die Resistenz bei *Apera spica-venti* gegenüber Herbiziden der HARC-Gruppe B ist in Niedersachsen weit verbreitet. Auf den ersten Flächen haben sich bereits multiple Resistenzen gegen die HRAC-Gruppen A und B entwickelt.

Stichwörter: *Apera spica-venti*, Fruchtfolge, multiple Resistenzen, Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung

Abstract

Worldwide whole groups of active substances are getting ineffective due to herbicide resistance. This phenomenon was observed on numerous fields in Lower Saxony, Germany, which have been intensively cultivated in narrow crop rotations for years. Besides the ALS inhibitors and the photosynthesis inhibitors, also ACCase inhibitors are at risk of becoming resistant. This development was established in *Apera spica-venti* by the one-sided use of herbicides and the narrow crop rotations. From 2009 until 2016 seed samples of *Apera spica-venti* were grown on 269 monitoring areas and the efficacy of herbicides from different classes of active substances was tested in bioassays. The resistance of *Apera spica-venti* to herbicides of the HRAC group B is widespread in Lower Saxony. Multiple resistances to the HRAC groups A and B have already developed on the first areas.

Keywords: *Apera spica-venti*, crop rotation, grass weed control, herbicide resistance management, loose silky-bent grass, multiple resistance

Einleitung

Apera spica-venti (Windhalm) ist seit vielen Jahren eine der wichtigsten Ungraspflanzen in Mitteleuropa. Es handelt sich um eine monokotyle Pflanzenart, die meist im Herbst bei Temperaturen über 2 °C keimt, nur gelegentlich kann es auch im Frühjahr noch zu Keimung kommen. Der Entwicklungsrhythmus ist an Winterungen angepasst. Der *Apera spica-venti* kommt in Niedersachsen meistens auf sandigen, leichtstrukturierten Böden der Lüneburger Heide und im Weser-Ems-Gebiet sowie auf den leichten Lehmböden des mittleren Niedersachsens vor. Durch seine starke Bestockung und den langen Halm entwickelt *Apera spica-venti* eine starke Konkurrenzskraft gegenüber Wintergetreidebeständen, die größer ist als bei *Alopecurus myosuroides*. Die Samen von *Apera spica-venti* fallen vor der Weizenernte aus und werden durch Wind und Wasser verbreitet. Die Samen haben im Boden eine Lebensdauer von ca. 1 bis 4 Jahren und keimen meist gleich nach der Ernte aus. Im Vergleich zum Getreide wachsen die Keimlinge von *Apera spica-venti* langsamer, im Frühjahr entwickeln sie sich jedoch schnell und überwachsen dann die Kultur. Hohe Ungrasraten können schnell zur Konkurrenz für die Kultur um Licht, Wasser, Standraum und Nährstoffe führen. Sehr dichtes Ungrasaufkommen führt im Getreide und ggf. auch im Raps schnell zu Lager.

Das Pflanzenschutzamt der Landwirtschaftskammer Niedersachsen hat in den vergangenen 8 Jahren Monitoringproben, die aus allen Regionen Niedersachsens stammen, im Biotest untersucht.

Material und Methoden

Zum Nachweis einer vorliegenden Herbizidresistenz wurden in den Jahren 2009 – 2016 Biotestungen im Gewächshaus an intakten Pflanzen, unter definierten Temperatur- und Lichtbedingungen durchgeführt. Bis zum Jahr 2016 wurden 269 Herkünfte von *Apera spica-venti* aus allen Teilen Niedersachsens von unbehandelten Varianten der Herbizidversuche für ein Herbizidresistenzmonitoring gesammelt und im Biotest untersucht.

Die ausgedroschenen und gesiebten Samenproben wurden trocken in Papiertüten aufbewahrt, bis sie vor der Aussaat zur Brechung der Dormanz 5 Tage bei -18 °C in der Tiefkühltruhe gelagert wurden. Im Anschluss daran erfolgte unmittelbar die Aussaat der Samenproben in Biotesttöpfe (Jiffy-Rundtöpfe 8 x 8 cm geschlitzt) in 4 Wiederholungen je Versuchsvariante. Die Töpfe (Jiffy-Pots) standen in Pflanzschalen (40 x 60 cm), auf deren Boden eine Plastikfolie sowie darauf ein Bewässerungsfließ passgenau ausgelegt wurden. Bei der Aussaaterde handelte es sich um PSA-Standardboden (lehmgiger Sand pH 6,5, Humusgehalt 1,8 %, ca. 300 g incl. Topf, sterilisiert ca. 60 % WK max.). Das zu testende Samenmaterial wurde zu ca. 20 Samen portioniert, in die mit Erde gefüllten Töpfe gestreut und jeweils mit einer ca. 1 cm dicken Schicht fein gesiebter Erde des PSA-Standardbodens bedeckt. Für das weitere Wachstum im Gewächshaus wurden die folgenden Parameter eingestellt: Tagphase: 20 °C, 16 h Beleuchtung mit 8000 LUX (180 Watt/m²), Nachtphase: 16 °C, 8 h Dunkelheit. Die Bewässerung erfolgte durch bedarfsgerechtes Gießen von unten (Anstau). Eine Ausnahme bildeten die Varianten mit Bodenherbiziden. Hier wurde in den ersten 10 Tagen nach der Applikation von oben gegossen. Der Feuchtigkeitszustand der Töpfe wurde täglich kontrolliert.

Die Applikation erfolgte in einer Schachtner Applikationskabine (Wasseraufwandmenge 200 l/ha; Düse ES 90-02; 1,89 bar; Spritzhöhe 40 cm) für die Bodenherbizide im BBCH 0-7 (je nach Herbizid) und für die Blattherbizide im BBCH 11-12.

Tab. 1 Im Resistenztest 2016 verwendete Herbizide.

Tab. 1 *Herbicides used in the resistance test 2016.*

Mittel	Wirkstoff	Aufwand/ha	Applikations-Termin (BBCH)
Cadou SC	Flufenacet	0,25 l/ha	00
Cadou SC	Flufenacet	0,5 l/ha	00
Boxer	Prosulfocarb	2,0 l/ha	00
Boxer	Prosulfocarb	4,0 l/ha	00
Axial 50	Pinoxaden	0,9 l/ha	11-12
Axial 50	Pinoxaden	1,8 l/ha	11-12
Agil-S + Hasten	Propaquizafop	0,5 l/ha 0,5 l/ha	11-12
Agil-S + Hasten	Propaquizafop	1,0 l/ha + 1,0 l/ha	11-12
Select 240 EC + Para Sommer	Clethodim	1,0 l/ha + 2,0 l/ha	11-12
Select 240 EC + Para Sommer	Clethodim	2,0 l/ha + 4,0 l/ha	11-12
Roundup Powerflex	Glyphosat	3,75 l/ha	11-12
Roundup Powerflex	Glyphosat	7,5 l/ha	11-12
Broadway + Broadway Netzmittel	Pyroxsulam	130 g/ha + 0,6 l/ha	11-12
	Florasulam		
Broadway + Broadway Netzmittel	Pyroxsulam	260 g/ha + 1,2 l/ha	11-12
	Florasulam		

21 und 28 Tage nach der Herbizidapplikation wurde gemäß EPPO-Richtlinie PP1/93(3) der Wirkungsgrad bonitiert. Für die Bewertung des Wirkungsgrades wurden folgende Grenzwerte zugrunde gelegt: Wirkungsgrad 0-50 %: resistente Proben, Wirkungsgrad 51-80 %: moderat resistente Proben und 81 – 100 %: für sensitive Proben.

Im Biotest sollten möglichst verschiedene Wirkungsmechanismen der Herbizide geprüft werden. Daher richtete sich die Auswahl der Herbizide nach Ihrem Wirkungsmechanismus. Behandelt wurde dann mit handelsüblichen Gräserherbiziden in einfacher und doppelter Aufwandmenge.

Die getesteten Herbizide haben sich über die vergangenen 8 Jahre leicht geändert. Die Tabelle 1 zeigt die Pflanzenschutzmittel, die in der Resistenzprüfung 2016 eingesetzt wurden. Als Referenz wurde ein sensitiver Standard von *Apera spica-venti* der Firma Herbiseed, Berkshire mit getestet.

Im ersten Jahr der Resistenzuntersuchung bei *Apera spica-venti* (2009) wurden neben den ACCase-Hemmern Clethodim (Select 240 SC) und Pinoxaden (Axial 50 EC) hauptsächlich ALS- Wirkstoffe wie Iodosulfuron (Husar OD), Pyroxsulam (Broadway) und Sulfosulfuron (Monitor) getestet, um zu untersuchen, ob Sulfonylherbizide noch wirken. Bereits im Jahr 2010 musste das Untersuchungsportfolio zugunsten der Bodenherbizidwirkstoffe Flufenacet (Cadou SC) und Prosulfocarb (Boxer) umgestellt werden. Bei den Sulfonylherbiziden beschränkte man sich auf die gegen *Apera spica-venti* wirksamsten Vertreter Iodosulfuron (Husar OD), Pyroxsulam (Broadway). Die ACCase-Hemmer Clethodim (Select 240 SC) und Pinoxaden (Axial 50 EC) blieben in der Testung. In 2014 fanden die Wirkstoffe Flumioxazin (Sumimax) und Cycloxydim (Focus Ultra) Einzug in die Biotestung. 2015 wurde Sumimax gegen Diflufenican (Diflanil 500 SC) ausgetauscht. Aufgrund nachlassender Wirkung und Bedeutung in der Praxis musste Iodosulfuron (Husar OD) gegen Glyphosat (Roundup PowerFlex) ausgetauscht werden.

Im Sommer 2015 wurden einige im Biotest resistente Herkünfte auf eine TSR (Taget-Site-Resistenz) untersucht.

Darüber hinaus erfolgte eine Auswertung der Schlaghistorien. Diese Schlaghistorien entstammen den Feldern, auf denen die Samenproben für die Biotestungen gezogen wurden und beschreiben Kulturart, Bodenbearbeitung und Herbizideinsatz auf den beprobten Flächen.

Die exakte Verbreitung von *Apera spica-venti* in Niedersachsen wurde auf Landkreisebene von den Pflanzenschutzberatern der Bezirksstellen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen geschätzt.

Ergebnisse

Die geschätzte Verbreitung von *Apera spica-venti* auf Landkreisebene, die die Pflanzenschutzberater der Bezirksstellen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen durchgeführt haben, ist Abbildung 1 zu entnehmen.

Auf den leichten Standorten, auf denen in Niedersachsen *Apera spica-venti* vorkommt, werden hohe Bestandesdichten aufgrund erhöhter Lageranfälligkeit nicht angestrebt, obgleich auf diese Weise das Unkraut eher verdrängt würde. Auf diesen Standorten sind mehrfache Herbizidbehandlungen (Herbst und Frühjahr) mittlerweile Standard. Darüber hinaus ist die Aussaatstärke beim Wintergetreide an den Aussaattermin gebunden. In den daraus resultierenden dünneren Beständen des früh ausgesäten Wintergetreides entwickelt sich das einher auflaufende Ungras nahezu ohne nennenswerte Konkurrenz. Der Einfluss der Bodenbearbeitungsform (wendend/nicht wendend) hängt von dem Unkrautbesatz in der Vorfrucht und der Witterung im Bearbeitungszeitraum ab. Nicht wendende Bodenbearbeitung hat sich auf den leichteren Standorten in Niedersachsen in den vergangenen 10 Jahren durchgesetzt. Dies wiederum begünstigt den Auflauf und die Vermehrung von Unkrautsamen von *Apera spica-venti*.

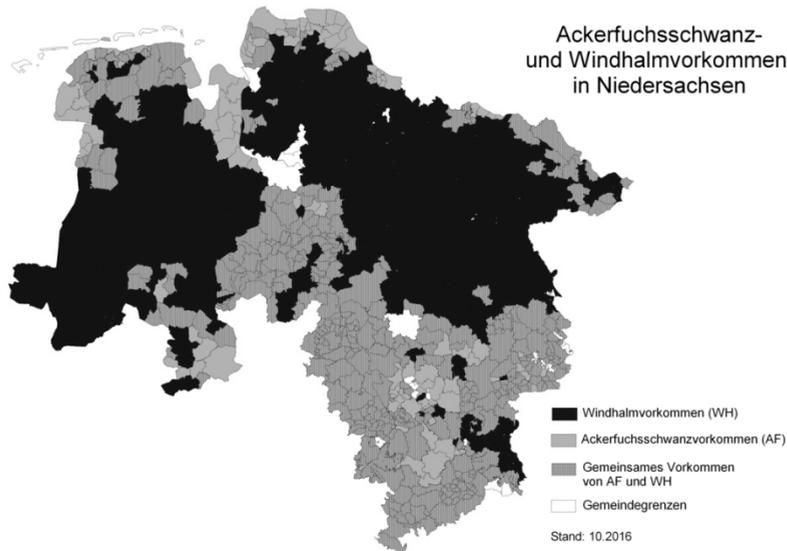


Abb. 1 Vorkommen von *Apera spica-venti* in Niedersachsen.

Fig. 1 Occurrence of *Apera spica-venti* in Lower Saxony.

In den Jahren 2009 bis 2016 wurden 269 Samenproben von *Apera spica-venti* aus allen Teilen Niedersachsens von unbehandelten Varianten der Herbizidversuche für ein Herbizidresistenzmonitoring gesammelt. Die Ergebnisse der Biotestungen sind in Abbildung 2 dargestellt.

Von den 269 *Apera spica-venti*-Verdachtsproben wurden 165 Proben auch mit Iodosulfuron (Husar OD) getestet (Abb. 2). Bei 50 % dieser untersuchten Herkünfte wurden Wirkungsgrade unter 50 % gefunden. Nur 35 % der untersuchten Verdachtsproben weisen eine noch ausreichende Wirkung mit Wirkungsgraden von 81 – 100 % gegenüber *Apera spica-venti* auf. Pyroxsulam (Broadway) wirkt auf ca. 50 Standorten gegen *Apera spica-venti* noch sicherer. Der Wirkungsabfall auf unter 50 % wird für 24 % der untersuchten Herkünfte bestätigt. Der ACCase-Hemmer Propaquizafop (Agil-S) zeigt schon in fast 50 % der untersuchten Verdachtsproben von *Apera spica-venti* keine ausreichende Wirkung mehr. Die ACCase-Hemmer aus der Untergruppe der DIMs, wie Cycloxydim (Focus Ultra) und Clethodim (Select 240 EC), sind auf den untersuchten Monitoringflächen noch zu 100 % wirkungssicher.

Gegenüber dem Bodenherbizidwirkstoff Prosulfocarb (Boxer) wird eine 98 % Wirkung bestätigt, bei Flufenacet (Cadou SC) sogar noch eine Wirkung von 100 %. Flumioxazin (Sumimax) wirkt auf den *Apera spica-venti* auf 94 % der untersuchten Standorte, aber der Wirkstoff Diflufenican (Diflanil 500 SC) ist nur noch auf 62 % der untersuchten Standorte mit Wirkungsgraden über 50 % einzusetzen. Aufgrund dieser schlechten Wirkungen von Iodosulfuron (Husar) und Diflufenican (Diflanil 500 SC) sind diese Produkte im Biotest ausgetauscht worden.

Erste Resistenzentwicklungen in *Apera spica-venti* gegen die Wirkstoffgruppe DEN mit dem Wirkstoff Pinoxaden, enthalten in Axial 50 SC, wurden in Niedersachsen bereits auf 14 % der Standorte entdeckt, 81 % der untersuchten Proben zeigen noch ausreichende Wirkungen.

Im Sommer 2015 wurden einige im Biotest resistente Herkünfte auf eine TSR untersucht worden. Von den 14 untersuchten Herkünften wies eine Probe eine Resistenz an der Position Trp574 auf und 13 Proben an der Position Pro197.

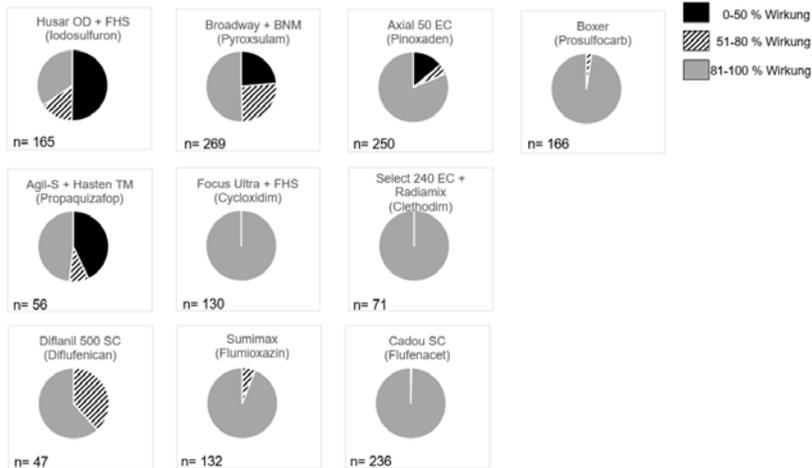


Abb. 2 Überblick über untersuchte *Apera spica-venti*-Samenproben im Biotest 2009-2016.

Fig. 2 Overview of studied *Apera spica-venti* seed samples in the bioassay 2009-2016.

Auf ersten Standorten in Niedersachsen sind Mehrfachresistenzen (multiple Resistenzen) gegen unterschiedliche Wirkstoffklassen bei *Apera spica-venti* festzustellen. Die Auswertung in Abbildung 3 veranschaulicht diese multiplen Resistenzen.

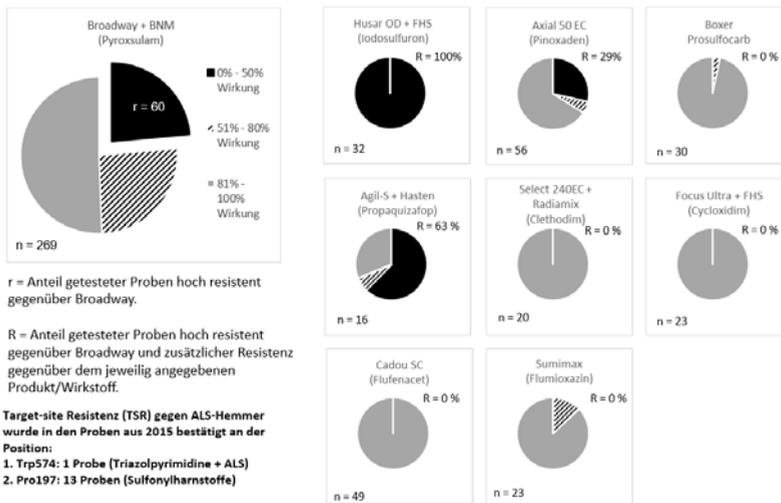


Abb. 3 Multiple Resistenz in *Apera spica-venti* bis 2016.

Fig. 3 Multiple resistance in *Apera spica-venti* until 2016.

Von den untersuchten 269 Verdachtsproben, bei denen Resistenzen bei *Apera spica-venti* im Biotest vermutet wurden, wiesen 60 Standorte eine Resistenz gegen Broadway (Pyroxulam) auf (Abb. 3). Diese 60 (r) Herkünfte wurden in der jeweiligen Untersuchung auch gegen andere Wirkstoffe getestet. Die gegen Broadway resistenten *Apera spica-venti*-Populationen wiesen gleichzeitig eine Resistenz gegenüber Pinoxaden (Wirkstoffgruppe DEN, enthalten in Axial 50 EC und Traxos) und Propaquizafop (Wirkstoffgruppe der FOP, enthalten in Agil-S) auf.

Auf vielen Flächen in Norddeutschland werden Sulfonylherbizide zur Bekämpfung von *Apera spica-venti* eingesetzt. Die Frage, wie sicher in den niedersächsischen Fruchtfolgen Sulfonylherbizide noch sind, soll die folgende Auswertung der Schlagdaten in Abbildung 4 zeigen. Es ergeben sich folgende Aussagen: mit zunehmender Anzahl Winterungen in der Fruchtfolge (>3 Mal Winterung in 5 Jahren) verschlechtert sich über die Jahre der Bekämpfungserfolg von Husar OD (Iodosulfuron) gegen *Apera spica-venti*. Von 38 im Biotest resistent beurteilten Herkünften (< 50 % Wirkung von Husar OD im Biotest) hatten alle (100 %) Herkünfte Blattfrüchte in der Fruchtfolge, aber auch in 100 % der Fälle mehr als 3 Mal in 5 Jahren Getreide in der Fruchtfolge. 58 % dieser Herkünfte verzichteten vollständig auf den Pflug. Darüber hinaus setzten 92 % der Betriebe mehr als einmal pro Jahr ALS-Hemmer ein.

	Husar OD / Husar plus	Husar OD / Husar plus	Broadway	Broadway
	<50% Wirkung	51-79 % Wirkung	<50% Wirkung	51-79 % Wirkung
	n=38 Proben mit mind. 5 jähr. Schlaghistorie	n=12 Proben mit mind. 5 jähr. Schlaghistorie	n=25 Proben mit mind. 5 jähr. Schlaghistorie	n=13 Proben mit mind. 5 jähr. Schlaghistorie
	Angaben in % der Schlaghistorien	Angaben in % der Schlaghistorien	Angaben in % der Schlaghistorien	Angaben in % der Schlaghistorien
≥ 3x Wintergetreide in 5 Jahren in der Fruchtfolge	100	92	100	92
Blattfrüchte in Fruchtfolge	100	100	100	100
Pflugverzicht	58	33	76	38
Wiederholter Einsatz von ALS-Hemmer in der Fruchtfolge				
≥ 1 x ALS- Hemmer in 5 Jahren	92	83	96	92

Abb. 4 Auswertung von Schlagdaten.

Fig. 4 Evaluation of field history data.

Die gleiche Auswertung auf Flächen, auf denen *Apera spica-venti* als gegenüber Broadway resistent bestätigt wurde (< 50 % Wirkung), ergibt das identische Bild wie bei Husar OD. In 100 % der Fälle wurde mehr als 3 Mal in 5 Jahren Getreide in der Fruchtfolge angebaut, alle Herkünfte hatten Blattfrüchte in der Fruchtfolge und auf 96 % der Flächen kam mehr als einmal in 5 Jahren ein ALS-Hemmer zum Einsatz. Auch der völlige Pflugverzicht schlägt sich in der Minderwirkung von Broadway nieder. In 96 % der untersuchten Fälle stammten die gegen Broadway resistenten Herkünfte von Flächen, auf denen vollkommen auf den Pflug verzichtet wurde.

Diskussion

Die ackerbaulichen Strukturen in Niedersachsen mit ihren teils sehr einseitigen Fruchtfolgen und einem hohen Wintergetreideanteil in der Fruchtfolge (Wintergetreide – Wintergetreide – Winterraps; Wintergetreide – Wintergetreide - Kartoffel/Zuckerrübe) fördern das Auftreten von Gräsern wie *Apera spica-venti*. Die modernen Weizensorten sind zudem aufgrund ihres Längenwachstums und der geringeren Bestockung der Einzelpflanze wenig konkurrenzfähig gegenüber dem *Apera spica-venti*.

Das Auftreten von herbizidresistenten Unkräutern ist die Folge eines Selektionsprozesses durch den häufigen Einsatz von Herbiziden mit demselben Wirkmechanismus bzw. dem gleichen Wirkstoff. Dabei werden Biotypen mit einer natürlichen Widerstandsfähigkeit in ihrer Entwicklung begünstigt. Der Anteil resistenter Biotypen in der Population nimmt stetig zu und es entstehen zunehmend Bekämpfungsprobleme.

Die Entwicklung der Resistenzen bei *Apera spica-venti* durchläuft in Niedersachsen ein gleichbleibendes Muster. Durch jahrzehntelangen Einsatz von Isoproturon (IPU) (HRAC C)

verbreitete sich zunächst die Resistenz gegenüber diesem Bodenherbizid. Als dieser Wirkstoff nicht mehr ausreichende Gräserwirkung zeigte, wurden ALS-Hemmer (HRAC B) eingesetzt, die auch eine gewisse „Nebenwirkung“ gegen dikotyle Unkräuter aufweisen, wie sie auf den typischen Wildhalmstandorten vermehrt auftreten. Sulfonylherbizide wie Flupyrsulfuron (Ciral SX), Propoxycarbazone (Attribut), Sulfosulfuron (Monitor) und zuletzt auch Iodosulfuron (Husar OD) zeigen eine zunehmend reduzierte Wirkung auf *Apera spica-venti*, wie auch aus dem beschriebenen Biotest hervorgeht. Einzig Pyroxsulam (Broadway) ist auf vielen Flächen das letzte wirksame Sulfonylherbizid. *Apera spica-venti* entwickelt gegenüber ALS-Hemmern, neben den metabolischen Resistenzen, zunehmend Target-Site Resistenzen (TSR) mit sehr hohen Resistenzfaktoren. Alarmierend ist besonders der Umstand, dass zunehmend mehrere Mutationsstellen gefunden werden und damit die gesamte Gruppe der ALS-Hemmer durch sogenannte Target-Site Resistenzen (TSR) betroffen ist (siehe Abb. 5). Mit Pinoxaden (Axial 50 EC) beginnt auf den ersten niedersächsischen Flächen auch die Gruppe der ACCase-Hemmer (HRAC A) eine ehemals sichere Wirkung einzubüßen. Damit dieser Trend gestoppt wird, müssen neben rigorosem Wirkstoffwechsel in der Rotation auch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen zur Resistenzvermeidung ergriffen werden. Das Resistenzrisiko steigt in einer engen Getreidefruchtfolge insbesondere dann, wenn ortstypisch ein sehr früher Saatzeitpunkt gewählt oder wenn vollständig auf den Pflug verzichtet wird. Besonders bei frühen Saatterminen, also im September und Oktober, kann sich ein stärkerer Unkrautbesatz vor Winter entwickeln und damit auch ein größeres Herbizidresistenzrisiko entstehen.

Erst bei der Erweiterung der Fruchtfolge mit Blattfrüchten wird ein Herbizidwirkstoffwechsel im Sinne eines Resistenzmanagements ermöglicht. Weiterhin sind besonders der späte Saattermin sowie der Pflugeinsatz und eine intensive Stoppelpbearbeitung als Maßnahmen zu nennen, um den Unkrautbesatz vor der ersten Herbizidmaßnahme und damit das Risiko einer Herbizidresistenz deutlich zu reduzieren. Bei Saatterminen bis Ende November ist die Keimrate von *Apera spica-venti* deutlich geringer als bei früheren Saatterminen. Der Einsatz von Glyphosat vor oder kurz nach Saat hilft zusätzlich einen starken Ungrasbesatz zu reduzieren, kann aber eine extensive Stoppelpbearbeitung im Sinne des Resistenzmanagements nicht vollständig ersetzen.

Auf Flächen wo erstmals eine Herbizidresistenz zu beobachten ist, kann ein einmaliges Unterpflügen, gefolgt von einem mehrjährigen Pflugverzicht die weitere Ausdehnung einer resistenten Population besonders bei *Apera spica-venti* mindern. Die Überlebensdauer der Samen im Boden beträgt beim *Apera spica-venti* bis zu fünf Jahre.

Gruppe	A	B	C	E	F	G	K	N	O
Wirkmechanismus	ACCase-Hemmer	ALS-Hemmer	Photosynthese-Hemmer	PPO-Hemmer	Carotinoidsynthesehemmer	ESPS-Hemmer	Zellwachstumshemmer	Lipidsynthese-Hemmer	Synthetische Auxine
	FOPs*/DENS	Flupyrsulfuron Propoxy-carbazone			Diffufenican		Flufenacet	Prosulfocarb	MCPA*
	und DIMs*	Mesosulfuron	CTU		Clomazone* Aclonifen		Pendimethalin	Ethofumesat	Dichlorprop* Mecoprop* Quinmerac Dicamba
Wirkstoffe		Metsulfuron-methyl	Metamitron	Flumioxazin Carfentrazone Bifenox	Flurtamone*	Glyphosate	Metazachlor		Aminopyralid Clopyralid Picloram Fluoroxypyr 2,4-D*
		Iodosulfuron Imaxamox Triflussulfuron Rimsulfuron Nicosulfuron*	Metribuzin Terbutylazin Lenacil		Triceton		S-Metolachlor Dimethenamid Pethoxamid*		
Resistenzrisiko gegen Gräserarten	sehr hoch	hoch	mittel- hoch	sehr gering	sehr gering	gering- mittel	mittel	gering	gering
Getreide	Axial, Ralon Super, Sword, Traxos	Absolute M, Atlantis, Attribut, Calliban, Broadway, Concert SX, Husar OD, Lexus, Viper	Carmina, Fenikan Lentipur 700, Toluron 700 SC, Trinity*	Sumimax, Fox, Lotus, Oratio 40	Bacara forte, Fenikan, Herold SC, Carmina 640, Othello	Roundup u.a.	Activus SC*, Cadou SC, Herold SC, Pontos, Stomp Aqua*, Mailbu*, Picono*, Trinity*	Boxer*	Starane, U 46 M*, U 46 D*, Duanti, Ariane C,
Kartoffeln		Cato	Sencor WG, Artst Goltix Titan/Gold, Maxpro	Shark	Bandur		Artist	Boxer*	
Rüben	Agil S, Fusilade Max, Galant Super, Panarex, Targa Super, Select, Focus Ultra	Debut		—	—	Roundup u.a.	Spectrum	Ethosath 500	Rebell Ultra
Raps		CL-Vantiga und CL-Cientiga nur in Clearfield-Sorten	—	—	Centium*, Cirrus*, Echelon*, Gamit 36 CS		Bracan*, Butisane, Colzor Trio*, Nimbus*, Kerb, Quantum*, Milestone	—	Bullsan Top, Effigo, Rebell Ultra, Lontrel
Mais	Focus Ultra nur in Duo Sorten	Accent, Adengo, Arigo*, Cato, Mottivell*, Samson*, Milagro*, Kehvin*, Principal*, MaisTer	Artett, Calaris, Bromoterb, Gardo Gold, Successor T*	—	Adengo, Arigo, Elumis, Laudis, Callisto, Calaris, Mikado	Roundup u.a.	Activus SC*, Clio Super, Dual Gold, GardoGold, Stomp Aqua*, Successor T*	—	Mais Banvel, Effigo

Abb. 5 Wirkstoffgruppen nach HRAC und Wirkungsmechanismen mit deren Resistenzrisiko (Auszug).

Fig. 5 Groups of active substances according to HRAC and mechanisms of action with their risk to resistance (abstract).

Mit zunehmendem Anteil von Sommerungen und Blattfrüchten in der Fruchtfolge wird zusätzlich eine nachhaltige Minderung des Samenpotentials erreicht, da die Samen von Ungräsern nur eine begrenzte Zeit keimfähig sind und nach der Bodenbearbeitung zur Sommerung deutlich vermindert auflaufen.

Ein jährlicher Wechsel zwischen Blatt- und Halmfrucht kann die Verunkrautung mit *Apera spica-venti*, im Vergleich zu Fruchtfolgen mit 67 % Getreideanteil, fast halbieren. Sorten mit guter Konkurrenzskraft sowie homogene, lückenfreie Bestände helfen ebenfalls den Unkrautbesatz zu unterdrücken und unterstützen so ein effektives Resistenzmanagement.

Fazit

Die Herbizidresistenzen haben sich auf sandigen, leichtstrukturierten Böden der Lüneburger Heide und im Weser-Ems-Gebiet sowie auf den leichten Lehmböden des mittleren Niedersachsens bei *Apera spica-venti* ausgebreitet. Der Wirkstoffwechsel, auch über die Fruchtfolge gesehen, ackerbauliche Maßnahmen (angepasste Fruchtfolgen, intensive Bodenbearbeitung und spätere Saattermine) und der Einbau von Sommerungen in die Fruchtfolge sowie ein einmaliger Pflugeinsatz, damit die resistenten Samen vergraben werden, gewährleisten auch weiterhin eine erfolgreiche Landwirtschaft.

Literatur

- WOLBER, D. M., 2017: Herbizidresistenzen: Das Ende der Fahnenstange ist erreicht. Getreidemagazin **3**, 23-29.
 WOLBER, D. M., 2014: Resistenzentwicklungen von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Gemeiner Windhalm) in Niedersachsen 2013 - zunehmend auch gegen Pinoxaden. Julius-Kühn-Archiv **443**, 280-286.
 EPPO-RICHTLINIE PP1/93(3): Weeds in cereals. European and Mediterranean Plant Protection Organisation.

Sanierung einer ALS-resistenten *Apera spica-venti*-Population - Ein drei-faktorieller Dauerversuch

Remediation of an ALS resistant Apera spica-venti population - a three-factorial long-term experiment

Lisa Köhler^{1*}, Goßwirth Warnecke-Busch¹, Dirk Michael Wolber¹, Matthias Breiding²



¹Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Wunstorfer Landstraße 9, 30453 Hannover

²Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Wunstorfer Landstraße 11, 30453 Hannover

*Korrespondierende Autorin, Lisa.Koehler@lwk-niedersachsen.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.022

Zusammenfassung

Anhand eines mehrjährigen Versuches soll eine Fläche, mit hohem Besatz an Windhalm (*Apera spica-venti*), in der Region Hannover saniert werden. Der Windhalm auf der Fläche ist ALS-resistent. Die Fruchtfolge war und ist Winterraps- Winterweizen-Winterweizen. Der Versuch wurde 3-faktoriell aufgebaut. Einen ersten Faktor stellte die Bodenbearbeitung (einmaliger Einsatz eines Pfluges/ Mulchsaat) dar. Die Anwendung von Kerb Flo (Propyzamid) (mit Kerb Flo/ ohne Kerb Flo) in Rapsjahren wurde als zweiten Faktor in den Versuch integriert. Als dritter Faktor wurde die Behandlung mit 9 verschiedenen Getreideherbiziden in Jahren mit Getreideanbau angelegt. Anhand der Versuchsergebnisse stellte sich heraus, dass ein einmaliges Pflügen den Windhalmbesatz in den darauffolgenden 3 Jahren deutlich senkte. Der Besatz nahm jedoch mit den Jahren wieder zu. Der Einsatz von Kerb Flo hatte einen positiven Effekt auf die Anzahl der Windhalmrispen im folgenden Getreidejahr vor allem in der Grubbervariante. Auch aufgrund des Wirkstoffwechsels (Kerb Flo, HRAC: K) war die Anwendung von Kerb Flo positiv zu bewerten. Die Getreideherbizide zeigten unterschiedliche Wirkungen. Dabei hatte das Herbizid Broadway (Florasulam und Pyroxulam, HRAC: B) in der Wirkung am schlechtesten abgeschnitten, wodurch nochmals die ALS Resistenz bestätigt wurde. Die beste Lösung im Bereich der Anwendung von Getreideherbiziden, auch hinsichtlich der Resistenzsituation, war die Anwendung des Bodenherbizides Herold SC (Diflufenican und Flufenacet) im Herbst.

Stichwörter: ALS-resistenter Windhalm, *Apera spica-venti*, Bodenbearbeitung, drei-faktorieller Dauerversuch, Windhalmbekämpfung

Abstract

A multi-year experiment, was started to remediate a field with a high population of wind bent grass (*Apera spica-venti*), in the region of Hanover. The wind bent grass on this field is ALS resistant. The crop rotation is winter rape-winter wheat-winter wheat. The experiment consisted of 3-factors. The first factor presented the tillage (ploughing once/mulch drilling). The application of Kerb Flo (propyzamide) in years when rape was grown (with Kerb Flo / without Kerb Flo) was integrated into the experiment as a second factor. The third factor was the treatment with 9 different cereal herbicides in years of cereal cultivation. The results show, that ploughing once significantly reduced the population of wind bent grass in the subsequent 3 years. However, the population increased again afterwards. The application of Kerb Flo, mainly in plots with cultivator treatment, had a positive effect on the number of wind bent grass plants in the following year of cereal cultivation. In addition, the Kerb Flo application had a positive effect as it caused a rotation in the mode of action (Kerb Flo = HRAC group K). The application of cereal herbicides led to different effects. The herbicide Broadway (florasulam and pyroxulam, HRAC: B) showed the most reduced efficacy on the wind bent grass population. This once more confirmed the ALS resistance of the wind bent grass on this field. Concerning the cereal herbicides best results were obtained when the soil herbicide Herold SC (diflufenican and flufenacet) was applied in autumn.

Keywords: ALS resistant wind bent grass, *Apera spica-venti*, control of *Apera spica-venti*, 3-factorial experiment, tillage

Einleitung

Eine mit hohem Windhalmbesatz (*Apera spica-venti*) geprägte Fläche in der Region Osthannover zeigte im Jahr 2012 eine ALS-Resistenz. Dabei handelt es sich sowohl um eine metabolische als auch um eine Target-Site-Resistenz. Auf dieser Fläche wirkten Frühjahrsherbizide wie Broadway (Florasulam und Pyroxulam) oder Attribut (Propoxycarbazone) nicht mehr. Faktoren für den

hohen Windhalmbesatz auf der Fläche sind die pfluglose Bodenbearbeitung seit dem Jahr 2000 und die Fruchtfolge Winterraps-Winterweizen-Winterweizen. Aufgrund des hohen Windhalmbesatzes auf der Fläche, soll anhand eines Dauerversuches überprüft werden, ob es möglich ist mithilfe von Bodenbearbeitung, welche sich durch einen einmaligen Pflugeinsatz im Jahr 2012 kennzeichnet, und Herbizid-Behandlungen (Kerb Flo im Raps und Herbizide im Getreide) den Besatz auf ein akzeptables Maß zu verringern und somit die Fläche zu sanieren.

Material und Methoden

Im Jahr 2012 wurde der 3-faktorielle Versuch als Dauerversuch in der Region Osthannover angelegt. Der erste Faktor beschreibt die Bodenbearbeitung, die im Jahr 2012 einmalig vorgenommen wurde. Dabei wurde die Hälfte der Versuchsfläche, welche insgesamt 60 x 41 m misst, 25 cm tief gepflügt. Auf der anderen Hälfte der Versuchsfläche wurde die Mulchsaat weiter durchgeführt. Die Fruchtfolge der Versuchsfläche wurde mit Winterweizen-Winterweizen-Winterraps beibehalten. In dem Jahr 2012/13 und 2015/16 mit Rapsanbau wurde in beiden Bodenbearbeitungsvarianten jeweils eine Hälfte der Fläche mit dem Herbizid Kerb Flo (1,5 l/ha; Propyzamid) behandelt. In Jahren mit Weizenanbau wurden 10 Parzellen je Bodenbearbeitungsvariante und Kerb Flo Variante eingemessen. Diese wurden im Herbst und Frühjahr mit unterschiedlichen Getreideherbiziden behandelt (Tab. 1).

Tab. 1 Herbizid-Behandlungsmaßnahmen in den Jahren 2012 bis 2017.

Tab. 1 *Herbicide treatments in the years 2012 to 2017.*

Herbizid-behandlung Herbst 2012	Herbizid-behandlung Herbst 2013/ Frühjahr 2014	Herbizid-behandlung Herbst 2014	Herbizid-behandlung Herbst 2015	Herbizid-behandlung Herbst 2016/ Frühjahr 2017
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Kontrolle	Bacara forte 0,8 l/ha	ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Kontrolle
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Herold SC 0,4 l/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Herold SC 0,4 l/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Bacara Forte 1,0 l/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Bacara Forte 0,8 l/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Herold SC 0,2 l/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Vertex 0,08 kg/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Sumimax 0,06 kg/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	ohne Kerb Flo	Bacara Forte 0,8 l/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Broadway 0,13 kg/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	ohne Kerb Flo	Broadway 0,13 kg/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	FHS (Broadway) 0,6 l/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	Kerb Flo 1,5 l/ha	FHS (Broadway) 0,6 l/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Arelon Top 2,0 l/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	ohne Kerb Flo	
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Broadway 0,13 kg/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	Kerb Flo 1,5 l/ha	Prüfmittel 0,07 l/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	FHS (Broadway) 0,6 l/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Axial 50 0,9 l/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Axial 50 0,9 l/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	ohne Kerb Flo	Axial 50 0,9 l/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Axial 50 0,9 l/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	ohne Kerb Flo	Broadway 0,13 kg/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Broadway 0,13 kg/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	Kerb Flo 1,5 l/ha	FHS (Broadway) 0,6 l/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	FHS (Broadway) 0,6 l/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	ohne Kerb Flo	Lentipur 700 1,5 l/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Broadway 0,275 kg/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	ohne Kerb Flo	Broadway 0,275 kg/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	FHS (Broadway) 1 l/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	Kerb Flo 1,5 l/ha	FHS (Broadway) 1 l/ha
ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Axial 50 1,2 l/ha	Bacara forte 0,8 l/ha	ohne Kerb Flo Kerb Flo 1,5 l/ha	Axial 50 1,2 l/ha

Jede Parzelle wurde mit einer Breite von 2,5 m und einer Länge von 8 m angelegt. Alle Parzellen wurden zweifach wiederholt. Im Jahr 2014 fand im Herbst eine einheitliche Behandlung des ganzen Versuchs mit Bacara Forte (Diflufenican, Flufenacet und Flurtamone) statt. Diese Behandlung wurde praxisüblich durchgeführt. Die Aufwandmenge von 0,8 l/ha Bacara Forte wurde gewählt, um einen Restbesatz von Windhalm zu erhalten, um Differenzierungen der unterschiedlichen Behandlungen in den darauffolgenden Jahren zu erhalten. Zusätzliche Pflanzenschutzmaßnahmen zur Bekämpfung von dikotylen Unkräutern wurden durchgeführt. Diese Maßnahmen wurden auf der gesamten Versuchsfläche gleichmäßig angewendet. In den Jahren mit Weizenanbau wurde die Wirkung der 9 unterschiedlichen Herbizide auf die Windhalmpopulation bonitiert. Die Bonitur im Jahr 2014 erfolgte am 24.06.2014, die Bonitur im Jahr 2015 am 06.07.2015, die Bonitur im Jahr 2016 am 14.04.2016 und die Bonitur im Jahr 2017 erfolgte am 14.06.2017. Im Jahr 2014, 2015 und 2017 wurde die Anzahl der Windhalmrисpen pro m² in den unbehandelten Kontrollen erfasst. In den behandelten Parzellen wurde die Wirkung der Herbizide bewertet. Im Jahr 2013 wurden die Windhalmpflanzen pro m² im Raps gezählt. Im Jahr 2016 wurde der Besatz an Windhalm im Raps anhand des Deckungsgrades in den behandelten Parzellen ermittelt. Die Darstellungen der Ergebnisse zeigen jeweils den Mittelwert aus den zwei Wiederholungen. Vor der Ernte des Winterweizens wurden Samen der Windhalmpopulationen aus einzelnen Parzellen entnommen und im Gewächshaus auf Resistenzen untersucht.

Ergebnisse

Der einmalige Pflugeinsatz im Jahr 2012 bewirkte eine deutliche Reduktion des Windhalmbesatzes im Winterrops im Frühjahr 2013, wobei die Anzahl an Windhalmrисpen pro m² von ca. 450 auf 0,8 Pflanzen/m² im gegrubbertem Bereich ohne Kerb Flo und auf 0,08 Pflanzen /m² im gepflügten Bereich ohne Kerb Flo stark sank. In den Kerb Flo behandelten Bereichen, sowohl in der Pflug- als auch in der Grubbervariante war kein Windhalm mehr zu finden.

Eine deutliche Reduktion des Windhalmesatzes wurde auch in dem darauffolgenden Weizenanbaujahr 2013/14 deutlich. Dabei wurde in der Pflugvariante, sowohl mit als auch ohne Kerb Flo, der geringere Besatz an Windhalm mit jeweils 185,5 Rispen/m² (Pflug, mit Kerb Flo) und 155,5 Rispen/m² (Pflug, ohne Kerb Flo) als in der Grubbervariante erfasst. Bei der Grubbervariante hingegen konnte der Besatz an Windhalm durch die Anwendung von Kerb Flo um fast 30 % reduziert werden (Abb. 1).

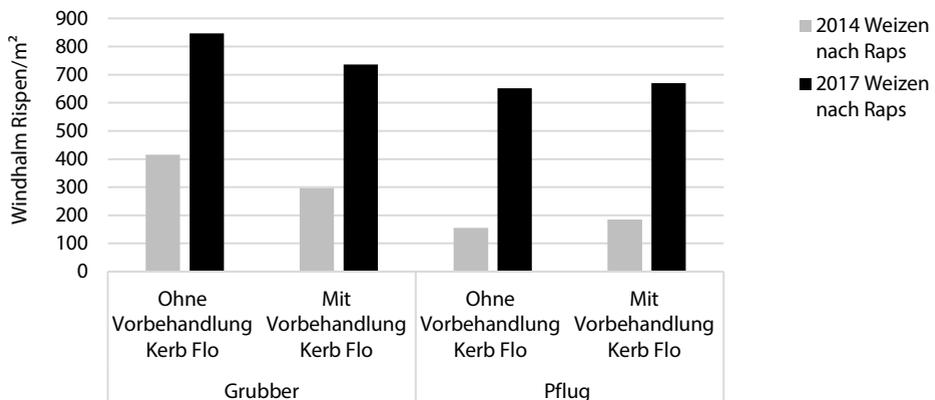


Abb.1 Einfluss der Bodenbearbeitung und der Anwendung von Kerb Flo in der Vorfrucht Winterrops 2012/13 und 2015/16 auf den Besatz mit Windhalm in der Folgekultur Winterweizen in den Jahren 2014 und 2017.

Fig. 1 Influence of tillage and the application of Kerb Flo in winter oilseed rape 2012/13 and 2015/16 on the *Apera spica-venti* population in the following culture winter wheat in the years 2014 and 2017.

Durch die einheitliche Behandlung des Stoppelweizens im Herbst 2014 mit Bacara Forte (0,8 l/ha; Diflufenican, Flufenacet, Flurtamone) waren die Windhalmbestände im Jahr 2015 in den Kontrollen sehr gering. Dennoch zeigte sich ein ähnliches Bild, bezüglich der Windhalmldichte im Stoppelweizen in den einzelnen Varianten, wie im Vorjahr. Die höchste Windhalmldichte, die im Durchschnitt 24,5 Rispen pro m² betrug, wurde in der Variante Grubber/ohne Kerb Flo erfasst. Die geringsten Windhalmldichten zeigten sich mit 3,8 und 2 Rispen pro m² bei der Pflugvariante mit Kerb Flo und ohne Kerb Flo (Abb. 2).

Im Frühjahr 2016 fand eine Bonitur des Windhalms im Winterraps statt. Dabei wurde der Deckungsgrad pro Kontrollparzelle ermittelt. Die geringsten Deckungsgrade von 1,5 % und 4,5 % wurden in den Kontrollparzellen Pflug mit Kerb Flo und Grubber mit Kerb Flo ermittelt. Die Parzellen ohne Kerb Flo hatten Windhalm Deckungsgrade von 20 % im Pflug Bereich und 16 % im Grubber Bereich.

Die Windhalmldichte im Weizen im Sommer 2017 war im Vergleich zum Jahr 2014 mit Weizenanbau in den einzelnen Kontrollen doppelt bis mehr als dreifach so hoch. Den stärksten Anstieg an Windhalmrispen wurde in der Variante Pflug ohne Vorbehandlung mit Kerb Flo verzeichnet, dabei stieg der Besatz an Windhalm von 155,5 Rispen pro m² im Jahr 2014 auf 652 Rispen pro m² im Jahr 2017. Der geringste Anstieg war in der Variante Grubber/ ohne Kerb Flo zu sehen. Die Verteilung des Windhalmbesatzes in den einzelnen Varianten zeigte sich wie auch in den Jahren zuvor. Dabei hatte die Variante Grubber/ohne Kerb Flo den höchsten Windhalmbesatz (durchschnittlich 846,5 Rispen pro m²). Die Pflug Varianten, sowohl mit und auch ohne Kerb Flo, unterschieden sich kaum und hatten mit 652 und 670 Rispen pro m² die beiden geringsten Windhalmldichten (Abb. 1).

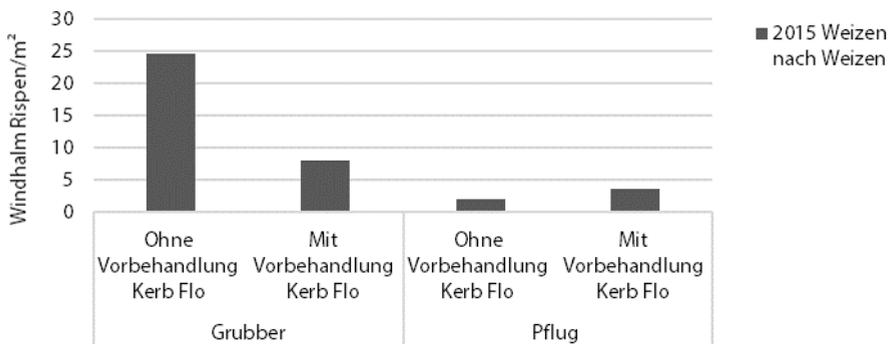


Abb. 2 Einfluss der Bacara Forte- Behandlung (0,8 l/ha) auf den Besatz mit Windhalm im Jahr 2015 in Abhängigkeit von der vorangegangenen Bodenbearbeitung und der Behandlung mit Kerb Flo.

Fig. 2 Influence of the treatment with Bacara Forte (0.8 l/ha) on the *Apera spica-venti* population density in 2015 in relation to earlier tillage and the application of Kerb Flo.

Die eingesetzten Herbizide zeigten in den unterschiedlichen Varianten verschiedene Wirkungserfolge. In der Abbildung 3 wurden 3 von insgesamt 9 dargestellt. Die Auswahl der dargestellten Varianten bezieht sich auf die Wirkungserfolge, dabei wurden der schlechteste Wirkungserfolg und eine Auswahl der besten Wirkungserfolge gewählt. Wirkungen von 97-99 % gegen Windhalm wurden bei der Axial 50 Behandlung mit einer Aufwandmenge von 1,2 l/ha im Jahr 2017 erzielt. Die Aufwandmenge von 1,2 l/ha ist aufgrund der Zulassung nicht auf Windhalmstandorten, sondern nur auf Flächen mit Ackerfuchsschwanz anzuwenden. Die Aufwandmenge für Windhalm ist 0,9 l/ha Axial 50.

Die geringste Wirkung, mit Wirkungsgraden von 87,5-96 % über alle Varianten erzielte das Herbizid Broadway (Florasulam und Pyroxulam), was durch die vorherrschende Resistenzsituation erklärt werden kann. Wirkungsgrade von 98,5-100 % erreichte das Herbizid Herold SC (Diflufenican und Flufenacet) mit einer Aufwandmenge von 0,4 l/ha, appliziert in den Weizenanbaujahren 2013

und 2016. Es erwies sich damit als wirksame Behandlung. Die Axial 50 (Pinoxaden) Anwendung mit 0,9 l/ha im Frühjahr hat in den Weizenanbaujahren 2014 und 2017 mit Wirkungsgraden von 99-100 % gute Ergebnisse erzielt (Abb. 3).

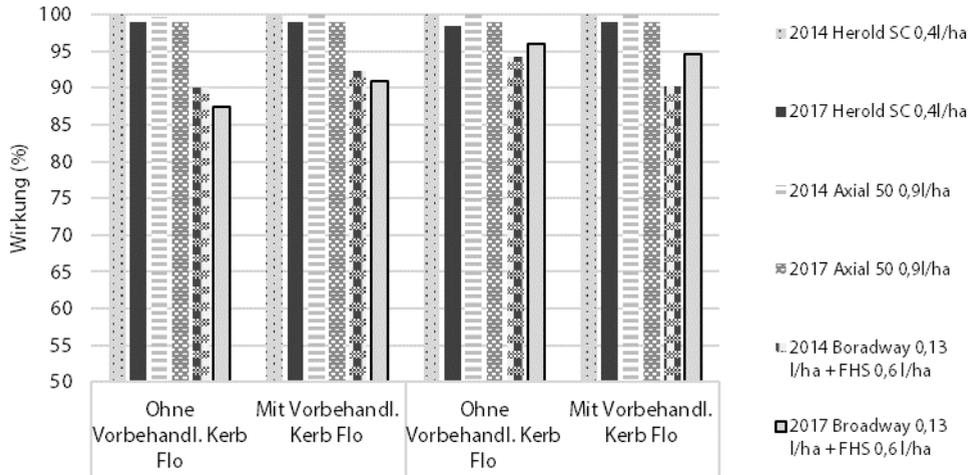


Abb. 3 Einfluss drei verschiedener Getreideherbizide auf den Besatz mit Windhalm in den Jahren 2014 und 2017 in Abhängigkeit von der vorangegangenen Bodenbearbeitung und der Behandlung mit Kerb Flo.

Fig. 3 Influence of the application of cereal herbicides on the *Apera spica-venti* population density in the years 2014 and 2017 in relation to earlier tillage and the application of Kerb Flo.

Diskussion

Aufgrund der hohen Windhalmdichte in den Kontrollen 2017 ist es nicht gelungen, die Fläche allein mit Hilfe eines einmaligen Pflug Einsatzes und der Behandlung mit und ohne Kerb Flo (Propyzamid) zu sanieren. Es sind dafür weitere Herbizidbehandlungen in Jahren mit Weizenanbau notwendig, um die Fläche von Windhalm zu sanieren. Durch den einmaligen Pflugeinsatz, auf der langjährig nicht gepflügten Fläche, wurde ein Großteil der sich im Boden befindlichen Windhalmsamen auf die Pflugtiefe von ca. 25cm vergraben, was die starke Reduktion des Windhalmesbesatzes in den Jahren 2013, 2014 und 2015 zeigte. Die Lebensdauer von Windhalmsamen im Boden wird in der Literatur unterschiedlich beschrieben. Dennoch werden häufig Werte von 1-4 Jahren genannt (LALLF M-V, 2017). Der starke Anstieg des Windhalmbestandes in den jeweiligen Kontrollen im Jahr 2017 kann anhand des Samenpotentials begründet werden, da eine Pflanze zwischen 2000 bis 12000 Samen produzieren kann (LFL BAYERN, 2017). In den Kontrollen gab es kein Jahr, in dem der Windhalm nicht auftrat. Auch die Verbreitung mit dem Wind von Samen aus Nachbarparzellen ist nicht auszuschließen. Die Ergebnisse zeigen, dass einmaliges Pflügen zwar in den Folgejahren den Windhalm reduziert, aber die Bestandesdichte mit den Jahren wieder zunimmt. So kann nach einer gewissen Zeit, in der die Samen im Boden die Keimfähigkeit verlieren, über ein erneutes Pflügen nachgedacht werden.

Für die Praxis sind jedoch noch weitere Faktoren zu berücksichtigen, um den Windhalmesbesatz gering zu halten. Dabei ist die Fruchtfolge, die bei diesem Versuch nur aus Winterungen besteht, nicht außer Acht zu lassen. Durch den Anbau von Sommerungen hätte der Windhalm, welcher ein bevorzugter Herbstkeimer ist, nur begrenzte Entwicklungsmöglichkeiten (KOCH, 1970). In Deutschland hat jedoch der Anbau von Wintergetreide, vorwiegend der Winterweizen mit einer Fläche von 3,16 Millionen Hektar im Jahr 2017, weitaus mehr Bedeutung als der Anbau von Sommerkulturen. 2017 betrug die Fläche mit angebautem Sommergetreide 0,53 Millionen Hektar (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2017). Der Saatzeitpunkt sollte beim Anbau von Wintergetreide möglichst spät erfolgen, weil somit die Gefahr der starken Verunkrautung mit Windhalm verringert wird (KOCH, 1970). Zusätzlich kann durch den Abbau von Sommergetreide der Windhalm im

günstigsten Fall sich nicht aussamen, da dieser zum Zeitpunkt einer frühen Ernte nicht vollständig reife Samen gebildet hat.

Aufgrund der vorherrschenden Resistenzsituation des Windhalm, ist ein Resistenzmanagement hinsichtlich des Wirkstoffwechsels wichtig. Bislang wurden deutschlandweit beim Windhalm Resistenzen gegen Wirkstoffe aus der Gruppe der ALS- (HRAC: B) und Photosynthese Hemmer (HRAC: C), sowie Wirkstoffe aus der Gruppe der ACCase Hemmer (HRAC: A) diagnostiziert (BAYER CROPSCIENCE DEUTSCHLAND GMBH, 2017). Da auch auf der Fläche des Versuches eine ALS Resistenz vorherrscht, ist der Einsatz von Kerb Flo (HRAC: K1) in der Fruchtfolge im Raps ist empfehlenswert, vor allem, wenn nicht gepflügt wird, um den Windhalmbesatz zu unterdrücken und einen Wirkstoffwechsel in der Fruchtfolge durchzuführen. Auch der Vergleich der übrig gebliebenen Windhalmpflanzen im Raps nach der Anwendung von Kerb Flo zeigt die positive Wirkung von Kerb Flo, wobei man im Raps das Windhalmpotential eines Standortes im Vergleich zum Wintergetreide erkennt (NIEHOFF, 2015).

Allgemein gilt, wenn ALS- und ACCase-Hemmer, welche im Frühjahr angewendet werden können, auf bestimmten Flächen nicht mehr wirken, gibt es keine Möglichkeit, den Windhalm im Frühjahr zu bekämpfen (NIEHOFF, 2015). Herbizidapplikationen in den Jahren mit Weizenanbau sollten deshalb möglichst nicht aus Wirkstoffgruppen der ALS- und ACCase-Hemmer kommen. Empfehlenswert ist das Getreideherbizid Herold SC (Diflufenican und Flufenacet) aus der Gruppe der Zellwachstumshemmer (HRAC: K), welches in dem Versuch gute Wirkungen erzielt hatte. Auch der Einsatz von Bacara Forte (HRAC: F) zeigte gute Wirkungserfolge, vor allem in der Pflugvariante. Generell ist die Herbstbehandlung mit Bodenherbiziden in Wintergetreide wesentlich geringer resistenzgefährdeter als die Frühjahrsanwendung (NIEHOFF, 2015).

Literatur

BAYER CROPSCIENCE DEUTSCHLAND GMBH, Unkraut-Resistenz in Deutschland, unter:

<https://agrar.bayer.de/Aus%20der%20Praxis/Resistenz/Basis%20Wissen/Unkraut-Resistenz%20in%20Deutschland.aspx> (abgerufen am 22.08.2017).

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL), Unkraut-Steckbrief Windhalm, unter: https://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/u_steckbriefe/053951/index.php (abgerufen am 22.08.2017).

KOCH, W., 1970: Unkrautbekämpfung. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 53, 87, 90.

LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LALLF M-V), Ungras: Gemeiner Windhalm, unter: <http://www.lallf.de/Windhalm-Gemeiner.550.0.html> (abgerufen am 22.08.2017).

NIEHOFF, T., 2015: Windhalm auf Problemstandorten bekämpfen, Getreidemagazin 5/2015, 23-29.

STATISTISCHES BUNDESAMT, Pressemitteilung vom 17. Mai -163/17 unter:

https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2017/05/PD17_163_412.html (abgerufen am: 17.08.2017).

Sektion 3: Herbizid-Management

Session 3: Herbicide management

Predicting hormesis in mixtures of herbicidal compounds – where are we and how far can we go?

Vorhersage hormetischer Mischwirkungen von herbiziden Wirkstoffen – wo stehen wir und wie weit können wir kommen?

Regina G. Belz^{1*}, Stephen O. Duke²

¹University of Hohenheim, Agroecology Unit, Stuttgart, Germany

²National Center for Natural Products Research, ARS, USDA, Oxford, MS, USA

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

DOI 10.5073/jka.2018.458.023



Abstract

Predicting the occurrence and expression of stimulatory effects of subtoxic doses of phytotoxins or herbicides (hormesis) in mixtures is a challenging and needed task, considering that herbicide exposures in practice often occur in mixtures at low doses due to drift deposition, errors in application, protection by mulch, herbicide resistance, small-scale dose heterogeneity, and other causes. While joint effects in toxin mixtures can be straightforwardly modelled and predicted at toxic doses, the evaluation at stimulatory doses lacks a common statistical approach. Prediction of effective hormetic doses can be adequately facilitated by adopting joint-action models that have been developed for monotonic responses. In contrast, prediction of the magnitude of hormesis as one of the key quantitative features of hormesis is not so easy. Currently, there are no mechanistic models available that could be adopted to predict the hormetic magnitude in mixtures nor is there a generally accepted model available. Nevertheless, some promising attempts were made to predict the hormetic magnitude in herbicidal mixtures demonstrating the fundamental possibility of modelling hormesis in mixtures and providing valuable insights into the phenomenon. The success of these attempts is summarized and future research needs and limits are discussed.

Keywords: Biphasic, dose-response, growth stimulation, joint action, maximum stimulatory response

Zusammenfassung

Die Vorhersage des Auftretens und des Ausmaßes von stimulierenden Wirkungen subtoxischer Dosierungen (Hormesis) in Herbizidmischungen ist eine anspruchsvolle und notwendige Aufgabe, da Herbizid-Expositionen in der Praxis häufig in Mischungen und bei niedrigen Dosierungen erfolgen können, z.B. bei Abdrift, Anwendungsfehlern, Schutz durch Mulchauflagen, Herbizidresistenz oder kleinräumiger Heterogenität der Applikationsmenge. Während Mischungswirkungen im toxischen Dosisbereich zuverlässig modelliert und vorhergesagt werden können, fehlt für die Auswertung im hormetischen Dosisbereich bisher ein einfacher statistischer Ansatz. Es zeigte sich, dass eine Vorhersage von Hormesis-induzierenden Dosierungen durch Modelle, die für monotone Dosis-Wirkungszusammenhänge entwickelt wurden, hinreichend möglich ist. Im Gegensatz dazu gestaltet sich die Vorhersage der Amplitude der Stimulation, als eines der Hauptmerkmale der Hormesis, als schwierig. Derzeit stehen keine mechanistischen Modelle zur Verfügung um die Amplitude in Mischungen vorherzusagen, noch gibt es ein allgemein akzeptiertes statistisches Modell. Dennoch wurden einige vielversprechende Versuche unternommen, die hormetische Amplitude in Mischungen von herbiziden Wirkstoffen vorherzusagen. Diese Versuche zeigen, dass es grundsätzlich möglich ist, eine hormetische Stimulation in Mischungen zu modellieren und dadurch wertvolle Einblicke in das Phänomen der Herbizid-Hormesis zu gewinnen. Die Errungenschaften dieser Versuche werden zusammengefasst und zukünftiger Forschungsbedarf und Grenzen werden diskutiert.

Stichwörter: Dosis-Wirkungsbeziehung, maximale stimulierende Wirkung, Mischwirkung, Wachstumsstimulation, zweiphasisch

Introduction

Soon after the phenomenon of stimulatory effects of low, subtoxic doses of a toxin or stressor was termed "hormesis" in 1943 (SOUTHAM and ERLICH, 1943), hormetic effects of herbicides on plant

growth and/or physiology were first noticed and described in the mid-twentieth century (BELZ and DUKE, 2017; BRITO et al., 2018). Herbicide hormesis has been recorded with almost all herbicide classes and modes of action (BELZ and DUKE, 2017). The phenomenon is believed to be relevant for regular herbicide applications whenever the active dose reaching a plant turns into a subtoxic dose as for example in case of drift deposition, run-off, errors in application, small-scale dose heterogeneity, herbicide resistance, leaf contact of treated and untreated plants, protection by taller plants or mulch, absorption of low doses from soil, etc. (VELINI et al., 2010, 2017; BELZ et al., 2011; BRITO et al., 2018). Since herbicides often act in mixtures, the question if and how herbicide hormesis is affected in mixtures has been studied for about a decade. As chemical exposures in general mostly occur in mixtures and at low doses, the issue is highly relevant for many other toxicological disciplines as well (OHLSSON et al., 2010). Our knowledge on the prediction of mixed chemical exposures is well advanced for the high-dose response zone leading to toxic effects, and joint effects between mixture partners can be straightforwardly statistically modelled (SØRENSEN et al., 2007; RITZ and STREIBIG, 2014). Toxic mixture effects are traditionally evaluated on the dose x , such that an interaction between mixture partners occurs if the dose needed for a certain level of inhibition lowers in mixture (synergism) or increases (antagonism). Our knowledge on the prediction of hormesis in mixtures is instead marginal, and only a few studies have addressed this issue (CALABRESE, 2008b, 2010; BELZ and PIEPHO, 2017). In contrast to a traditional toxicological focus on the dose, mixture effects on hormesis need to address two perspectives: the doses inducing hormesis and the magnitude of hormesis represented by the maximum stimulatory response y_{\max} . The dose levels inducing hormesis, primarily represented by the dose M causing maximum stimulation, are assumed to follow our traditional understanding of mixture effects in the toxic response zone (CALABRESE, 2008a, b). Synergism between mixture partners is thus expected to lower the M dose needed to achieve a maximum stimulation, while antagonism will lead to enhanced M doses. When it comes to the question how an interaction between mixture partners affects y_{\max} , our traditional toxicological perceptions are instead believed to fail. Hence, a different concept of interaction on the magnitude of hormesis is assumed (CALABRESE, 2008a, b).

The hormetic concept of chemical interaction

Hormesis is believed to be constrained in magnitude by limitations in biological plasticity of the boosted organism. The maximum stimulation y_{\max} in a plant trait will generally not differ from a typical boost of 30-60% above the control, independent of an interaction between mixture partners (FLOOD et al., 1985; CALABRESE, 2008a, b). Hence, the changes in y_{\max} observed during an incidence of chemical interaction will not fall short of a 30% stimulation response nor exceed 60% (CALABRESE, 2008b, 2010). Consequently, a chemical interaction in the low-dose range will be most perceivable by changes in doses inducing hormesis rather than in magnitude (CALABRESE, 2008a, 2010). However, this concept of no marked hormetic type of synergism/antagonism on y_{\max} remains, for the most part, a hypothesis that needs empirical support. A prerequisite to do so will be a sound statistical approach allowing for a prediction of the hormetic key features in mixtures.

Statistical modelling of hormesis in mixtures

The modelling of mono- or biphasic (*i.e.* hormetic) dose-response relationships as the basis for comprehensive joint action analyses, and the estimation of several quantitative key features characterizing a hormetic or toxic response (*e.g.* dose M , y_{\max} or ED_K values leading to $K\%$ inhibition) is statistically feasible whether a single compound or multiple compounds are in action (BELZ and PIEPHO, 2012). Most mixture studies consider binary mixtures of two herbicidal compounds. Based on the estimates for the single compounds separately, predefined reference models can be adapted to the data. A few such reference models have been developed and applied for monotonic mixtures (STREIBIG and JENSEN, 2000). Deviations of mixture data from a reference model can be statistically assessed and interpreted in terms of synergism, additivity, or antagonism between mixture partners. On the basis of an adapted reference model or the modelling of a synergis-

tic/antagonistic deviation pattern, the biological performance of any mixture ratio can be predicted.

Predicting interactions on a hormetic dose

Since joint effects are expected to change hormetic doses similar to toxic doses, available statistical mixture models developed for monotonic mixtures are used. The most frequently used reference models for monotonic mixtures are *concentration addition* (CA) and *independent action* (IA) assuming both additivity of doses (SØRENSEN et al., 2007). The IA model or *multiplicative survival model* (MSM) or better known as Colby's method in weed science, assumes a dissimilar mode of action of the mixture partners and multiplicativity of effects up to a maximum response of 100% (STREIBIG and JENSEN, 2000). The IA model is thus inapt to model hormetic doses leading to a response of >100% (BELZ et al., 2008), but has been used for ED_κ predictions in the presence of hormesis (OHLSSON et al., 2010; ZOU et al., 2013). The CA model assumes similarity of action, but proved suitable modeling hormesis for mixtures violating its underlying assumption of similar mode(s) of action (OHLSSON et al., 2010). The mechanisms behind individual stimulatory responses are rarely known, and the stimulatory mode of action at lower doses may differ from the inhibitory mode of action at higher doses (CEDERGREEN, 2010; BELZ and DUKE, 2017). Therefore, selection of a reference model like CA that can accurately describe mixtures of dissimilarly and similarly acting compounds seems most appropriate for the prediction of hormetic doses. If the observed mixture data deviates synergistically or antagonistically from a reference model, the predefined curved isobole models of *Hewlett* or *Vølund* are available to model observed deviation patterns (SØRENSEN et al., 2007). All these models predict mixture effects based on the effective doses of the single compounds tested separately and, hence, a prediction of changes in hormetic doses can only be done if both single compounds induce hormesis (BELZ et al., 2008; BELZ and PIEPHO, 2017). Nearly all previous studies trying to evaluate hormetic doses in mixtures, tried to apply these traditional toxicological models.

Predicting interactions on the hormetic magnitude y_{\max}

At the moment, there is no reference model available that could be adopted, nor is there a generally accepted model for y_{\max} predictions (OHLSSON et al., 2010). In accordance with the hormetic mixture concept and based on empirical observations, BELZ et al. (2008) proposed a *linearity model* for y_{\max} predictions, assuming a linear change of y_{\max} with the mixture ratio. Of the few studies trying to evaluate y_{\max} in mixtures, most tried to apply this linear model, however, there are also other modelling attempts (ZOU et al., 2013, 2017).

Where are we?

The present state-of-the-art in predicting hormesis in mixtures is demonstrated below on the basis of two examples evaluating binary mixture effects of two herbicidal compounds on root elongation of the model plant *Lactuca sativa*.

The first example refers to a mixture of two allelochemicals jointly acting in allelopathy of the invasive weed *Parthenium hysterophorus* L., namely, the sesquiterpene lactones parthenin and tetra-neurin-A (BELZ et al., 2008). Both allelochemicals induced pronounced and reproducible hormesis in root elongation of *L. sativa* as single compounds, separately and in mixture (Fig. 1 up left). Mixture effects of these sesquiterpene lactones on the dose could be adequately assessed using the CA model as a reference independent of the dose level. Mixtures were always additive and significantly followed the CA model or the *Hewlett* isobole model, but with insignificant curvature parameter. Figure 1 (up middle) demonstrates this additivity for the *M* dose level in the form of a fraction plot based on the mixture ratio of parthenin (*x*) versus the associated *M* values (*y*) (BELZ and PIEPHO, 2017). This shows that mixture effects on hormetic doses can be equally predicted with available statistical models developed for monotonic mixtures. Studies with other toxins and/or test systems widely confirmed an adequate predictive power of the CA model and the curved

isobole models for hormesis evaluations (BELZ et al., 2008; OHLSSON et al., 2010; GE et al., 2011). Furthermore, ignoring hormesis by using monotonic instead of biphasic dose-response relationships for ED_K estimations did not notably influence the prediction of joint effects on inhibitory doses (BELZ et al., 2008). Changes in y_{max} in mixtures of parthenin versus tetraneurin-A widely followed the linearity model or remained within the limits of a typical boost. Figure 1 (up right) shows the fraction plot for the mixture ratio of parthenin (x) versus the associated y_{max} values. This finding showed that the linearity model can act as a reference model for y_{max} predictions and supported the hormetic mixture concept in the absence of an interaction on the dose. A subsequent study also revealed the validity of the linearity model in case of additivity of doses (OHLSSON et al., 2010). The question if the linearity model may still hold true in case of synergism/antagonism between mixture partners is addressed in the second example.

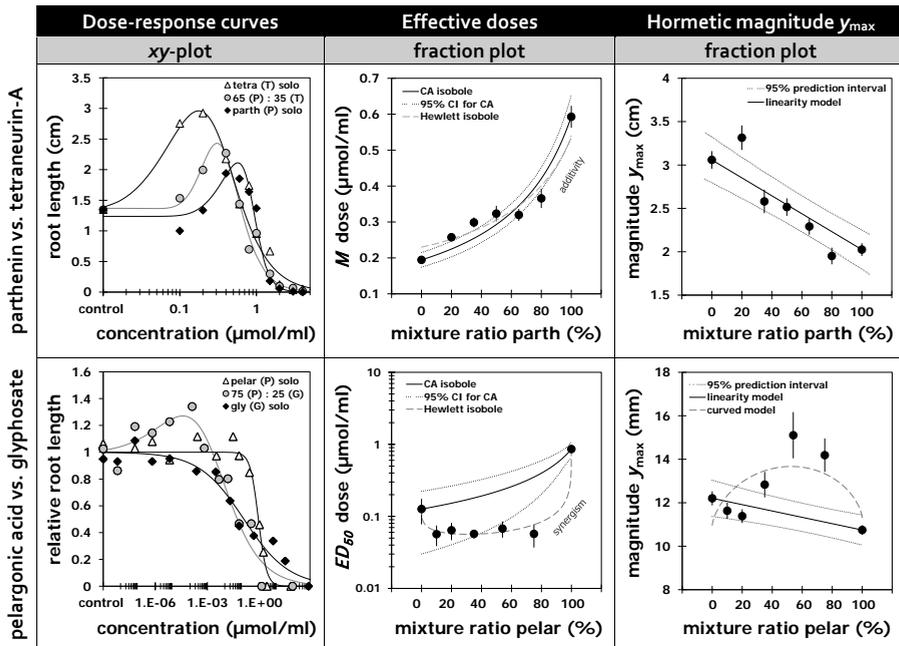


Fig. 1 Selected dose-response relationships for the effect of herbicidal compounds and their mixtures on root length of *Lactuca sativa* and deduced fraction plots for mixture effects on effective dosing (M , ED_{50}) and the maximum stimulatory response y_{max} . (Upper) Mixture of parthenin (parth) versus tetraneurin-A (tetra); (lower) Mixture of pelargononic acid (pelar) versus glyphosate (gly). Error bars represent the standard error. (Data are from BELZ et al. (2008) and BELZ and PIEPHO (2017)).

Fig. 1 Ausgewählte Dosis-Wirkungsbeziehungen für die Wirkung herbizider Stoffe und ihrer Mischungen auf das Wurzelwachstum von *Lactuca sativa* und abgeleitete „Fraction Plots“ für Mischwirkungen auf effektive Dosierungen (M , ED_{50}) und die maximale stimulierende Wirkung y_{max} . (Oben) Mischung von Parthenin (parth) gegenüber Tetraneurin-A (Tetra); (Unten) Mischung aus Pelargonsäure (Pelar) gegenüber Glyphosat (Gly). Fehlerbalken zeigen den Standardfehler. (Daten aus BELZ et al. (2008) und BELZ und PIEPHO (2017)).

The second example refers to a mixture of two herbicides jointly acting in commercial products, namely pelargononic acid and glyphosate (BELZ and PIEPHO, 2017). This mixture is believed to act synergistically, and glyphosate is known for its growth stimulation at low doses in plants (BRITO et al., 2018). Within five independent experiments, both herbicides showed inconsistent hormesis as single compounds separately and in mixture. Figure 1 (lower left) shows an experiment where the single compounds lacked hormesis in contrast to a mixture of 75% pelargononic acid and 25% glyphosate. As a consequence, mixture effects on hormetic doses could not be predicted. Evaluat-

ing mixture effects on ED_K doses against CA consistently revealed additivity at the ED_{20} level, changing to strong synergism at ED_{90} . Figure 1 (lower middle) shows one of two experiments where strong synergism appeared already at the ED_{50} level. Despite this synergism, changes in y_{max} in mixtures roughly followed the linearity model in three out of the five experiments. Observed atypical y_{max} deviations from linearity proved significant, however, changes always remained within the limits of a typical hormetic boost. Figure 1 (lower right) shows one experiment with y_{max} values deviating atypically from a linear trend and rather following a one-sided, curved trend of higher than expected values. Noticeably, both experiments with curved y_{max} trends were those with strong synergism already at the ED_{50} level. This indicated that the linearity model may only apply for mixtures showing no/minor interactions at ED_{50} level, while y_{max} predictions seem more critical for strongly interacting mixtures. Despite this, the hormetic mixture concept did not seem to be violated even in case of strong synergism. Judging on this discrepancy, between a statistically significant deviation pattern for y_{max} from linearity and a fulfillment of the hormetic concept of chemical interaction, will be one of the future challenges in this area.

How far can we go?

Despite the progress made in recent years, it is evident that there are still difficulties associated with the prediction of hormesis in mixtures. A major limit is the fact that the occurrence and expression of hormesis is the result of a complex, dynamic interplay of a low-dose exposure with several influencing factors (e.g., growth conditions, time of exposure, plant age, etc.) so that a herbicide is not always and everywhere consistently hormetic (CEDERGEEN et al., 2007; BELZ and DUKE, 2014). If hormesis is missing with the single compounds tested separately, traditional reference models for dose predictions cannot be defined. Therefore, it is yet impossible to predict the mixture hormetic effect when the hormetic dose features of single mixture partners are missing (ZOU et al., 2013). Moreover, when hormesis does not occur in certain mixtures, a putative deviation pattern for hormetic doses cannot be evaluated.

Assessing joint effects on y_{max} is independent of the occurrence of hormesis, as in case of a lack of hormesis, the y_{max} equals the upper level of the monotonic dose-response relationship (BELZ and PIEPHO, 2017). Despite this, absence of hormesis in any of the mixture ratios may impact y_{max} evaluations as well by making atypical deviations from the linearity model more likely. An absence of hormesis results in a maximum response of 100%, while under hormesis the maximum response is expected to range typically between 130-160% of control. A response difference of up to 60% is more likely to be statistically significant and to represent an atypical deviation that violates the linearity model. This was, for example, the case in the pelargonic acid versus glyphosate study where atypical y_{max} deviations from linearity were observed if hormesis was lacking with just both single compounds or with almost all mixtures (BELZ and PIEPHO, 2017). Therefore, an absence of hormesis can play a great role for conclusions drawn from hormetic mixture studies (BELZ and PIEPHO, 2017). In addition, even if hormesis occurs consistently over mixture ratios and as a typical boost, a moderate change in y_{max} of between 30-60% may be statistically significant against the linearity model (BELZ and PIEPHO, 2017). This discrepancy between a significant, non-linear change indicating a real mixture effect on y_{max} and biological performance still in line with the hormetic mixture concept should be tackled in the future, e.g. by specifying model deviation ratios that are still in line with the hormetic mixture concept (BELZ and PIEPHO, 2017). BELZ et al. (2008) further supposed that atypical deviations may be the result of experimental variance, especially, in case of a low magnitude of hormesis that is more susceptible to variance. Hence, for now it can be noted that mixtures with lower magnitudes of hormesis and strongly interacting mixtures seem more prone to significantly deviate from the linearity model, but may still follow the hormetic concept of chemical interaction (BELZ and PIEPHO, 2017). Or vice versa, the linearity model seems promising to model mixture effects if hormesis is large and reproducible and if no/minor chemical interactions between mixture partners occur (BELZ et al., 2008; BELZ and PIEPHO, 2017).

Studies recording a clear one-sided deviation trend for y_{\max} indicated an interrelation to a strong interaction on the dose, especially at the ED_{50} level (BELZ et al., 2008; BELZ and PIEPHO, 2017). If such one-sided deviation trends can be confirmed for additional mixtures showing strong interactions on the dose, a real mixture effect on y_{\max} may have to be taken into account. Based on this, it should also be considered if synergism/antagonism on the dose leads to a characteristic higher or lower than expected change in y_{\max} (BELZ and PIEPHO, 2017). However, the prediction of any putative atypical trend from the linearity model would first require development of a curved model equation similar to the *Hewlett* or the *Vølund* model for synergism/antagonism on the dose.

Future research should also provide further empirical support for determining if the linearity model can be applied to multiple compound mixtures, not only binary mixtures, and if it can be extrapolated to various biological systems (CEDERGREEN, 2010). A simplification and further refinement of the modelling approach is also needed, since modelling several biphasic dose-response relationships at once as necessary for adapting predefined mixture models can be a rather exhausting task.

Conclusions

The experience we currently have with the prediction of hormesis in mixtures is still limited. At the moment it seems that hormetic doses can be reliably predicted with available statistical models provided that all mixture partners and mixture ratios induce hormesis. Predictions of the magnitude of hormesis are independent of the occurrence of hormesis and seem to follow a linear trend according to the hormetic concept of chemical interaction provided that no/minor interactions occur in mixtures. Least predictable are changes in magnitude of hormesis if a strong interaction occurs in mixtures.

Against the background of the high relevancy and great concern of mixed low-dose exposures for many toxicological disciplines, including herbicide toxicity, an incorporation of hormesis into mixture toxicity evaluations should be more often done in future. There are still some open challenges and obvious limitations in predicting hormesis in mixtures, but the phenomenon deserves more study to understand its full impact on herbicidal joint actions.

Acknowledgement

RG Belz was funded by the German Research Foundation (DFG individual grant BE4189/1-3).

References

- BELZ, R.G., N. CEDERGREEN and H. SØRENSEN, 2008: Hormesis in mixtures – Can it be predicted? *Science of the Total Environment* **404**, 77–87.
- BELZ, R.G., N. CEDERGREEN and S.O. DUKE, 2011: Herbicide hormesis – can it be useful in crop production? *Weed Research* **51**, 321–332.
- BELZ, R.G. and H.P. PIEPHO, 2012: Modelling effective dosages in hormetic dose-response studies. *PLoS ONE* **7**(3): e33432. doi:10.1371/journal.pone.0033432.
- BELZ, R.G. and S.O. DUKE, 2014: Herbicides and plant hormesis. *Pest Management Science* **70**, 698–707.
- BELZ, R.G. and H.P. PIEPHO, 2017: Predicting biphasic responses in binary mixtures: pelargonic acid versus glyphosate. *Chemosphere* **178**, 88–98.
- BELZ, R.G. and S.O. DUKE, 2017: Herbicide-mediated hormesis. *ACS Symposium Series* **1249**, 135–148.
- BRITO, I.P.F.S., L. TROPALDI, C.A. CARBONARI and E.D. VELINI, 2018: Hormetic effects of glyphosate on plants. *Pest Management Science* (doi:10.1002/ps.4523).
- CALABRESE, E.J., 2008a: Hormesis: why it is important to toxicology and toxicologists. *Environmental Toxicology and Chemistry* **27**, 1451–1474.
- CALABRESE, E.J., 2008b: Hormesis and mixtures. *Toxicology and Applied Pharmacology* **229**, 262–263.
- CALABRESE, E.J., 2010: Hormesis is central to toxicology, pharmacology and risk assessment. *Human and Experimental Toxicology* **29**, 249–261.
- CEDERGREEN, N., J.C. STREIBIG, P. KUDSK, S.K. MATHIASSEN and S.O. DUKE, 2007: The occurrence of hormesis in plants and algae. *Dose Response* **5**, 150–162.
- CEDERGREEN, N., 2010: Predicting hormesis in mixtures. *Integrated Environmental Assessment and Management* **6**, 310–311.

28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig

- FLOOD, J.F., G.E. SMITH and A. CHERKIN, 1985: Memory enhancement – supraadditive effect of subcutaneous drug-combinations in mice. *Psychopharmacology* **86**, 61–67.
- GE, H.L., S.S. LIU, X.W. ZHU, H.L. LIU and L.J. WANG, 2011: Predicting hormetic effects of ionic liquid mixtures on luciferase activity using concentration addition model. *Environmental Science and Technology* **45**, 1623–1629.
- OHLSOHN, Å., N. CEDERGREEN, A. OSKARSSON and E. ULLERÅS, 2010: Mixture effects of imidazole fungicides on cortisol and aldosterone secretion in human adrenocortical H295R cells. *Toxicology* **275**, 21–28.
- RITZ, C. and J.C. STREIBIG, 2014. From additivity to synergism – A modelling perspective. *Synergy* **1**, 22–29.
- SØRENSEN, H., N. CEDERGREEN, I.M. SKOVGAARD and J.C. STREIBIG, 2007: An isobole-based statistical model and test for synergism/antagonism in binary mixture toxicity experiments. *Environmental and Ecological Statistics* **14**, 383–397.
- SOUTHAM, C.M. and J. ERLICH, 1943: Effects of extract of western red-cedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture. *Phytopathology* **33**, 517–524.
- STREIBIG, J.C. and J.E. JENSEN, 2000: Actions of herbicides in mixtures. In: COBB, A.H. and R.C. KIRKWOOD (eds.): *Herbicides and their mechanisms of action*. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, pp. 153-180.
- VELINI, E.D., M.L.B. TRINDADE, L.R.M. BARBERIS and S.O. DUKE, 2010: Growth regulation and other secondary effects of herbicides. *Weed Science* **58**, 351–354.
- VELINI, E.D., C.A. CARBONARI, M.L.B. TRINDADE, G.L.G.C. GOMES and U.R. ANTUNIASSI, 2017: Variations in pesticide doses under field conditions. *ACS Symposium Series* **1249**, 47–60.
- ZOU, X., Z. LIN, Z. DENG and D. YIN, 2013: Novel approach to predicting hormetic effects of antibiotic mixtures on *Vibrio fischeri*. *Chemosphere* **90**, 2070–2076.
- ZOU, X., X. XIAO, Y. HE, L. HU, C. HU and X. HUANG, 2017: Hormetic effects of metal ions upon *V. fischeri* and the application of a new parameter for the quantitative assessment of hormesis. *Journal of Hazardous Materials* **322**, 454–460.

Niederhaltung von *Bromus sterilis* L. in Wintergetreide - Auswertung der Ringversuche der Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen von 2014-2017

Suppression of Bromus sterilis L. in winter cereals - Evaluation of field trials in the states Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia

Ewa Meinschmidt^{1*}, Katrin Ewert², Christine Tümmler³, Elke Bergmann⁴

¹Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen

²Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Apoldaer Straße 4, 07774 Dornburg-Camburg

³Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Steinplatz 1, 15806 Zossen OT Wünsdorf

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

*Korrespondierende Autorin, ewa.meinschmidt@smul.sachsen.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.024



Zusammenfassung

Die Taube Trespe gehört in den ostdeutschen Bundesländern noch nicht zur Leitunkrautflora. Durch die getreidebetonten Fruchtfolgen und die pfluglose Bodenbearbeitung wird sie aber gefördert. Im Wintergetreide stehen für die Kontrolle von Tauber Trespe nur wenige Herbizide zur Verfügung. Einige geprüfte Herbizide erzielten in den Versuchen sehr gute Wirkungen, können aber auf Grund der fehlenden Zulassung in der Praxis nicht eingesetzt werden. Gemäß der Zulassung ist nur eine „Niederhaltung zwecks Führung der Kultur“ möglich. Um Empfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis zu geben, wurden Versuche der Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen aus den Jahren 2014-2017 ausgewertet. In der Versuchsserie wurde die Leistungsfähigkeit der Herbizide aus den HRAC-Gruppen B sowie F1, K1, K3 und N untersucht. Die Applikationen erfolgten an mehreren Behandlungsterminen im Herbst und/oder im Frühjahr sowohl als Soloanwendung als auch als Spritzfolge. Die Applikation bodenwirksamer Herbizide im Herbst zeigte in den meisten Fällen keine ausreichende Wirkung. Die Spritzfolgen erwiesen sich als wirkungssicherer als Einmalbehandlungen. Die Spritzfolge Atlantis WG (Iodosulfuron + Mesosulfuron) + Formulierungshilfsstoff im Herbst gefolgt von Attribut (Propoxycarbazone) im Frühjahr kann auf Grund ihrer sehr guten Wirkung für die Praxis empfohlen werden. Für eine effektive Kontrolle der Trespen sowie zur Resistenzvorbeugung sind ackerbauliche Maßnahmen wie die Einbeziehung des Pfluges in die Bodenbearbeitung, eine vielfältige Fruchtfolge und spätere Saattermine des Wintergetreides in das Bekämpfungsmanagement zu integrieren.

Stichwörter: Herbizidwirksamkeit, Niederhaltung, pfluglose Bodenbearbeitung, Spritzfolge, Wintergetreide

Abstract

Bromus sterilis (barren brom, sterile brome) is currently not a first grade weed in the eastern regions of Germany but is strongly benefited by a cereal dominated crop rotation and an ongoing reduced or ploughless tillage. To control the increasing problem of *Bromus sterilis* there are only a few registered herbicides available at the moment in Germany but some tested non-registered herbicides showed a good efficacy against this grass weed. According to the registration only suppression to get an adequate crop management is an accepted target for the use of herbicides. To elaborate recommendations for farmers a set of studies carried out in Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia was analysed. In those studies the efficacy of HRAC B-, F1-, K1-, K3- and N-herbicides were assessed after single treatments in autumn or application series in autumn and spring. Autumn applications of soil herbicides were mostly less successful. Treatment series were more effective than single applications. The sequence Atlantis WG (iodosulfuron + mesosulfuron + additive) applied in autumn and followed by Attribut (propoxycarbazone) in spring showed as the most successful herbicide combination. In order to counter a further efficient control of *Bromus sterilis* and a prevention of herbicide resistance the right choice of non-chemical controlling measures such as tillage on erosion endangered areas, multiple crop rotation and late autumn drilling are essential measures in the process of integrated pest management.

Keywords: Herbicide efficacy, herbicide sequences, ploughless tillage, suppression, winter cereals

Einleitung

Die Landbewirtschaftung unterlag in den vergangenen 50 Jahren einem starken Wandel. Getreidebetonte Fruchtfolgen, pfluglose Bodenbearbeitung, Vorverlegung des Saattermins sowie ein einseitiger Herbizideinsatz sind Gründe für die Zunahme der Verungrasung mit Gemeinen Windhalm, Acker-Fuchsschwanz und vor allem Trespens (KEES und PFEUFER, 1984; ZWERTGER und EGGERS, 2004; MORAY, 2005; MEINLSCHMIDT und BÄR, 2006). Insbesondere auf Standorten mit Minimalbodenbearbeitung wird eine Zunahme der Trespens beobachtet. Der Anteil der Ackerfläche mit konservierender Bodenbearbeitung betrug im Jahr 2016 in Brandenburg 56 %, in Sachsen 64 %, in Sachsen-Anhalt 68 % und in Thüringen 75 % (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2017). Am meisten sind Vorgewende und Bereiche betroffen, die aus technischen Gründen nicht sauber bearbeitet werden können. Problematisch wird die Ausbreitung der Trespens in Wintergetreide gesehen, da eine sichere Bekämpfung in diesen Kulturen nicht möglich ist. Für die wenigen gegen Trespens zugelassenen Herbizide beschränkt sich die Indikation auf eine „Niederhaltung zwecks Führung der Kultur“. Der Bekämpfungserfolg ist somit maßgeblich von den Anwendungsbedingungen abhängig (MEINLSCHMIDT und PETRICK, 2006). Dies trifft nicht nur auf Einfachanwendungen sondern auch auf Spritzfolgen zu. Zu berücksichtigen ist auch, dass behandelte Trespens Rispen mit fertilen Samen ausbilden können, auch wenn die Pflanzen durch die Behandlung geschädigt (verzweigt) sind (MEINLSCHMIDT et al., 2006).

In den ostdeutschen Bundesländern hat die Taube Trespens die größte Bedeutung. Nach MORAY und HACKER (2001) sowie nach Befragung der Pflanzenschutzdienste der Länder Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen treten weiterhin auf Äckern die Weiche Trespens (*Bromus hordeaceus* L.), die Roggentrespens (*Bromus secalinus* L.) und die Dach-Trespens (*Bromus tectorum* L.) auf. Die Taube Trespens ist ein ausgesprochener Flachkeimer (ZDARKÁKOVÁ et al., 2014). Ihre Samen entwickeln nur eine geringe Dormanz und keimen fast vollständig (85 %) aus maximal 10 cm Tiefe vorwiegend im Spätsommer oder frühen Herbst (EGGERS, 1990).

Die Bekämpfung der Trespens stellt erhöhte Anforderungen an den Praktiker. Der Herbizideinsatz im Wintergetreide kann nur als ein Baustein betrachtet werden. Für Beratungsempfehlungen besonders für die Standorte mit hohem Trespensbesatz ist eine Prüfung verschiedener Bekämpfungsstrategien notwendig.

Material und Methoden

Im Rahmen eines gemeinsamen Versuchsprogramms der Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen wurden in 14 Ringversuchen in den Jahren von 2014 bis 2017 verschiedene Herbizidbehandlungen in Wintergetreide auf die Wirksamkeit gegenüber *Bromus sterilis* geprüft. Die Feldversuche wurden vorwiegend in Streulage, z.T. auch in Versuchsstationen als randomisierte Blockanlage mit 4 Wiederholungen und einer Parzellengröße von ca. 20 m² angelegt. Ihre Durchführung erfolgte gemäß EPPO Richtlinie PP1/93 (3). Für die Versuche in Streulage wurden Schläge mit erwarteter bzw. vorhandener bekämpfungswürdiger Verunkrautung ausgewählt. Hierbei handelte es sich vorwiegend um Flächen mit pflugloser Bodenbearbeitung. Die Bodenarten der Versuchsstandorte differierten von lehmigem Sand bis sandigen Lehm. In den Versuchsstationen erfolgte vor Anlage der Einsatz des Pfluges. Dort wurden für eine gleichmäßige Verungrasung Trespensamen ausgebracht und flach eingearbeitet. Die Wirkung auf Trespens wurde visuell als Reduzierung der Biomasse im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bonitiert. In den Abschlussbonituren kurz vor der Ernte erfolgten die Zählung der Rispen/m² und der Vergleich mit den Werten der unbehandelten Kontrolle. Weiterhin wurde ermittelt, mit welchen dikotylen Unkräutern *B. sterilis* vorkommt. Diese wurden ab einem Deckungsgrad > 2 % erfasst. Der Einsatz der Herbizide erfolgte im Nachauflauf der Kultur als Herbst- und/oder Frühjahrsbehandlung in Einmalanwendung oder als Spritzfolge. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die geprüften Herbizidvarianten.

Zur Ermittlung des Einflusses der Besatzdichte der Trespes auf die herbizide Wirksamkeit, wurden die Wirkungsgrade der Behandlungen zwei Klassen zugeordnet. Dabei erfolgte eine Einteilung der Besatzdichten von 1 bis 200 und von 201 bis 500 Rispen/m².

Tab. 1 Geprüfte Herbizidvarianten gegen *B. sterilis*.

Tab. 1 Tested herbicides used for the control of *B. sterilis*.

Herbizid bzw. Tankmischung	Aufwandmenge (l bzw. kg/ha)	Wirkstoffe (g/ha)	HRAC- Gruppe
Soloapplikation Nachauflauf Herbst			
Atlantis WG + FHS	0,4 + 0,8	2,4 Iodosulfuron; 11,6 Mesosulfuron	B
Herold SC	0,6	120 Diflufenican; 240 Flufenacet	F1 K3
Herold SC +	0,6	120 Diflufenican; 240 Flufenacet	F1 K3
Boxer	1,0	800 Prosulfocarb	N
Herold SC +	0,6	120 Diflufenican; 240 Flufenacet	F1 K3
Beflex	0,5	250 Beflufbutamid	F1
Atlas* + Access (FHS)	4,0 + 1,0	2400 Prosulfocarb; 18 Pyroxulam	N B
Corello* + Dash E.C. (FHS)	3,5 + 1,2	1099 Pendimethalin; 18,9 Pyroxulam	K1 B
Corello* + Dash E.C. (FHS)	3,5 + 1,2	1099 Pendimethalin; 18,9 Pyroxulam	K1 B
+ Malibu	1,0	300 Pendimethalin; 60 Flufenacet	K1 K3
Spritzfolge Nachauflauf Herbst / Frühjahr			
Atlantis WG + FHS /	0,4 + 0,8 /	2,4 Iodosulfuron; 11,6 Mesosulfuron	B
Attribut + Kantor (FHS)	0,06 + 0,27	39,8 Propoxycarbazone	B
Atlantis WG + FHS /	0,4 + 0,8 /	2,4 Iodosulfuron; 11,6 Mesosulfuron	B
Monitor** + Monfast (FHS)	0,02 + 0,2%	16 Sulfosulfuron	B
Othello* /	1,5 /	11,3 Mesosulfuron; 3,8 Iodosulfuron;	B
		75 Diflufenican	F1
Attribut + Kantor (FHS)	0,06 + 0,27	39,8 Propoxycarbazone	B
Soloapplikation und Spritzfolge Nachauflauf Frühjahr			
Atlantis Flex* + BioPower (FHS)	0,33 + 1,0	22,3 Propoxycarbazone;	B
		14,8 Mesosulfuron	
Attribut + Kantor (FHS) /	0,05 + 0,22 /	33,2 Propoxycarbazone	B
Monitor** + Monfast (FHS)	0,0125 + 0,2%	10 Sulfosulfuron	B
Attribut + Kantor (FHS) /	0,075 + 0,34 /	49,7 Propoxycarbazone	B
Monitor** + Monfast (FHS)	0,02 + 0,2%	16 Sulfosulfuron	B
Broadway + Broadway-	0,275 + 1,2	18,7 Pyroxulam; 6,3 Florasulam	B
Netzmittel (FHS)			

FHS: Formulierungshilfsstoff; * Zulassung erwartet; ** Ende der Zulassung: 31.12.2014

Die Darstellung der Wirkungsgrade erfolgte mit Hilfe von Boxplots. Für Aussagen zu den Wirkungsgraden wird in den vorliegenden Ausführungen der Median angegeben. Die größten Ausreißer (Minimum) sind als Kreuze (Min Outlier) gekennzeichnet.

Ergebnisse

Aufgrund erheblicher Inhomogenität in Auflauf und Verteilung der Trespflanzen auf der Fläche konnte für 8 von 22 angelegten Versuchen keine Auswertung erfolgen, sodass sich die Ergebnisse auf 14 Versuche aus den Bundesländern BB, SN, ST und TH aus den Jahren 2014 bis 2017 beschränken.

In den unbehandelten Kontrollen schwankte der Besatz mit Tauber Tresse von 12 bis 457 Rispen/m². Der durchschnittliche Besatz betrug 201 Rispen/m².

Auf 50 % der Versuchsstandorte traten neben der Tauben Tresse auch *Galium aparine* und *Viola arvensis* auf. *Matricaria* spp. wurde auf 40 % der Flächen registriert. Auf jedem fünften Standort kamen *Veronica* spp., *Stellaria media* und *Geranium* spp. vor. *Capsella bursa-pastoris*, Ausfallraps, *Centaurea cyanus*, *Fumaria officinalis*, *Lamium* spp. und *Papaver rhoeas* traten nur in Einzelversuchen auf. Neben *Bromus sterilis* wurde vereinzelt auch *Apera spica-venti*, *B. hordeaceus*, *B. tectorum* und *Poa annua* bonitiert.

Abbildung 1 beschreibt die Wirksamkeiten verschiedener Wirkstoffkombinationen mit Herbstapplikation. Im Vergleich der untersuchten Varianten wurden mit 0,4 kg/ha Atlantis WG + FHS mit ausgewiesener Indikation zur Trespenbekämpfung im Herbst annähernd gleiche Wirkungsgrade (Median: 76 %) wie mit 3,0 l/ha Corello + FHS (78 %), einer Kombination aus Pyroxsulam + Pendimethalin erreicht. Durch den Zusatz von 1,0 l/ha Malibu konnte die Wirkung auf 89 % gesteigert werden. Die beste Bekämpfungsleistung erzielte die Wirkstoffkombination Pyroxsulam + Prosulfocarb (4,0 l/ha Atlas + FHS) mit 98 %. Mit dem ausschließlich bodenwirksamen Herbizid Herold SC (0,6 l/ha) konnte nur eine Teilwirkung (49 %) gegen die Taube Trespe erreicht werden. Auch in Tankmischung mit 1,0 l/ha Boxer ließ sich die herbizide Leistung nur um etwa 10 % steigern.

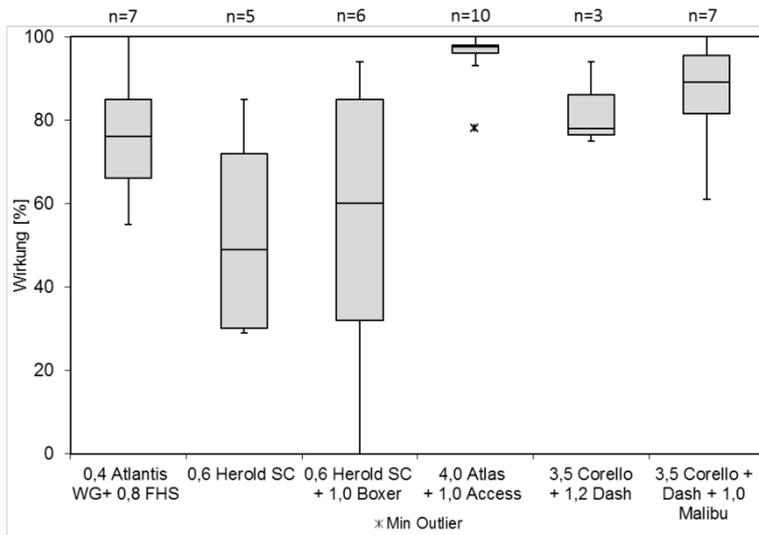


Abb. 1 Wirkung von Herbizidvarianten (%) bei Herbstapplikation gegen *B. sterilis*, Aufwandmengen der Herbizide in l bzw. kg/ha, Zahl oben = Anzahl der Ergebnisse.

Fig. 1 Efficacy of herbicides (%) for autumn application against *B. sterilis*, herbicide use rates in l or kg/ha, figures above = no. of values.

Abbildung 2 verdeutlicht die Vorzüglichkeit der Applikation als Spritzfolgen mit Behandlungsterminen im Herbst und Frühjahr zur Bekämpfung der Tauben Trespe im Vergleich zur Solobehandlung mit 0,4 kg/ha Atlantis WG + FHS im Herbst. Die Wirkungsgrade der verschiedenen Spritzfolgen liegen mit 99 % deutlich über der Wirkung der Herbstbehandlung mit Atlantis WG + FHS (76 %).

Nach statistischer Auswertung aller beernteter Einzelversuche wurde eine gesicherte Ertragssteigerung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (Tukey Test) nachgewiesen. Dabei betragen die relativen Mehrerträge 109 bis 391 % gegenüber denen der unbehandelten Kontrollen. Da nur ein Teil der Versuche beerntet wurde, konnten aus zwei Versuchen die Erträge der Behandlungsvarianten 0,4 kg/ha Atlantis WG + FHS im Herbst mit und ohne Nachbehandlung von 0,06 kg/ha Attribut + FHS im Frühjahr untereinander und mit der unbehandelten Kontrolle verglichen werden (Abb. 3).

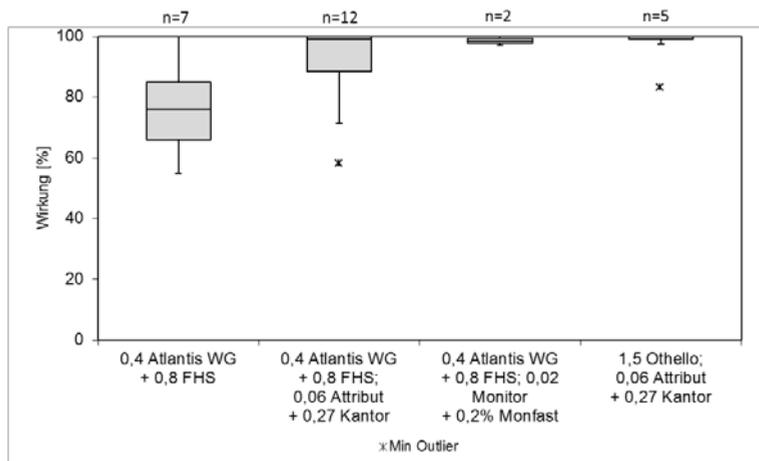


Abb. 2 Vergleich der Wirkung der Herbstapplikation von 0,4 kg/ha Atlantis WG + FHS gegen *B. sterilis* mit Wirkungsgraden von Spritzfolgen mit Behandlungsterminen im Herbst und Frühjahr, Aufwandmengen der Herbizide in l bzw. kg/ha, Zahl oben = Anzahl der Ergebnisse.

Fig. 2 Comparison of efficacy (%) of application of 0.4 kg/ha Atlantis WG + FHS herbicides with herbicide sequences in autumn and in spring against *B. sterilis*, herbicide use rates in l or kg/ha, figures above = no. of values.

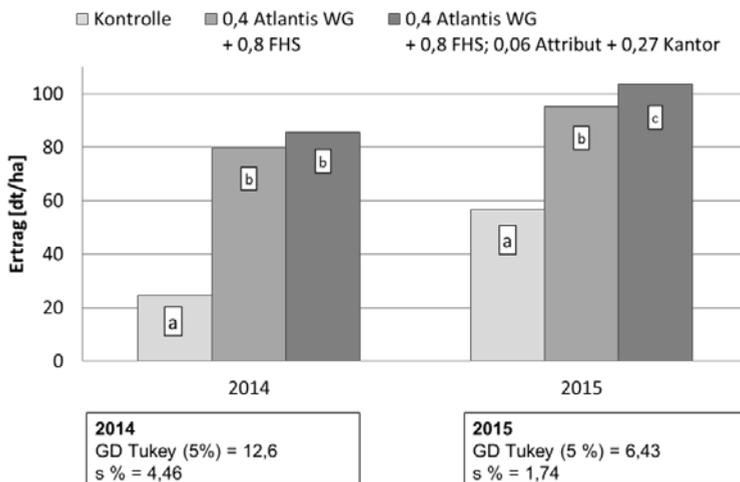


Abb. 3 Einfluss ausgewählter Herbizidvarianten gegen *B. sterilis* auf den Ertrag im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle, Aufwandmengen der Herbizide in l bzw. kg/ha.

Fig. 3 Effect of herbicide treatments against *B. sterilis* on yield, in comparison to untreated control, herbicide use rates in l or kg/ha.

Trotz der unterschiedlichen Wirkungsgrade konnte der tendenziell höhere Ertrag durch die Spritzfolgenbehandlung statistisch nur 2015 abgesichert werden (Abb. 3). Der Mehrertrag im Mittel der Behandlungsvarianten von >40 dt/ha im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bestätigt die Notwendigkeit zumindest einer Bekämpfungsmaßnahme.

Abbildung 4 zeigt die Wirkung der Soloapplikationen und Spritzfolgen auf *B. sterilis* im Frühjahr. Beschränkte sich die Bekämpfung der Tauben Trespe ausschließlich auf das Frühjahr, zeigte die Spritzfolge Attribut + FHS gefolgt von Monitor + FHS deutlich bessere Wirkungsgrade (Median:

98 % bzw. 99 %) im Vergleich zu den Einzelapplikationen der Produkte Atlantis Flex + FHS (83 %) und Broadway + FHS (87 %). Die Erhöhung der Aufwandmengen in der Spritzfolge führte im Median nur zu einer geringen Wirkungssteigerung. Im Durchschnitt (Mittelwert) lagen die Wirkungsgrade der höheren Aufwandmenge mit 92 % jedoch etwa 6 % höher. Auch die geringere Streuung verdeutlicht eine Absicherung der Wirkung.

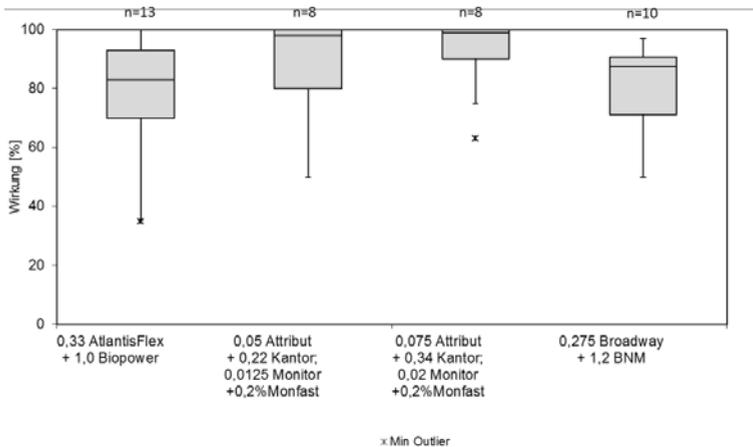


Abb. 4 Wirkung (%) von Soloapplikationen und Spritzfolgen gegen *B. sterilis* mit Anwendungstermin im Frühjahr, Aufwandmengen der Herbizide in l. bzw. kg/ha.

Fig. 4 Efficacy (%) of herbicide single treatments and sequences, application in spring against *B. sterilis*, herbicide use rates in L or kg/ha.

Abbildung 5 stellt einen Vergleich der Wirkungsgrade der verschiedenen Behandlungskonzepte in Abhängigkeit von der Besatzdichte der Tauben Trespe dar. Wie bereits in Abbildung 1 wird deutlich, dass der einmalige Einsatz von Bodenherbiziden im Herbst, meist keine ausreichende Wirkung zeigt. Dabei ist auf Flächen mit geringerem Besatz bei einem Median von 62 % eine breite Streuung der Wirksamkeit auffällig. Für die fünf Versuche auf Flächen mit einem stärkeren Besatz an Trespen wurden Wirkungsgrade von 77 % (Median) erreicht.

Spritzfolgeapplikationen mit einer Anwendung im Herbst und einer weiteren Behandlung im Frühjahr zeigten die besten Bekämpfungserfolge. Bei geringem Besatz mit *B. sterilis* wurden Wirkungsgrade nahe 100 %, bei einem stärkeren Besatz um 94 % (Median) erzielt.

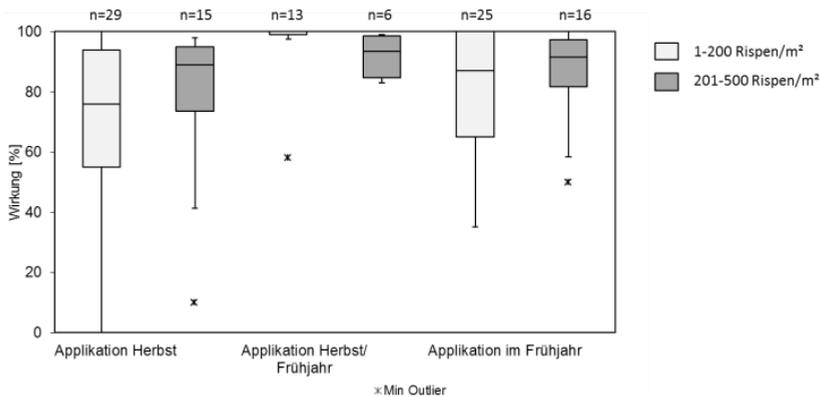


Abb. 5 Vergleich der Wirkungsgrade verschiedener Behandlungskonzepte (%) in Abhängigkeit von der Besatzdichte von *B. sterilis* (Anzahl/m²), dunkelgrau: 201 – 500, hellgrau: 1-200 Rispen.

Fig. 5 Comparison of efficacy of herbicide treatments (%) for control depending on *B. sterilis* heads density (number/m²), darkgrey 201 - 500, lightgrey 1 - 200 heads.

Für die Ergebnisse der Applikationen im Frühjahr wurden Wirkungsgrade von Soloanwendungen sowie Spritzfolgen verschiedener Frühjahrsherbizide zusammengefasst. Im Vergleich zu den Sequenzapplikationen mit Herbstvorlage sind die Bekämpfungsleistungen der Frühjahrsvarianten etwas geringer. Besonders bei geringem Besatz wird das deutlich.

Diskussion

Durch die Zunahme der pfluglosen Bodenbearbeitung in Verbindung mit getreidebetonten Fruchtfolgen gewinnen Trespen in Wintergetreide an Bedeutung. Nach Befragung der Pflanzenschutzdienste der Länder Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen wurde in den letzten Jahren eine Zunahme vorwiegend der Tauben Trepse, jedoch regional in unterschiedlicher Intensität, beobachtet. Auch der Anteil verschiedener Trespenarten in Saatgutmischungen für Straßenbegleitgrün und Böschungen trägt zur Verbreitung bei. Auf den Versuchsstandorten kamen Trespen insbesondere am Feldrand aber auch innerhalb des Schrages, vereinzelt oder nesterweise vor. Auch PETERSEN (2006) beschreibt die Bedeutung der Trespen als verstärktes Problem des Feldrandes. Die Betriebe, die Versuchsflächen mit bekämpfungswürdigem Trespenbesatz zur Verfügung stellten, arbeiten vorwiegend pfluglos. Als Vorfrucht wurde in meisten Fällen Winterweizen bzw. Winterraps angebaut. Da die Möglichkeiten der Fruchtfolgegestaltung oder das Zurückkehren zur wendenden Bodenbearbeitung nur begrenzt möglich sind, konzentriert sich die Bekämpfung auf einen Einsatz von Herbiziden.

Die Wirkungsgrade der für diese Indikation zugelassenen Herbizide weisen eine große Schwankungsbreite auf (BALGHEIM und KIRCHNER, 1998, 2002; GEHRING et al., 2014), was in den von 2014 – 2017 durchgeführten Versuchen bestätigt wurde.

Die Bewertung verschiedener Strategien im Herbst zeigt eine Minderwirkung von Einmalbehandlungen der über den Boden wirkenden Herbizide im Vergleich zu Einmalbehandlungen mit boden- und blattaktiven Wirkstoffen (Atlas, Corello). Diese zwei leistungsfähigen Herbizide sind in Deutschland nicht zugelassen. Mit ausschließlich bodenwirksamen Einmalbehandlungen im Herbst konnten in den hier dargestellten Versuchen nur befriedigende oder nicht mehr ausreichende Wirkungsgrade erzielt werden. Bei ca. 90 % der Anwendungen der bodenaktiven Herbizide wäre in der Praxis eine Nachbehandlung erforderlich, um wirtschaftliche Verluste zu minimieren. Im Gegensatz dazu erreichte KLINGENHAGEN (2015) in Freilandversuchen mit eingesäten Trespensamen nach Anwendung von 0,6 l/ha Herold SC höhere

Wirkungsgrade von 60 bis 98 % gegen Taube Trespe, Aufrechte Trespe und Wehrlose Trespe. Die Flufenacet-Wirkung auf Roggentrespe und Weiche Trespe war 0 %. Als Ursache für die höheren Bekämpfungserfolge bei Tauber Trespe kommen unterschiedliche Produktionsbedingungen in Frage.

Der Einsatz der weniger resistenzgefährdeten Wirkstoffe mit den HRAC-Einstufungen K1, K3 und F1 kann aber der Selektion von resistenten Biotypen weitgehend entgegenwirken. Bisher sind weltweit nur eine Resistenz bei Tauber Trespe gegenüber ALS-Hemmern in Frankreich und eine Resistenz gegenüber ACCase-Hemmern in Hessen (DICKE et al., 2014; HEAP, 2017) nachgewiesen. Die resistenten Biotypen in Hessen stammen von einem Schlag mit pflugloser Bodenbearbeitung und einem hohem Anteil an Winterungen in der Fruchtfolge. Zur Vorbeugung der Resistenz und Entlastung der Wirkstoffe aus der Gruppe A, welche bei Trespenbekämpfung in breitblättrigen Kulturen eine bedeutende Rolle spielen, sollte nach Möglichkeit ein Wirkstoffgruppen-Wechsel erfolgen. Aufgrund der schmalen Herbizidpalette mit Indikation gegen Trespe ist diese Maßnahme nur begrenzt möglich.

Die vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen auch bei starkem Trespenbesatz eine deutliche Vorzüglichkeit für eine Spritzfolgebehandlung mit Applikation im Herbst und Frühjahr. Die Ergebnisse bestätigen die Aussagen von GEHRING et al. (2006). Für die Praxis bedeutet das zwar einen Ausbringungsgang mehr, dafür wird aber eine höhere Wirkungssicherheit erzielt.

Die Versuchsergebnisse stellen die Spritzfolge Attribut + Kantor gefolgt von Monitor + Monfast als die wirkungssicherste Behandlung zur Trespenbekämpfung im Frühjahr dar. Insbesondere unter ungünstigen Witterungsbedingungen, z.B. Vorsommertrockenheit, zeigte diese Maßnahme in den höheren Aufwandmengen eine Wirkungssicherheit (MEINLSCHMIDT et al., 2006). Mit der Beendigung der Zulassung von Monitor ist diese Spritzfolge zurzeit nicht mehr einsetzbar. Einmalbehandlungen mit Broadway bzw. Atlantis Flex im Frühjahr erzielten eine geringere Bekämpfungsleistung.

Hinsichtlich des Bekämpfungserfolges spielte die Pflanzendichte der Trespen in den Versuchen keine entscheidende Rolle. Lediglich war nach den Spritzfolgen im Herbst und Frühjahr bei einer Trespenanzahl von 200 bis 500 Rispen/m² eine größere Streuung der Werte zu verzeichnen.

In Wintergerste sind keine Herbizide zur Bekämpfung von Trespen zugelassen. Unter günstigen Bedingungen (feuchter Boden, Anwendung in den Auflauf der Unkräuter) kann im Rahmen einer geplanten Behandlung mit 0,6 l/ha Herold SC beispielsweise gegen Ackerfuchsschwanz, Gemeinen Windhalm, Einjähriges Rispengras oder einjährige zweikeimblättrige Unkräuter eine Teilwirkung auf gleichzeitig vorhandene Trespen erzielt werden. Auch die Anbaufähigkeit von Winterroggen und Wintertriticale ist bei einem stärkeren Trespenbesatz begrenzt, weil Monitor aufgrund der abgelaufenen Zulassung für die erforderliche Frühjahrsbehandlung in Wintertriticale nicht mehr zu Verfügung steht und die einsatzfähige Aufwandmenge von Attribut (60 g/ha) keine ausreichende Bekämpfungsleistung ermöglicht. Das Herbizid Broadway besitzt keine Zulassung gegen Trespen.

Die Trespenbekämpfung muss Fruchtfolge-übergreifend gehandhabt werden. In Mais und Raps stehen wirksame Herbizide zur Verfügung. Insbesondere der Wirkstoff Propyzamid, z.B. in Kerb Flo oder Milestone, sollte zur Resistenzvorbeugung stärker einbezogen werden. Neben dem konsequenten Herbizideinsatz in breitblättrigen Kulturen sind vor allem ackerbauliche Maßnahmen, wie optimierte Strohverteilung, sorgfältige Bodenbearbeitung, begleitender Glyphosat-Einsatz im Zuge der Saatbettvorbereitung sowie spätere Aussattermine zu berücksichtigen (CUSSANS et al., 1994; ANONYM, 2001). Nach MORAY und HACKER (2001) reduzierten spätere Saattermine den Trespenbesatz um ca. 40 %. Ein Herbizideinsatz zur Bekämpfung von Trespen in Getreide kann nicht als Standardmaßnahme betrachtet werden und sollte gezielt mit leistungsstarken Produkten auf Problemflächen erfolgen.

Literatur

- ANONYM, 2001: Trespen auf dem Vormarsch: Pflanzenschutz Kurier **2**, 16-17.
- BALGHEIM, R. und M. KIRCHNER, 1998: Trespen - ein zunehmendes Problem im hessischen Wintergetreideanbau. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XVI**, 475-483.
- BALGHEIM, R. und M. KIRCHNER, 2002: Hinweise zur Kontrolle von Trespen (*Bromus* spp.) in Winterweizen. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XVIII**, 731-737.
- CUSSANS, G.W., F.B. COOPER, D.H.K. DAVIES und M.R. THOMAS, 1994: A survey of the incidence of the *Bromus* species as weeds of winter cereals in England, Wales and parts of Scotland. Weed Research **34**, 361-368.
- DICKE, D., J. WAGNER, E. CRAMER und M. KIRCHNER, 2014: Erstnachweis einer Wirkortresistenz von Tauber Trespse (*Bromus sterilis*) gegenüber ACCase-Hemmern. Julius-Kühn-Archiv **443**, 304-310.
- EGGERS, T., 1990: Trespen im Ackerbau. Gesunde Pflanzen **42**, 80-84.
- GEHRING, K., S. THYSSEN und T. FESTNER, 2006: Bekämpfung von Trespen-Arten (*Bromus* spp.) im Getreidebau. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XX**, 659-665.
- GEHRING, K., T. FESTNER, S. THYSSEN und H.-J. WÖPPEL, 2014: Herbizid-Frühjahrsbehandlungen zur Bekämpfung von Trespen-Arten (*Bromus* spp.) in Wintergetreide. Julius-Kühn-Archiv **443**, 714-719.
- HEAP, I.M., 2017: International Survey of Herbicide Resistant Weeds. www.weedscience.org. Last Accessed Oktober 10, 2017.
- KEES, H. und H. PFEUFER, 1984: Die Taube Trespse - ein neues Unkrautproblem in Winterungen bei eingeschränkter Bodenbearbeitung. Pflanzenschutz-Praxis **2**, 8-10.
- KLINGENHAGEN, G., 2015: Bekämpfung von Trespenarten. Vortrag zur Veranstaltung Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland. www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/20151210_Trespenvergleich_Klingenhagen.pdf.
- MEINLSCHMIDT, E., R. BALGHEIM, G. SCHRÖDER, I. PITTORF und J. PAPENFUß, 2006: Niederhaltung von *Bromus sterilis* L. in Winterweizen – Bewertung von vierjährigen Ringversuchen der Länder Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XX**, 717-725.
- MEINLSCHMIDT, E. und H. BÄR, 2006: Unkrautbekämpfung im Getreide bei konservierender Bodenbearbeitung. Fruchtfolge beeinflusst Unkrautdruck. Landwirtschaft ohne Pflug **1**, 14-21.
- MEINLSCHMIDT, E. und A. PETRICK, 2006: Trespen im Ackerbau. Getreidemagazin **11**. Jg 4.
- MORAY, R., 2005: *Bromus*-Arten in Winterweizen - Verbreitung, Bedeutung und Populationsdynamik. Dissertation Universität Hohenheim, 136 S.
- MORAY, R. und E. HACKER, 2001: Trespenverbreitung in Deutschland. Getreide **4**, 184-186.
- PETERS, N.C.B., H.A. ATKINS und P. BRAIN, 2000: Evidence of differences in seed dormancy among populations of *Bromus sterilis*. Weed Research **40**, 467-478.
- PETERSEN, J., 2006: Verbreitung, Bedeutung und Bekämpfung von Trespse-Arten im mittleren Westen Deutschlands. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XX**, 289-296.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2017: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Bodenbearbeitung, Erosionsschutz, Fruchtwechsel. Agrarstrukturserhebung 2016.
- ZDARKÁKOVÁ, V., K. HAMOUZOVÁ, J. HOLEC, J. JANKU und J. SOUKUP, 2014: Seed ecology of *Bromus sterilis* L. Julius-Kühn-Archiv **443**, 714-719.
- ZWARGER, P. und T. EGGERS, 2004: Populationsdynamik von Unkräutern – Grundlage für die Entwicklung von Managementstrategien. Vielfalt – Ideen – Fortschritt. Weed Science on the Go. Wissenschaftliches Kolloquium aus Anlass der Verabschiedung von Prof. Dr. Karl Hurlle, 33-42.

Effizienz der chemischen Unkrautregulierung in Mais (*Zea mays*) in Bayern

Efficiency of chemical weed control in maize (Zea mays) in Bavaria

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.2018.458.025



Zusammenfassung

Für die Bewertung der chemischen Unkrautregulierung im Maisanbau konnte Daten von 321 Feldversuchen mit 4203 Prüfvarianten im Zeitraum von 1991 bis 2016 herangezogen werden. Im Untersuchungszeitraum erhöhte sich die hierfür zur Verfügung stehende Herbizidausstattung quantitativ und qualitativ. In Bayern treten im Maisanbau im Mittel vier verschiedene Unkräuter je Standort auf. Neben Gänsefuß- (*Chenopodium* sp.) und Knöterich-Arten (*Polygonum* sp.) dominieren hierbei Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) und Schwarzer Nachtschatten (*Solanum nigrum*). Storchschnabel-Arten (*Geranium* sp.) zeigen seit einigen Jahren eine starke Zunahme in der Befallshäufigkeit. Borstenhirse- (*Setaria* sp.) und Fingerhirse-Arten (*Digitaria* sp.) treten im Maisanbau zunehmend häufiger auf. Als schwer bekämpfbar konnten Grüne Borstenhirse (*Setaria viridis*), Winden-Knöterich (*Fallopia convolvulus*), Fingerhirschen, Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) und Storchschnabel-Arten identifiziert werden.

Die während des Untersuchungszeitraums verbesserte Herbizidausstattung zeigte im Trend eine verbesserte Unkrautbekämpfungsleistung. Anwendungen mit einem mittleren Behandlungsindex von 1,5-2,0 erzielten in 50 % der Fälle eine Unkrautwirkung von > 95 %. In der Analyse von Wirkstoffen und Wirkstoffgruppen konnten spezifische Anwendungsvorteile ermittelt werden. Terbutylazin-haltige Herbizidbehandlungen sind hinsichtlich der Gesamt-Unkrautwirkung und zur Regulierung von Winden-Knöterich und Storchschnabel-Arten vorzüglich. Anwendungen auf der Basis von S-Metholachlor zeigten eine höhere Gesamt-Unkrautwirkung. Triketone als Wirkstoffbasis ermöglichen eine verbesserte Gesamtwirkung und spezifische Wirkung gegenüber Hühnerhirse und Schwarzem Nachtschatten. Herbizidbehandlungen mit gräserwirksamen Sulfonylharnstoffen verfügen über einen absoluten Leistungsvorteil zur Regulierung von Acker-Fuchsschwanz.

Aktuelle Entwicklungen zeigen einen Verlust an Herbiziden für den Maisanbau. Unter diesen Bedingungen besteht ein Bedarf für ein integriertes Unkrautmanagement mit sicherer Bekämpfungsleistung und hoher Umweltverträglichkeit. Der Bayerische Pflanzenschutzdienst wird diesen Entwicklungsbedarf mit entsprechenden Feldversuchsprogrammen in Zukunft weiter unterstützen.

Stichwörter: Gute fachliche Praxis, Resistenzmanagement, Unkrautspektrum, Wirkstoffmanagement

Abstract

A total of 321 field trials in the period from 1991- 2016 provided 4203 data sets for different herbicide treatments. In maize in Bavaria we found on average four different weed species at every field sites. Pigweed (*Chenopodium* sp.), knotweed (*Polygonum* sp.), barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) and black nightshade (*Solanum nigrum*) were found most frequently. The occurrence of geranium species (*Geranium* sp.) increases rapidly in the last years. Difficult-to-control weeds were green foxtail (*Setaria viridis*), wild buckwheat (*Fallopia convolvulus*), crabgrass (*Digitaria* sp.), black-grass (*Alopecurus myosuroides*) and geranium species.

Over all treatments, an average herbicide efficiency of 91% was detected. Treatments with an index of 1.5 – 2.0 achieved a weed control efficiency of > 95% in the half of all cases. Herbicide treatment with terbutylazine as the basic active ingredient provided higher weed control and specific control of wild buckwheat and geranium. S-metholachlor achieved higher over all weed control efficiency. With triketones there is a higher efficiency in control of barnyardgrass and black nightshade. Sulfonylureas with grass weed activity are excellent to control black-grass in maize.

Currently there is a risk of losing herbicides for weed control in maize. As a result there is a need of a novel integrated weed management with secure efficiency in weed control and compatibility of environment. The Bavarian Plant Protection Service will support this progress with specific field trial programs in future.

Keywords: Best management practice, herbicide management, weed diversity, weed resistance management

Einleitung

Der Maisanbau hat in Bayern einen Umfang von 564.000 Hektar. Mais ist damit die im Anbau größte Ackerkultur (STMELF, 2016). Aufgrund der geringen Konkurrenzleistung gegenüber Unkräutern ist im Jugendstadium der Kultur eine effektive Unkrautregulierung die wichtigste und unverzichtbare Pflanzenschutzmaßnahme im Maisanbau. Da Mais nahezu ausschließlich konventionell angebaut wird, erfolgt die Unkrautbekämpfung vorwiegend durch den Einsatz von Herbiziden. In Deutschland sind derzeit 136 verschiedene Herbizide (75 Hauptzulassungen, 61 Vertriebszulassungen) zur Unkrautbekämpfung im Maisanbau zugelassen. In der Summe der Präparate stehen 29 verschiedene Wirkstoffe zur Verfügung (BVL, 2017).

Wie jeder Einsatz von Pflanzenschutzmitteln hat der Herbizideinsatz im Maisanbau einen produktionstechnischen und umwelttechnischen Aspekt. Für den Landwirt steht das Ziel im Fokus, mit einer notwendigen Herbizidaufwandmenge unter möglichst niedrigen Kosten und geringstmöglichen Umweltwirkungen eine ausreichend effektive Unkrautkontrolle zu erzielen. Um für diese Zielsetzung notwendige Informationen für die Fachberatung und Anbaupraxis zu liefern, führt der Bayerische Pflanzenschutzdienst verschiedene produktionstechnische Versuchsprogramme durch. Nachfolgend werden die Ergebnisse von zwei langjährigen Versuchsserien dargestellt und diskutiert. Es handelt sich dabei um Feldversuche zur chemischen Regulierung von vorwiegend dikotylen Unkräutern einschließlich Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) und um Versuche zur Bekämpfung einer intensiven mono- und dikotylen Verunkrautung. Die beiden Versuchsserien werden seit 1991 mit den jeweils zur Verfügung stehenden Herbiziden durchgeführt. Einschließlich des Versuchsjahrgangs 2016 stehen 321 Versuche mit 4203 Prüfvarianten zur Auswertung zur Verfügung. Die hier zur Analyse herangezogenen Daten sind als Fachinformationen des Bayerischen Pflanzenschutzdienstes verfügbar (LBP, 1991-1999; LfL, 2000-2003 und 2004-2016).

Material und Methoden

Die Feldversuche zur Unkrautbekämpfung im Maisanbau wurden im Zeitraum von 1991 bis 2016 in Bayern in allen für den Maisanbau relevanten Ackerbauregionen mit durchschnittlich 12 Versuchen je Jahrgang durchgeführt. Die Versuchsanlage erfolgte nach den Standards für Exaktversuche zur Prüfung der Herbizidleistung (EPPO, 2013) als randomisierte Kleinparzellenanlagen in vierfacher Wiederholung. Die Applikation der Herbizide erfolgte mit personengetragenen oder personengeführten Pressluftparzellenspritzen, die mit abdriftreduzierten Flachstrahlluftinjektordüsen ausgestattet waren. Als Erhebungen wurden Bonituren der Herbizidwirkung und der Kulturverträglichkeit vorgenommen. Ertragserhebungen erfolgten nur in wenigen Einzelfällen und werden daher nicht ausgewertet. Für die statistische Auswertung der Versuchsdaten wurde eine nichtparametrische Rangvarianzanalyse nach Kruskal-Wallis (UNISTAT LTD, 2015) verwendet.

Die Prüfvarianten der einzelnen Versuche bestanden aus Herbiziden bzw. Herbizidkombinationen mit jeweils verfügbaren Präparaten. Je Versuch wurden 13 verschiedene Varianten geprüft. Neben zugelassenen Präparaten wurden auch Prüfmittel im Zeitraum von ein bis drei Jahren vor der Zulassung getestet. Neben langjährigen Vergleichsvarianten wurden Prüfvarianten in der Regel über einen Zeitraum von drei Jahren getestet. Die Präparatekombination und Aufwandmengengestaltung war an einer praxistauglichen Bekämpfungsleistung unter Berücksichtigung der Behandlungskosten und der Umweltverträglichkeit der eingesetzten Wirkstoffe ausgerichtet. Aufgrund der Zulassungssituation veränderten sich die eingesetzten Präparate und das Wirkungsspektrum im Versuchszeitraum (Tab. 1).

Tab. 1 Herbizideinsatz in den Feldversuchen in unterschiedlichen Versuchsperioden.

Tab. 1 *Herbicides used in different trial periods.*

Versuchsperiode – Wirkungsspektrum		
1991 - 1993	2003 - 2006	2013 - 2016
Bromoxynil	Aclonifen	Bromoxynil
Dicamba	Bentazon	Dicamba
EPTC	Bromoxynil	Dimethenamid-P
Fluroxypyr	Clopyralid	Flufenacet
Glufosinat*	Cycloxydim**	Foramsulfuron
Metholachlor	Dicamba	Iodosulfuron
Pendimethalin	Dimethenamid-P	Mesotrione
Pyridat	Flufenacet	Nicosulfuron
Rimsulfuron	Fluroxypyr	Pendimethalin
Sulcotrione	Foramsulfuron	Pethoxamid
Terbuthylazin	Iodosulfuron	Prosulfuron
Thifensulfuron	Mesotrione	Pyridat
	Nicosulfuron	Rimsulfuron
	Pendimethalin	S-Metholachlor
	Pethoxamid	Tembotrione
	Prosulfuron	Terbuthylazin
	Pyridat	Thiencarbazon
	Rimsulfuron	Topramezone
	S-Metholachlor	Tritosulfuron
	Sulcotrione	
	Terbuthylazin	
	Thiencarbazon	
	Topramezone	

*) Unterblattbehandlung; **) nur in Cycloxydim-resistenten Sorten

Die zusammenfassende Auswertung erfolgt auf der Basis von Wirkstoffen und Wirkstoffgruppen. Eine Analyse hinsichtlich der Vielzahl an Präparaten und Prüfvarianten wird dagegen nicht vorgenommen.

Ergebnisse

Unkrautspektrum

Im Mittel der Versuche traten je Versuchsstandort vier verschiedene Leitunkräuter auf. Die am häufigsten vorkommenden Unkräuter sind Gänsefuß-Arten (*Chenopodium* sp.), Knöterich-Arten (*Polygonum* sp.), Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) und mit gewissen Abstand Schwarzer Nachtschatten (*Solanum nigrum*) (Abb. 1). Zu den relativ häufig in Mais auftretenden Ungräsern gehören Borstenhirsen (*Setaria* sp.), Fingerhirsen (*Digitaria* sp.) und Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*).

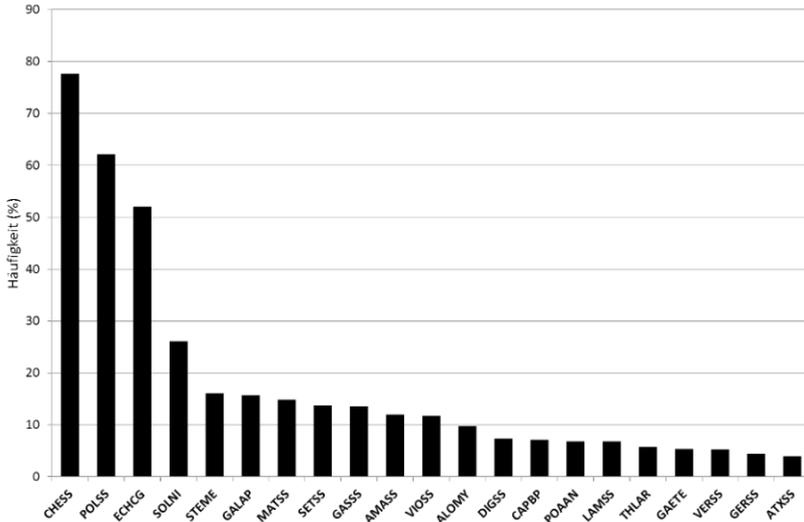


Abb. 1 Im Versuchszeitraum häufig aufgetretene Unkräuter.

Fig. 1 Main weeds in the trial period.

Im Verlauf der Versuchsperiode konnte eine tendenzielle Zunahme der Befallshäufigkeit bei Hühnerhirse, Borstenhirsen und Fingerhirsen festgestellt werden (Abb. 2). Bei Ackerfuchsschwanz hat sich dagegen das Niveau der Befallshäufigkeit im Untersuchungszeitraum nicht verändert. Storchschnabel-Arten (*Geranium* sp.) traten über die gesamte Versuchsperiode mit einer Häufigkeit von < 5 % nicht besonders häufig auf, zeigten jedoch ab den frühen 2000er Jahren eine exponentielle Entwicklung in der Befallshäufigkeit.

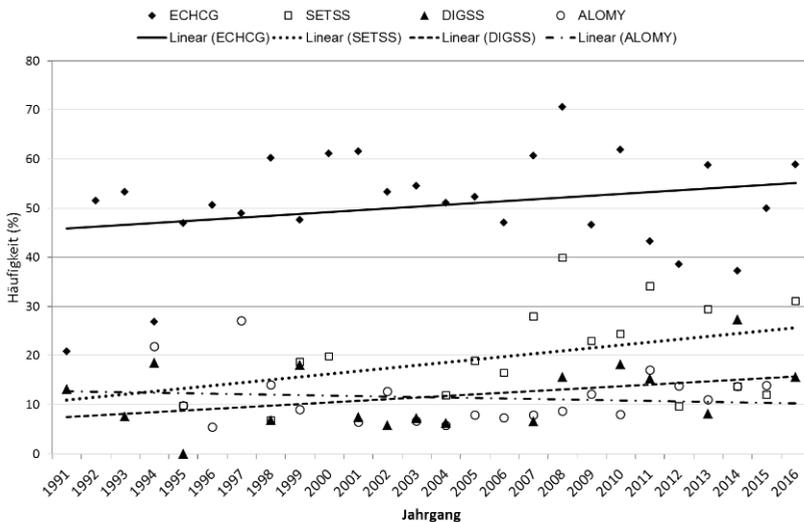


Abb. 2 Entwicklung der Befallshäufigkeit von Leitunggräsern.

Fig. 2 Frequency of occurrence of main weeds in the trial period.

Unkraut-Bekämpfungsleistung

Die Bekämpfungsleistung aller Behandlungsvarianten lag im Mittel des Versuchszeitraums bei einer Gesamt-Unkrautwirkung von 91 %, wobei im Verlauf von 1991 bis 2016 eine tendenzielle Verbesserung der Bekämpfungsleistung festgestellt werden konnte (Abb. 3). Wichtige dikotyle Unkräuter wie Gänsefuß-Arten, Amarant-Arten (*Amaranthus* sp.) und Schwarzer Nachtschatten konnten regelmäßig überdurchschnittlich gut bekämpft werden. Gegenüber wichtigen monokotylen Unkräutern wie Grüne Borstenhirse (*Setaria viridis*), Fingerhirse-Arten und Acker-Fuchsschwanz war die Herbizid-Wirkung allerdings unterdurchschnittlich. Auch die Unkräuter Winden-Knöterich (*Fallopia convolvulus*) und Geranium-Arten zeigten sich als schwieriger regulierbar.

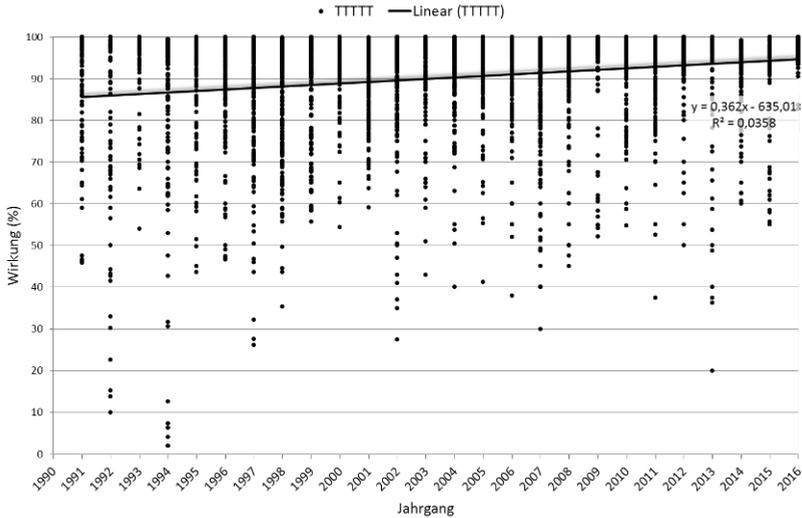


Abb. 3 Entwicklung der Gesamt-Unkrautwirkung.

Fig. 3 Development of total weed control efficiency.

Die Gestaltung der Herbizidaufwandmengen ergab einen Behandlungsindex (BI) mit einer großen Streubreite von 0,5 – 3,5. Im Mittel über alle Behandlungsvarianten lag der BI bei 1,5 im gesamten Untersuchungszeitraum. Bei der Überprüfung des BI im Bezug zur Unkraut-Gesamtwirkung konnte ein tendenziell positiver Zusammenhang festgestellt werden. Behandlungsvarianten mit einem mittleren BI von 1,5-2,0 erzielten in 50 % der Fälle eine Gesamt-Unkrautwirkung von > 95 %.

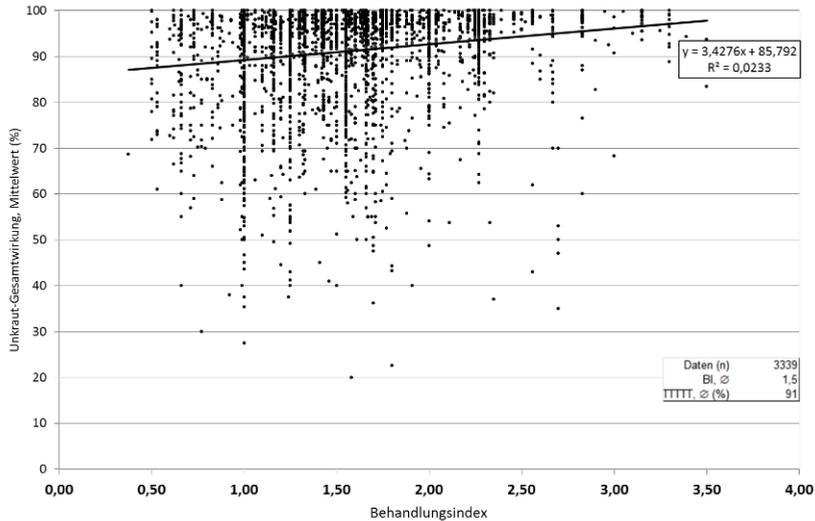


Abb. 4 Abhängigkeit von Behandlungsindex und Unkraut-Gesamtwirkung.

Fig. 4 Dependency of treatment index and total weed control efficiency.

Unkrautwirkung in Abhängigkeit von Wirkstoff und Wirkstoffgruppe

Für den Einfluss auf die Unkraut-Bekämpfungsleistung wurden Behandlungsvarianten mit den Wirkstoffen Terbuthylazin (TBA) und S-Metholachlor (S-MOC) sowie von Anwendungen auf der Basis von Triketon (TKT)-Wirkstoffen und Sulfonylharnstoff (SFH)-Wirkstoffen näher untersucht. Um eine hohe Datenbasis zu erhalten wurde die weitere Wirkstoffausstattung der Prüfvarianten nicht berücksichtigt. Behandlungsvarianten mit Tankmischungen oder Kombipräparaten aus TBA + S-MOC bzw. TKT + SFH wurden allerdings bei der Bewertung ausgeklammert. Die Auswertung bezieht sich somit auf unterschiedliche Herbizidbehandlungen, die ausschließlich mit den Bodenherbiziden TBA bzw. S-MOC und den blattaktiven Herbiziden aus der Gruppe der TKT bzw. SFH ausgestattet sind.

Für Anwendungen die mit TBA ausgestattet sind, konnte ein signifikanter Wirkungsvorteil in der Gesamt-Unkrautwirkung und gegenüber Winden-Knöterich und Storchschnabel-Arten festgestellt werden. Behandlungen auf der Basis von S-MOC erzielten eine zwar gering, aber signifikant höhere Gesamt-Unkrautwirkung als S-MOC-freie Anwendungen. Dieser Wirkungsvorteil konnte allerdings nicht für einzelne Leitunkräuter bestätigt werden.

TKT-basierte Behandlungsvarianten erzielten eine signifikant höhere Gesamt-Unkrautwirkung. Gegenüber den Leitunkräutern Hühnerhirse und Schwarzer Nachtschatten konnte dieser Leistungsvorteil ebenfalls bestätigt werden. Herbizidanwendungen auf der Basis von SFH bestätigten eine signifikant absolut höhere Bekämpfungsleistung gegenüber Acker-Fuchsschwanz. Ansonsten konnte keine abgesichert höhere gesamte oder artspezifische Bekämpfungsleistung von SFH-Behandlungen festgestellt werden.

Tab. 2 Unkrautwirkung von Herbizidbehandlungen mit verschiedenen Basiswirkstoffen und Wirkstoffgruppen.
Tab. 2 *Herbicides used in different trial periods.*

Daten	Untersuchte Faktoren und Faktorkombinationen									
	Wirkung je nach Behandlungstermin/-häufigkeit									
	VA		NA-1		NA-2					NA-SF
Ergebnisse (n)	76		470		3283					216
Wirkung,∅ (%)	84		88		91					90
Statistik*	ab		a		b					b

Leitunkrautwirkung										
	ECHCG	SETSS	DIGSS	ALOMY		CHEAL	AMARE	POLCO	SOLNI	GERSS
Ergebnisse (n)	2133	569	299	359		3252	500	1168	1091	177
Wirkung,∅ (%)	91	91	82	89		97	96	87	96	79
Statistik*	bc	c	a	c		d	d	b	d	a

Unkrautwirkung von Behandlungen mit/ohne Terbutylazin (TBA)												
	TTTT	TTTT	ECHCG	ECHCG	SETSS	SETSS	CHESS	CHESS	POLCO	POLCO	GERSS	GERSS
	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
	TBA	TBA	TBA	TBA	TBA	TBA	TBA	TBA	TBA	TBA	TBA	TBA
Ergebnisse (n)	1566	2611	876	1255	265	303	1212	2041	407	762	28	150
Wirkung,∅ (%)	93	89	91	90	89	92	99	96	92	85	92	76
Statistik*	c	b	c	c	c	c	d	d	c	b	cd	a

Unkrautwirkung von Behandlungen mit/ohne S-Metholachlor (S-MOC)												
	TTTT	TTTT	ECHCG	ECHCG	SETSS	SETSS		DIGSS	DIGSS			
	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne		mit	ohne			
	S-MOC	S-MOC	S-MOC	S-MOC	S-MOC	S-MOC		S-MOC	S-MOC			
Ergebnisse (n)	963	3197		639	1492		169	399		70	221	
Wirkung,∅ (%)	92	90		92	90		87	92		88	81	
Statistik*		c		b	cd	c		bc		d	ab	a

Unkrautwirkung von Behandlungen mit/ohne Triketone (TKT)												
	TTTT	TTTT	ECHCG	ECHCG	SETSS	SETSS	AMARE	AMARE	SOLNI	SOLNI		
	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne		
	TKT	TKT	TKT	TKT	TKT	TKT	TKT	TKT	TKT	TKT		
Ergebnisse (n)	1243	2556	628	1309	211	297	178	273	391	587		
Wirkung,∅ (%)	92	89	92	90	89	91	98	95	99	94		
Statistik*		b		a	c	b	bc	bc	ef	e	f	d

Unkrautwirkung von Behandlungen mit/ohne Sulfonylharnstoffe (SFH)											
	TTTT	TTTT	ECHCG	ECHCG	SETVI	SETVI		ALOMY	ALOMY		
	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne		mit	ohne		
	SFH	SFH	SFH	SFH	SFH	SFH		SFH	SFH		
Ergebnisse (n)	1198	2598	681	1256	150	358		151	176		
Wirkung,∅ (%)	90	90	91	91	92	89		97	80		
Statistik*		a		ab	bc	c		c	c	d	a

*) unterschiedliche Buchstaben = signifikanter Unterschied nach Kruskal-Wallis One-Way ANOVA

VA = Vorauflauf (*post emergence*), NA = Nachauflauf (*after emergence*), SF = Spritzfolge (*sequence application*)

Diskussion

Die umfangreichen Versuchsaktivitäten des Bayerischen Pflanzenschutzdienstes im Zeitraum von 1991 bis 2016 lieferten einen großen Datenpool für die Charakterisierung der Unkrautsituation und –entwicklung im bayerischen Maisanbau. Das Unkrautspektrum in Mais ist zwar vielfältig, konzentriert sich allerdings im Bezug auf den einzelnen Standort auf eine überschaubare Anzahl von durchschnittlich vier verschiedenen Leitunkräutern. Dies ist ein wichtiger Ansatz für einen standortspezifischen Herbizideinsatz. Neben den sommerannuellen Unkräutern Gänsefuß- und Knöterich-Arten dominieren im Maisanbau Schadhirsens und Acker-Fuchsschwanz. Storchschnabel-Arten sind schwer bekämpfbare Problemunkräuter, die aktuell zunehmend an Bedeutung gewinnen. Wenngleich im Maisanbau eine große Bandbreite an Wirkstoffen und Präparaten zur Regulierung dieser Leitunkräuter zur Verfügung steht, erscheinen für den

Maisanbau spezifische Problemunkräuter langfristig nur durch integrierte Managementkonzepte unter Berücksichtigung von Fruchtfolge und kulturtechnischen Maßnahmen erfolgreich zu sein. Die tendenzielle Zunahme der Besatzdichte von Schadhirs in Mais und die Resistenzentwicklung bei Acker-Fuchsschwanz sind Belege für diesen unausweichlichen Ansatz.

Die im Untersuchungszeitraum zugenommene Wirkstoffausstattung im Maisanbau ist mit hoher Wahrscheinlichkeit der Grund für die tendenziell verbesserte chemische Unkrautbekämpfungsleistung. Der relativ geringe Zusammenhang zwischen Behandlungsindex und Unkrautwirkung weist darauf hin, dass hierbei nicht die Aufwandmengengestaltung der Schlüssel zum Erfolg ist, sondern vielmehr ein gezielter Werkstoffeinsatz. Die aktuell relativ komfortable Ausstattung mit leistungsfähigen Herbiziden wird aufgrund höherer Anforderungen hinsichtlich werkstoffspezifischer Toxizität und Umweltverträglichkeit nicht bestehen bleiben. Zum Ende der Untersuchungsperiode hat Topramezone als leistungsfähiger Triketon-Wirkstoff die Zulassung verloren. Der gräserwirksame Basiswirkstoff Nicosulfuron ist als Kandidat für die Wirkstoffsubstitution deklariert. Die weitere Verfügbarkeit von Glyphosat steht in einer kritischen politischen und medialen Diskussion. Ein Verlust dieses Wirkstoffes hätte erhebliche Konsequenzen für die Umsetzbarkeit von boden- und gewässerschonenden Anbauverfahren (GEHRING, 2017c). Hinsichtlich des Gewässerschutzes werden die Bodenherbizide Terbutylazin und S-Metholachlor kritisch bewertet. In Bayern wird vom Einsatz beider Wirkstoffe auf grundwassersensiblen Standorten abgeraten (GEHRING, 2017b). Im Zusammenspiel dieser Prozesse ist eine Konzentration auf weniger Wirkstoffe für die chemische Unkrautregulierung im Maisanbau absehbar. Ein relativ häufigerer Einsatz einzelner Wirkstoffe stellt eine Gefahr für eine verstärkte Resistenzdynamik bei Unkräutern wie Acker-Fuchsschwanz und potenziell auch bei Hühnerhirse und anderen Schadhirs dar (GEHRING, 2017a). Die aktuellen Herausforderungen für die Unkrautregulierung im Maisanbau sind ein angepasstes Herbizid- und Unkrautmanagement hinsichtlich Bekämpfungssicherheit und Umweltverträglichkeit. Der Bayerische Pflanzenschutzdienst wird hierfür weiterhin Versuchsprogramme betreiben, um die chemische Unkrautregulierung im Maisanbau nach den Zielsetzungen des Integrierten Pflanzenschutzes weiter zu entwickeln.

Literatur

- Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP), 1991-1999: Versuchsergebnisse aus Bayern, Pflanzenschutz – Unkrautbekämpfung im Ackerbau und Grünland. Unveröffentlicht.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2000-2003: Versuchsergebnisse aus Bayern - Unkrautbekämpfung im Maisanbau. <https://www.isip.de/isip/servlet/isip-de/infotek/versuchsberichte>.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL), 2004-2016: Versuchsergebnisse aus Bayern - Unkrautbekämpfung in Ackerbau und Grünland. <http://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/032463/index.php>.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL), 2017: Vorsorgender Gewässerschutz - Terbutylazin-Verzichtsprogramm Jura-Karst in Bayern. <http://www.lfl.bayern.de/ips/pflanzenschutz/072301/index.php>.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (StMELF), 2016: Bayerischer Agrarbericht. <http://www.agrarbericht-2016.bayern.de/politik-strategien/index.html>.
- BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BVL), 2017: Handbuch PAPI – Software für Pflanzenschutzmittel-Auswertung und Pflanzenschutzmittel-Information. Version 8.1.8, Stand: September 2017, Saphir Verlag, Ribbesbüttel, Deutschland, 77 S.
- EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION (EPPO), 2013: Efficacy evaluation of herbicides - Weeds in maize. PP 1/50 (3), 4 p.
- GEHRING, K., 2017a: Mais – Unkrautkontrolle ohne Resistenzgefahr. Top agrar 4/2017, 92-99.
- GEHRING, K., 2017b: Kein Wirkstoff darf ins Grundwasser – Gewässerschutz ist eine Aufgabe für die gesamte Landwirtschaft. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt **207**(17), 52.
- GEHRING, K., 2017c: Warum Glyphosat für den Maisanbau so wichtig ist. Mais **44**(1), 16-20.
- UNISTAT LTD, 2015: User's Guide, Version 6.5. London, UK, 1244 p.

Erfahrungen mit einem neuen Programm zum gezielten und reduzierten Einsatz von Herbiziden in Mais (DSS-IWM)

Experiences with a new program for a targeted and reduced herbicide application in maize (DSS-IWM)

Arnd Verschwele^{1*}, Karl-Josef Behr², Klaus Gehring³, Kerstin Hüsgen⁴, Ewa Meinschmidt⁵, Christine Tümmler⁶



¹Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

²Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Gartenstraße 10, 50765 Köln-Auweiler

³Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Lange Point 10, 85354 Freising-Weihenstephan

⁴Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Neßlerstraße 25, 76227 Karlsruhe

⁵Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Waldheimer Str. 219, 01683 Nossen

⁶Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Steinplatz 1, 15806 Zossen

*Korrespondierender Autor, arnd.verschwele@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.026

Zusammenfassung

Im Rahmen des EU-Projekts „PURE“ wurden 2014 und 2015 in sechs Bundesländern insgesamt zwölf Feldversuche in Mais durchgeführt. Diese Versuche dienten der Validierung eines neuartigen internetbasierten Programms zur Entscheidungshilfe für den Herbizideinsatz in Mais (DSS-IWM). Es wurden vier Prototypen des Programms getestet, die sich sowohl in ihrem Berechnungs-Algorithmus als auch im Grad der Wirkungssicherheit unterschieden. Verglichen wurden die Ergebnisse mit der unbehandelten Kontrolle sowie einem regionalen Standard, der situationsbezogen von Beratern vor Ort festgelegt worden ist. Das Programm berechnet für die aktuelle Verunkrautung (Unkrautarten und -dichten) die optimale Kombination und Dosis von Wirkstoffen. Der Behandlungsindex lag im Durchschnitt aller DSS-Varianten bei 0,93 und damit weit unter dem Wert des regionalen Standards (1,9). In Fällen mit mangelhafter Wirkung stellte sich heraus, dass Dosis-Wirkungsdaten lückenhaft waren und somit die notwendige Herbizid-Dosis nicht sicher berechnet werden konnte. Die mittleren Wirkungsgrade aller geprüften DSS-Varianten lagen zwischen 74 und 82 %.

Stichwörter: Behandlungsindex, Bekämpfungserfolg, Entscheidungshilfe, Herbizid-Aufwandmenge

Abstract

As part of the EU project „PURE“, 12 field experiments in maize were conducted in 6 federal states of Germany. We tested a new version of an internet-based decision support system for herbicide use in maize (DSS-IWM). Four prototypes of a DSS were included which differed in the type of algorithms and in the range of efficacy safety. The results were compared to the untreated plots and also to the regional standard, which was a specific herbicide application recommended by the local advisor. Based on the current weed infestation (weed species and weed densities) the DSS programme calculated an optimized combination of herbicide products, e.g. active substances and dosages. The mean treatment frequency index (TFI) of all DSS treatments was 0.93, which was much lower than the TFI of the regional standard treatments (1.9). In case of insufficient weed control, we identified missing dose-response data as a reason for an incorrect calculated dosage. The mean efficacy of all DSS treatments was between 74 and 82%.

Keywords: Decision support system, herbicide dosage, treatment frequency index, weed control level

Einleitung

Eine effektive Unkrautkontrolle ist in Mais unverzichtbar. Eine Vielzahl von Wirkstoffen bzw. Herbiziden steht daher zur Bekämpfung unterschiedlicher Unkrautspektren bei verschiedensten Standortbedingungen zur Verfügung. Entscheidungshilfe-Programme können den Landwirt oder Berater unterstützen, die Bekämpfung zu optimieren und auch Wirkungsreserven einzelner Herbizide auszunutzen. Während solche Programme für Getreide schon seit vielen Jahren angewendet und weiter verbessert werden (RYDAHL, 2004; SONDESKOV et al., 2014), fehlen sie aktuell für Mais. Daher wurden im EU-Projekt „PURE“ bereits existierende DSS-Programme ausgewählt und damit begonnen, sie für die Herbizidanwendungen in Mais anzupassen. Die grundlegende Basis zur Empfehlung von Herbizid und Dosis ist die sogenannte Ziel-Wirksamkeit (target efficacy, TE). Sie nimmt grundsätzlich mit steigender Konkurrenzkraft und Dichte zu und

wurde für jede Unkrautart durch Expertenwissen festgelegt. Im folgenden Schritt berechnet das DSS geeignete Herbizide und die Dosis, mit der die jeweilige Ziel-Wirksamkeit erreicht werden kann. Hierfür müssen die Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen Herbizid und Unkrautart im ausreichenden Maße bekannt sein. Daten hierzu liegen aus der Literatur, aus den Zulassungsunterlagen sowie aus eigenen Versuchen vor. Ein zweites DSS-Modell arbeitet mit einem anderen Berechnungs-Algorithmus und berücksichtigt das Schadpotenzial einzelner Unkrautarten (weed potential threat, WPT). Sofern spezifische Daten hierzu vorliegen, kann das DSS-Programm die erforderliche Ziel-Wirksamkeit berechnen. Aus den geschätzten (TE) oder berechneten (WPT) Ziel-Wirksamkeiten werden durch das DSS-Programm für die aktuelle Verunkrautung Herbizidkombinationen und Dosierungen empfohlen.

Die vorliegenden Ergebnisse aus einem Ringversuch in Deutschland sollten klären, ob das Programm „DSS-IWM“ eine ausreichend sichere Herbizidempfehlung geben kann und welcher der geprüften Prototypen in Bezug auf Herbizideinsparung, Wirksamkeit und Wirkungssicherheit das beste Ergebnis liefert.

Material und Methoden

In den Jahren 2014 und 2015 wurden insgesamt 12 Feldversuche in 6 Bundesländern zur Validierung des Programms „DSS-IWM“ in Mais durchgeführt. In diesen Versuchen wurden die zwei o.g. DSS-Modelle „Ziel-Wirksamkeit“ und „Schadpotenzial“ in jeweils zwei Sicherheitsstufen getestet. Die risikofreudigere Variante (riskant) zeichnete sich dadurch aus, dass die angestrebte Zielwirksamkeit je nach Unkrautart und -dichte um 10-15 Prozentpunkte unter der verlässlichen Zielwirksamkeit lag.

Daraus ergeben sich folglich 4 Prototypen. Mit den zusätzlichen Prüfgliedern „Unbehandelt“ und „Regionaler Standard“ gab es somit 6 Varianten: a) Unbehandelt, b) regionaler Standard, c) Ziel-Wirksamkeit-verlässlich, d) Ziel-Wirksamkeit-riskant, e) Schadpotenzial-verlässlich, f) Schadpotenzial-sehr sicher.

Die Feldversuche waren als vollständig randomisierte Blockanlage mit Parzellen von jeweils 15 m² in vierfacher Wiederholung angelegt worden. Die Behandlungen und Bonituren erfolgten nach den entsprechenden EPPO-Standards. Kurz vor der geplanten Herbizidapplikation wurde die Verunkrautung (Unkrautarten und Dichteklassen) erfasst und in das Programm eingegeben, das über eine zentrale Internetverknüpfung allen Versuchsanstellern zur Verfügung stand (Abb. 1).

Weed species	Calculated efficacy (%) of four dosages				Rec. Level of control (%)					Calculated dose (l/ha) at these efficacies				
					* Recommended	Modify								
	0,38	0,75	1,5	3	1	10	40	150	...	1	10	40	150	...
Amaranthus retroflexus	57	89	98	100	80	85	96	97	97	0.39	0.66	1.14	1.28	1.28
Atriplex patula	57	89	98	100	80	85	92	94	97	0.57	0.66	0.86	0.97	1.28
Chenopodium album	73	94	99	100	60	85	97	98	98	0.3	0.5	0.98	1.15	1.15
Chenopodium polyspermum	73	94	99	100	60	85	96	97	97	0.3	0.5	0.87	0.98	0.98
Echinochloa crus-galli	15	52	87	98	60	85	97	98	98	0.84	1.41	2.75	3.22	3.22
Matricaria chamomilla	24	65	92	99	80	85	97	98	98	1	1.14	2.23	2.62	2.62
Mercurialis annua	73	94	99	100	80	85	92	94	97	0.44	0.5	0.66	0.74	0.98

Abb. 1 Beispiel für eine Herbizid-Empfehlung in Mais (kalkulierte Wirksamkeit und Dosis).

Fig. 1 Example of a herbicide recommendation in maize (calculated efficacy and dose).

Ergebnisse und Diskussion

Der Behandlungsindex lag im Durchschnitt aller DSS-Varianten bei 0,93 und damit weit unter dem Wert des regionalen Standards (1,9). Die Wirkungsgrade der DSS-Behandlungen waren jedoch

nicht immer ausreichend. Die Spannweite der Wirkungsgrade war sowohl in den DSS-Varianten als auch in der Behandlung „Regionaler Standard“ extrem hoch (Tab. 1).

Tab. 1 Wirkungsgrad der Herbizid-Varianten (Mittelwert und Spannweite), 12 Feldversuche (2014-2015), Bonitur 23-28 Tage nach Behandlung.

Tab. 1 Efficacy of herbicide treatments (mean value and range), 12 field trials (2014-2015), assessment 23-28 days after herbicide application.

Behandlung	Wirkungsgrad (%)	
	Mittelwert	Spannweite
Ziel-Wirksamkeit-verlässlich	74	38-98
Ziel-Wirksamkeit-riskant	75	35-98
Schadpotenzial-verlässlich	77	33-100
Schadpotenzial-sehr sicher	82	71-98
Regionaler Standard	87	58-100

In einem Teil der Versuche waren unzureichende Wirkungsgrad von weniger als 40 % festgestellt worden, und auch in der Variante „Regionaler Standard“ betrug die Wirkung in einem Versuch nur 58 %. Schwache Bekämpfungserfolge waren zumeist auf zu späte Behandlungen durch ungünstige Witterung zurückzuführen.

Bei genauer Analyse zeigte das DSS-Programm Schwächen bei bestimmten Unkrautarten, insbesondere bei *Chenopodium* sp. und *Echinochloa crus-galli*. Auch bei anderen Unkrautarten wurden die angestrebten Ziel-Wirksamkeiten nicht immer durch die empfohlene Herbizid-Applikation erreicht. Oder an einer hohen Restverunkrautung stellte sich heraus, dass diese definierten Ziel-Wirksamkeiten offensichtlich als zu gering festgelegt worden waren.

Der Behandlungsindex lag im Durchschnitt aller DSS-Varianten bei 0,93 und damit weit unter dem Wert des regionalen Standards (1,9). Die Ergebnisse zeigen somit das Reduktionspotenzial, das mit dem Einsatz von Entscheidungshilfe-Programmen genutzt werden kann. Allerdings wurden auch Mängel deutlich. Sie weisen auf Datenlücken hin, die durch weitere Validierungs- und Dosis-Wirkungs-Versuche geschlossen werden können. Das DSS-Programm wird im Rahmen eines neuen EU-Projekts weiter verbessert und ergänzt (BÜCKMANN et al., 2018). So soll mittelfristig die Datenbasis für Entscheidungshilfen für den Herbizideinsatz in Mais und Weizen erweitert werden, um die Wirkungssicherheit zu erhöhen. Außerdem wird das neue sogenannte Programm „IPM Wise“ um weitere Funktionen (Resistenzmanagement, Kostenkalkulation u.a.) ergänzt werden.

Literatur

- BÜCKMANN, H., O.M. BØJER, J.M. MONTULL, M. RÖHRIG, P. RYDAHL, A. TABERNER and A. VERSCHWELE, 2018: DSS-IWM: An improved European Decision Support System for Integrated Weed Management. *Julius-Kühn-Archiv* **458**.
- RYDAHL, P., 2004: A Danish decision support system for integrated management of weeds. *Aspects of Applied Biology* **72**, 43-53.
- SONDERSKOV, M., M. SØNDRERSKOV, P. KUDSK, S.K. MATHIASSEN, O.M. BØJER and P. RYDAHL, 2014: Decision support system for optimized herbicide dose in spring barley. *Weed Technology* **28**, 19-27.

Implementation of control strategies against yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) into practice

Einführung von Bekämpfungsstrategien gegen Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.) in der Praxis

Christian Bohren*, Judith Wirth

Agroscope, Plant production systems, research group: herbology in field crops and viticulture.

Route de Duillier 50, 1260 Nyon 1, Switzerland

*Corresponding author, christian.bohren@agroscope.admin.ch

DOI 10.5073/jka.2018.458.027



Abstract

Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) is one of the most dangerous weeds in agriculture because of its high multiplication potential, its high risk of tuber dispersal with vehicles and machines and because of its limited control options. Yellow nutsedge control must always aim to prevent the formation of new tubers. Our control strategy is adapted to various infestation levels, which we distinguish "initial infestation", "small infested zone" and "infested field". In the case of "infested fields" questions arise on adaptation of the rotation or even on abandonment of crops. Our experiences showed that only s-metolachlor had good efficacy in reducing considerably the number of tubers. Less effective herbicides left back a number of surviving plants, themselves forming at least a reduced number of new tubers. The proposed control strategies are currently tested in a nationwide network of pilot fields in Swiss agricultural practice. The tuber numbers counted after the first year of control measures did not change dramatically. We observed a slight increase in tuber numbers in almost a third of the fields. The reduction of tuber numbers in the rest of the fields was lower than expected. Inaccurate estimation of the infestation level is always very likely, because the young shoots visible don't give a reliable image on the real number of tubers in the ground. For improving the control strategies in regard to the reduction of tuber numbers, we recommend the combination of herbicide treatment, soil cultivation and competition by cover crops.

Keywords: Cover crop, herbicide, number of tubers, soil cultivation, yellow nutsedge

Zusammenfassung

Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.) ist wegen seines hohen Vermehrungspotentials, der großen Verschleppungsgefahr von Wurzelknöllchen und den eingeschränkten Bekämpfungsmöglichkeiten als gefährliches Unkraut einzustufen. Das Ziel der Bekämpfung muss immer die Verhinderung der Neubildung der Knöllchen sein. Die Bekämpfungsstrategie ist an verschiedene Verseuchungsgrade angepasst. Wir unterscheiden zwischen „Erstbefall“, „kleinem Befallsherd“ und „verseuchten Feldern“. In den verseuchten Feldern stellen sich Fragen zur Anpassung der Fruchtfolge oder zur Sanierung von Feldern. Unsere Erfahrungen zeigen, dass nur S-Metolachlor bezüglich der Reduktion der Knöllchenbildung gut wirksam war. Schlechter wirkende Herbizide lassen viele überlebende Erdmandelgräser zurück, die – wenn auch reduziert – weiter Knöllchen bilden. Mit einem Schweiz-weiten Netz von Pilotfeldern im Rahmen eines vierjährigen Praxis-Versuches sollen die vorgeschlagenen Strategien in der Praxis getestet werden. Die Knöllchenzahlen nach 1 Jahr zeigen, dass auf unseren Versuchspartellen in den Pilotfeldern die Menge der Knöllchen zwar kaum zunimmt, sich aber langsamer als erwartet verringert. Die auf dem Feld sichtbaren Erdmandelgras Triebe lassen nur beschränkt Rückschlüsse über den Befallsgrad mit Knöllchen zu, was leicht zu Fehleinschätzungen führen kann, wie ein praktisches Beispiel zeigt. Zur Erhöhung der Wirksamkeit hinsichtlich der Reduktion der Knöllchenzahlen, empfehlen wir die Herbizidwirkung mit der Bodenbearbeitung und der Ansaat einer Gründüngung zu kombinieren.

Stichwörter: Bodenbearbeitung, Erdmandelgras, Gründüngung, Herbizid, Knöllchenzahl

Introduction

One of the world's worst weeds

Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) is listed in Switzerland on the black list of invasive neophytes (INFOFLORA, 2017). It is an annual monocotyledon of the *Cyperaceae* family – also known as sedges – producing numerous root tubers for its multiplication in one year. Worldwide it has been ranked as the 16th worst weed (FOLLAK et al., 2016; HOLM et al., 1991). The small tubers, which are frost tolerant hibernating propagules contribute primarily to its dispersal. Due to their

longevity they provide a perennial character to the annual grass. Tuber producing plants rarely grow from seeds (LAPHAM and DRENNAN, 1990). As an exception among other invasive alien species, yellow nutsedge invades solely agricultural areas with all type of crops.

Often undiscovered until it becomes dominant

The risk of confusion with millets is high in the early stage of development. Typical characteristics for yellow nutsedge are the greenish yellow color and the strong leaf tips (SCHMITT and SAHLI, 1992). The weed remains often undiscovered until somewhere in the field dense populations occur. In such places in the second year after the infestation numerous pin head to pea sized tubers may be found. One single tuber can form several shoots, but not every tuber germinates in spring. A tuber can remain dormant for several years in the soil. A shoot starts forming daughter shoots in spring. A small trial in big pots gave a multiplication rate of 1/746 tubers in one year in undisturbed conditions (BOHREN and WIRTH, 2015). Unintentional spread of tubers starts from the very first infestation. Because tubers cannot be mechanically destroyed in the soil, all control measures must aim the green parts and the roots of the plant in order to prevent the formation of new tubers. Conventional graminicides don't show any efficacy against yellow nutsedge, therefore the choice of herbicides with its limited crop selectivity diminishes dramatically the number of control options.

The control strategies – an overview

The goal is always to prevent the formation of new tubers. The strategies include preventive measures for stopping the unintentional spread of tubers as well as a step by step approach adapted to the infestation level. Together with specialists from the cantonal plant protection services Agroscope has developed a technical data sheet about yellow nutsedge control (BOHREN, 2016).

Listed below are terms used for describing the step by step approach according to the infestation levels:

- „initial infestation“ – single plants are visible
- „small infested zone“ – parts of the field covered with a dense population
- „infested fields“ – single plants or dense populations all over the field
- „adapting crop rotation“ – choice of crop allowing to control yellow nutsedge
- „restoration“ – abandonment of crop during ongoing control measures
- „prevention of unintentional tuber spread“ – requires particular attention to all material and vehicles entering and leaving the field
- „patience and endurance“ – consciousness and awareness that yellow nutsedge demands long term and precise control measures

Materials and Methods

Task force yellow nutsedge

The agricultural consulting organization Agridea (lead), advisors of cantonal plant protection services and Agroscope founded in 2012 a “Task Force Yellow Nutsedge” in order to offering a platform to exchange information with farmers. Based on the above mentioned strategies a four years project was launched in 2016 for introducing the control strategies into agricultural practice (Beratungsprojekt Erdmandelgras). The work is done by the cantonal plant protection services and Agroscope. It is financed by the Federal Office for Agriculture (Foag) and partially by marketing organizations (MO). The participating MO's are: the Swiss farmers union (SBV), the Swiss sugar beet producers (SVZ) and the specialist unit for sugar beets (SFZ), the Swiss potato growers (VSKP), the Swiss Cereal Growers (SGPV), the Swiss vegetable growers (VSGP), BioSuisse Basel, SwissTabac Posieux and the association of agricultural contractors (SVLT).

The project has two main goals: 1) the proposed strategies are tested within a nationwide network of pilot fields. 2) Workshops run by the cantonal plant protection services and Agridea present information on yellow nutsedge control to farmers. Print media articles, internet pages and special initiatives such as financial contribution to a sugar beet harvester to be exclusively used in infested fields should attract attention of farmers to the yellow nutsedge problem.

On farm pilot fields

Farmers provided a total of 15 pilot fields (Tab. 1 and 2) to the project in the cantons Bern, Fribourg, Neuchâtel, Solothurn, St. Gallen, Ticino and Zürich. The pilot fields 1A and B, 8A and B as well as 14A and B are in fact on the same plot. In close collaboration with cantonal advisors the farmers adapted their cultivation methods with regard to better efficiency of yellow nutsedge control.

Tab. 1 Overview on cultivation methods differing from the “late maize drill strategy” proposed by Agroscope.

Tab. 1 Übersicht über Anbaumethoden, welche von der von Agroscope empfohlenen Strategie “späte Maissaat” abweichen.

pilot-field	crop	strategy	specialities	main sector	
1a	maize	late maize drill	incorporation of 2 l/ha Dual Gold® (720 g/l S-metolachlor) before late maize drill	arable farming	
1b	maize	late maize drill		arable farming	
2	lettuce, fennel	on farm	intensive soil cultivation before crop and hand-weeding in crop; 0.5 l/ha Linturon® (450 g/l linuron) post in fennel and lamb's lettuce	vegetables	
3	maize	late maize drill	incorporation of 2 l/ha Dual Gold® before late maize drill	vegetables	
4	maize	late maize drill		arable farming	
5	maize	late maize drill		arable farming	
6	maize	late maize drill		arable farming	
7	maize	late maize drill		arable farming	
8a	maize	early maize drill		1.4 l/ha Frontier X2® (720 g/l dimethenamid-P)	vegetables
8b	maize	early maize drill		2 l/ha Dual Gold®	vegetables
9	maize	late maize drill	incorporation of 2 l/ha Dual Gold® before late maize drill	arable farming	
10	maize	late maize drill		arable farming	
11	zucchini	on farm	intensive soil cultivation before crop and handweeding in crop; no herbicide	vegetables	
12	soya org.	on farm	1x cultivator and 2x disc harrow pre, 1x tined weeder and 3x finger weeder post emergence	arable farming	
13	w.wheat org.	on farm	no measures	arable farming	
14a	maize	on farm	maize drilled end of April after incorporation of 2 l/ha Dual Gold®	arable farming	
14b	maize	late maize drill	maize drilled end of May after harrowing mid-April and incorporation of 2 l/ha Dual Gold® before drill	arable farming	
15	w.wheat	on farm	April and July 25 g/ha Monitor® (80% Sulfosulfuron)	arable farming	

The strategy “late maize drill” developed from Agroscope was applied on 9 of 15 farms participating to the project. In early spring a stale seedbed is prepared, followed by an additional soil cultivation to destroy yellow nutsedge at the 2-5 leaf stage. Immediately before late sowing (end of May) a herbicide (2 L/ha Dual Gold®, 960 g/L s-metolachlor) is incorporated. Post emergence control – mechanical or chemical at farmer’s option – follows in consideration of getting the best possible efficacy against yellow nutsedge.

The farmer of pilot field 2 cultivated the soil intensively before each crop sowing (fennel, head lettuce and lamb’s lettuce), weed control in crop was done mechanically and by hand and finally

linuron was applied on fennel and lamb's lettuce. On farm 8 two different herbicides were used. On 8A 1.4 l/ha Frontier X2[®] (720 g/L dimethenamid-P) was incorporated before sowing and on 8B it was 2 l/ha Dual Gold[®]. On farm 11 the zucchini crop was weeded by hand only after intensive soil cultivation without applying a herbicide. The farmers of the organic farms with pilot fields 12 and 13 harrowed the soya crop (12) three times post emergence with a finger weeder; the winter wheat (13) was not weeded at all in spring 2016. Pilot field 14 was divided into two parts: 14A maize was drilled by end of April after incorporation of 2 L/ha Dual Gold[®], in 14B the same was done but one month later, after having in the meantime harrowed the soil following the "late maize drill" method. The farmer of pilot field 15 treated the wheat in April 2016 with 25 g/ha Monitor[®] (80% sulfosulfuron) and repeated the same treatment at the end of July with an additional wetting agent. Winter rye was installed as green cover in August after harvesting the wheat.

Soil sampling for determination of tuber numbers

On every pilot field four 6m x 6m test plots were established and their GPS coordinates were registered. The test plots were placed according to the farmer's information in homogeneously infested zones in his field. In spring 2016 six soil samples were taken from each test plot which amounted to 24 soil samples per pilot field. For each soil sample three cores were randomly taken with a soil auger (10-cm diameter) to a mean depth of 20 cm as most tubers can be found in this upper soil layer. The three cores were mixed together in the field and 1 liter of that soil mix was washed and sieved (1 mm mesh) in the lab for tuber count. In autumn 2016 the sampling on the same test plots was repeated the same way. The results of the two samplings are presented in table 2. Sampling will be repeated in autumn 2017, 2018 and 2019.

Considering a mean sampling depth of 20 cm in our test plots, one tuber per liter soil represents around 200 tubers per square meter.

Results

Nationwide network of test plots – report from the first year

Table 2 shows the development of the numbers of tubers from the test plots of 18 pilot fields on 15 farms during the first of four years of trials. The nationwide network evaluates the efficiency of a control strategy developed by Agroscope against yellow nutsedge. Beside two exceptions the differences between the tuber counts in spring and in autumn 2016 are not significant.

The Agroscope strategy "late maize drill" with incorporation of Dual Gold[®] before planting of maize was applied in 10 of 18 pilot fields in 2016. A significant decrease in tuber numbers was observed in two of these pilot fields (8B and 14B) only. In pilot field 10 we did not find any tubers – see discussion. In the pilot fields that were conducted with the farmer's operating methods all fields showed a non-significant change (either decreasing or increasing) in tuber numbers at the end of the first trial period.

The pilot fields 1 A/ B, 8 A/ B and 14A/B allow some special observations: in test plots 1A located in a heavy infested zone of the field 1 more than 10 tubers/liter soil and in test plots 1B of the same field less than 5 tubers/liter soil were counted. The tuber numbers did not change significantly.

The pilot fields 8A and B are situated side by side on the same field 8. The only difference was the choice of herbicide (8A = dimethenamid-P, 8B = s-metolachlor). The incorporation of s-metolachlor, proposed by Agroscope, led to a significant reduction of the tuber number.

Tab. 2 Number of tubers per liter soil (24 samples / pilot field) at the beginning and at the end of 2016, the first count of four during a four years project with pilot fields distributed throughout Switzerland. The crop was selected by the farmer and the advisor of cantonal plant protection service. The strategy "late maize drill" included several passes for soil cultivation and the incorporation of Dual Gold® (960 g/L s-metolachlor) before late maize drill. This and the various "on farm" strategies are explained in the text.

Tab. 2 Knöllchenzahlen pro Liter Erde (24 Proben/Pilotfeld) zu Anfang und zu Ende des ersten Jahres eines vierjährigen Praxis-Versuches auf Pilotfeldern in der ganzen Schweiz verteilt. Die Kultur auf dem Pilotfeld wurde vom Landwirt zusammen mit dem kantonalen Berater gewählt. Die Strategie „späte Maissaat“ beinhaltet mehrere Bodenbearbeitungen und die Einarbeitung von 2 l/ha Dual Gold® (960 g/l S-Metolachlor) vor der späten Maissaat. Diese und die verschiedenen Strategien „Betrieb“ sind im Text beschrieben.

pilot field	crop	strategy	tuber numbers per liter soil (t-Test)				estimated tuber numbers from spring to autumn 2016 per m ² and 20 cm depth (=200 l soil)
			spring 2016	s.error	autumn 2016	s.error	
1a	maize	late maize drill	10.71	1.9	10.96	1.8	2142 - 2192
1b	maize	late maize drill	4.25	0.8	4.08	0.7	850 - 817
2	lettuce, fennel	on farm	0.63	0.2	0.29	0.2	125 - 58
3	maize	late maize drill	0.50	0.2	0.71	0.2	100 - 142
4	maize	late maize drill	10.75	1.7	8.63	1.4	2150 - 1725
5	maize	late maize drill	0.79	0.2	0.33	0.1	158 - 67
6	maize	late maize drill	0.42	0.1	0.33	0.2	83 - 67
7	maize	late maize drill	0.08	0.1	0.00	0.0	17 - 0
8a	maize	early maize drill	8.13	1.6	6.17	1.5	1625 - 1233
8b	maize	early maize drill	4.13	0.6	2.08 **	0.3	825 - 416
9	maize	late maize drill	0.58	0.2	0.75	0.3	117 - 150
10	maize	late maize drill	0.00	0.0	0.00	0.0	0 - 0
11	zucchini	on farm	0.92	0.2	0.96	0.4	183 - 192
12	soya org.	on farm	1.04	0.4	0.50	0.2	208 - 100
13	w.wheat org.	on farm	3.83	0.7	5.29	0.7	767 - 1058
14a	maize	on farm	0.17	0.1	0.25	0.2	33 - 50
14b	maize	late maize drill	4.04	0.7	1.58 **	0.3	808 - 316
15	w.wheat	on farm	0.46	0.2	0.63	0.3	92 - 125

The pilot fields 14A and B are as well situated side by side. The efficiency of the farmer's strategy (14A, early maize drill) and the Agroscope strategy (14B) can be compared. The first harrowing was done on 14A and 14B at the end of April; the herbicide Dual Gold® was incorporated and maize was drilled immediately after the first harrowing in 14A. After the first harrowing in 14B by end of April the Agroscope strategy allowed the yellow nutsedge in a stale seedbed to develop 2-5 leaves before a second harrowing was added by mid-May. Again after two weeks yellow nutsedge was a second time severely disturbed with the incorporating the herbicide Dual Gold® before maize drill. A significant reduction of tuber numbers resulted from the application of the Agroscope strategy (14B).

Winter wheat on pilot field 15 was treated two times with Monitor®. No reduction of tuber numbers was observed. The effect of the rye green cover sown in autumn 2016 will be observed with the sampling in autumn 2017.

The farmers of the pilot fields 2, 11-13 and 15 were not prepared to adapt their rotation proposed by the cantonal advisor. Some had no use for maize silage or maize grain (2, 11-13). For some farmers yellow nutsedge is not a problematic weed (11-13) and one had other reasons for keeping to his planned rotation (15).

The mean tuber numbers differed in all pilot fields in spring 2016 between 0.00 and 10.71 per liter soil even though the farmers selected the most infested zones on their fields for the establishment of our test plots. The tuber numbers within the 24 samples of one pilot field differed most in field 8A, in spring between 30.00 (1 sample) and 0.00 (2 samples) and in autumn between 35.00 (1 sample) and 0.00 tubers (2 samples) per liter soil. This indicates an important heterogeneity in the tubers distribution within the fields.

Discussion

A short history on yellow nutsedge in Switzerland

Three locations with stands of yellow nutsedge were known in Switzerland thirty years ago: the arable zones south of the Alps in the canton Ticino and two small locations in the cantons Bern and Zürich (SCHMITT and SAHLI, 1992). In the last 10 to 15 years yellow nutsedge expanded tremendously in the farming areas north of the Alps. This increase had several reasons. Since around 30 years Swiss agriculture is undergoing drastic structural changes. In the last decade of the previous century we recorded around 90 000 mainly versatile farms, today around 50 000 increasingly specialized farms are counted. The labor force on farms decreased drastically. Nowadays 4 of 5 field operations are done by contractors or machinery rings (LID). Soil and harvest residues containing weed seeds or propagules sticking to machines and wheels find their way further and further beyond the range of an individual farm. This is due to the increasing mechanization and the lack of time accorded to the attention to the details. Around 10 years ago yellow nutsedge appeared as a problematic weed in regions with intensive vegetable production (BOHREN and WIRTH, 2013). Today the weed is present well outside of these regions (INFOFLORA).

Yellow nutsedge control requires high precision

The high multiplication potential, the high risk of displacing tubers by field works and the limited control options are the main reasons to declare yellow nutsedge as a dangerous weed. All control measures must always aim precisely in preventing tuber formation and the reduction of the tuber numbers in the soil.

If it is detected at early stages an "initial infestation" can be controlled by uprooting single plants with their roots. Plants, roots and soil containing tubers need to be disposed in a way that tubers never develop new plants again. In subsequent years the infested zone need to be periodically controlled for the emergence of new shoots.

It is important to mark "small infested zones" and exclude them from further cultivation in order to prevent unintentional spread of tubers. These zones have to be treated with herbicides (single plant treatment) or sterilized with hot steam deeper than the standard ploughing depth. Also here the control for new shoots in subsequent years is absolutely mandatory.

Considering "infested fields" the question arises whether the normal crop rotation should be interrupted or not. If yes, the strategy "late maize drill" is the best because it allows at least a reduced maize yield. The date of maize sowing is delayed for 3-4 weeks for enabling yellow nutsedge to develop. An additional harrowing and the incorporation of an herbicide before drilling is very efficient in destroying the young plants. In that case root crop production (potato, sugar beet, celery, carrots etc.) has to be rejected. Another possibility is to treat winter wheat in spring with 25 g/ha Monitor® and immediately after the harvest sowing a cover crop such as oil radish (e.g. *Raphanus sativus* var. *oleraceus*) in order to establish quickly a dense competition to weeds.

On heavy infested fields the option "restoration" should be considered as an objective. This option includes the abandonment of crop cultivation in order to enable precise yellow nutsedge control in spring. In this case yellow nutsedge can be repeatedly destroyed in the 2-5 leaf stage during spring and early summer. This is done in the absence of crops allowing full-surface field works. A

further option would be to abandon cropping in spring and re-allow cropping from early autumn. "Restoration" includes combining the positive effects of soil cultivation, herbicide treatment and competition of cover crops. To date no farmer in our network was prepared to restore his field envisaging the abandonment of crop as the loss of income is a heavy burden.

Farmers in a difficult situation

News from the professional vegetable branch about increasing yellow nutsedge problems initiated a couple of years ago Agroscope to develop control strategies. An herbicide screening in the greenhouse and in the field preceded field trials which combined soil cultivation, competition effects from cover crop and herbicide treatment (BOHREN und WIRTH, 2015). In the meantime news about new infestations from many parts of the country reached us. The "task force yellow nutsedge" offers a nationwide platform for information exchange. Early on an obligation to announce and to control yellow nutsedge was considered desirable. Accompanied by a monitoring the obligation to announce would allow the contractors to separate their machinery for work exclusively on infested fields. The obligation to control would motivate the farmer to take measures at an early stage. Until now both obligations face resistance, on the one side from the farmers and on the other side from the authorities. The discussion around these obligations revealed some interesting details: Some farmers are ashamed to announce infestation of yellow nutsedge because they fear being accused of bad agricultural practices and may have problems selling their products. An official obligation to control yellow nutsedge would entail compensations due to the additional work requested. Township, cantonal and even federal administrations demonstrate actually a reluctant attitude towards possible compensation payments of unspecified amounts. Nevertheless each and every farmer concerned should feel himself responsible for avoiding the unintentional spread of tubers within his farm and beyond.

It is all about the tubers

From June on small white bulges are formed at the end of rhizomes. These bulges may form white tubers becoming brownish until August. Very young and still white tubers are able to germinate in a petri dish. The brown and later black tubers cannot easily be detected in the field because their skin is covered with soil dust. Tubers are visible only in heavy infestations (let's say > 1000 tubers/m²) and under the rain after ploughing. Mechanical destruction or sieving of tubers in the soil is not feasible as many soil particles have similar dimensions.

The farmer is obliged to decide on which control options he may implement only on the basis of the visible shoots. Our experience is that the number of shoots does not give a reliable indication as to the number of tubers present in the soil. Therefore the risk of bad decisions gains more weight. This observation was very clear on pilot field 10 (Tab. 2). In 2016 we found in our test plots no tubers, even though we established the plots in a zone where according to the farmer a homogenous infestation was previously observed. The advisor of the cantonal plant protection service reported that the pilot field was ploughed in winter 2015/16 before our sampling and the maize drill in spring. Without ploughing winter barley was sown after maize silage 2016 and harvested in summer 2017. Ploughing after the winter barley brought the tubers back to the surface. The subsequent artificial prairie is actually heavily infested with yellow nutsedge (personal communication M. Jenzer).

The pilot fields 8A and B are situated in Eastern Switzerland's Rhine valley on very heavy silty soils. The farmer would not have been able to apply additional soil cultivation and late maize drill due to usually wet soil conditions in spring. Instead he compared the Dual Gold® with the Frontier X2®. This year's result shows a significant reduction of tuber numbers with Dual Gold®.

The farmer's statements on pilot fields 11 - 13 (12 and 13 belonging to organic farms) with their sandy soils are remarkable. These sandy soils dry up quickly under the hot sun and allow regularly good efficiency with mechanical weeding. The soil falls quickly from uprooted plants and roots and they dry out. The farmer of fields 12 and 13 does not recognize yellow nutsedge as a

problematic weed, therefore he forwent additional control measures against yellow nutsedge. The vegetable farmer of the nearby pilot plot 11 is of the same opinion. Our survey in the first year of the trial period showed a constant amount of tubers on the three fields.

On pilot field 14 A and B the farmers strategy and the Agroscope strategy can be compared. The extra month between early (14A) and delayed (14B) maize drill allowed yellow nutsedge to develop roots and plants which were perfectly destroyed by the soil cultivation and the herbicide, leading to a significant decrease of tuber numbers.

We are looking forward to studying the future development of tuber numbers in this trial period.

Patience and persistence for yellow nutsedge control

Only a few herbicides provide good efficacy against yellow nutsedge. With s-metolachlor incorporated immediately after an application we achieved the best efficacy among the herbicides registered in Switzerland. In herbicide screening field trials sulfosulfuron also worked well when not incorporated (BOHREN and WIRTH, 2015).

Soil cultivation should be done about 20 cm deep using either a disc harrow, rotary harrow, power harrow or a seedbed cultivator to destroy new roots and plants. The major part of tubers is located in the first 20 cm. In appropriate soils and under good conditions harrowing can replace a herbicide treatment. Yellow nutsedge is sensible to shading (LOTZ et al., 1991; SANTOS et al., 1997). Competition by densely growing cover crops such as oil radish suppressed surviving plants and reduced the formation of tubers importantly (BOHREN and WIRTH, 2015).

None of the three control methods “herbicide”, “soil cultivation” and “competition” is always sufficiently effective. Therefore we recommend the combination of these methods for the restoration of fields without cultivating a crop. Hoeing in row crops is detrimental because weeds within rows are not sufficiently controlled. Furthermore, there is no effective herbicide available for post emergence band treatments.

To date, there is no obligation to announce and to control *C. esculentus* in Switzerland. Such an obligation exists already for common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). The fact of being an invasive neophyte, the increasing workload and diesel consumption and machines and tractor costs for controlling yellow nutsedge was until now (October 2017) not enough to define a common objective against this weed.

Conclusion for the agricultural practice: the control of yellow nutsedge is an endurance test on the farmer's patience and persistence.

Acknowledgements

We express our special thanks to the farmers and all members of the Task Force Yellow Nutsedge, especially Bruno Arnold and Jean-François Vonnet (Agridea), David Brugger (Swiss Farmer's Union), Martina Aeschbacher (Cantonal plant protection Service St. Gallen) and Lutz Collet (Institut agricole de l'état de Fribourg IAG) for their valuable initiatives, and we thank the Federal Office for Agriculture for the financial support.

References

- BERATUNGSPROJEKT ERDMANDELGRAS, www.erdmandelgras.ch oder <http://www.pag-ch.ch/de/themen/erdmandelgras/>
- BOHREN, C. and J. WIRTH, 2013: Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.): die aktuelle Situation in der Schweiz. *Agrarforschung Schweiz* **4** (11-12), 460 - 467.
- BOHREN, C. and J. WIRTH, 2015: Die Verbreitung von Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.) betrifft alle. *Agrarforschung Schweiz* **6** (9), 384 - 391.
- BOHREN, C., 2016: Erdmandelgras. Agroscope Merkblatt Nr. 47. PDF www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/publikationen/suchen/merkblaetter.html.
- FOAG - Federal Office for Agriculture, Bern, Switzerland. [www@www.blw.admin.ch](http://www.blw.admin.ch).
- FOLLAK, S., R. BELZ, C. BOHREN, O. DE CASTRO, E. DEL GUACCHIO, N. PASCUAL-SEVA, M. SCHWARZ, F. VERLOVE and F. ESSL, 2016: Biological Flora of Central Europe: *Cyperus esculentus* L. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics **23**, 33 - 51.

28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig

HOLM, L.G., D.L. PLUCKNETT, J.V. PANCHO and J.P. HERBERGER, 1991: The World's Worst Weeds. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.

INFOFLORA, Das nationale Daten- und Informationszentrum der Schweizer Flora, Bern, Genève und Lugano. www.infoflora.ch.

LAPHAM, J. and D.S.H. DRENNAN, 1990: The Fate of Yellow Nutsedge (*Cyperus Esculentus*) Seed and Seedlings in Soil. *Weed Science* **38**, 125-128.

LID, Landwirtschaftlicher Informationsdienst, Bern. www.lid.ch.

LOTZ, L.A.P., R.M.W. GROENEVELD, B. HABEKOTTE and H. VANOENE, 1991: Reduction of Growth and Reproduction of *Cyperus esculentus* by Specific Crops. *Weed Research* **31** (3), 153 - 160.

SCHMITT, R. and A. SAHLI, 1992: Eine in der Schweiz als Unkraut neu auftretende Unterart des *Cyperus esculentus* L. *Landwirtschaft Schweiz* **5** (6), 273 - 278.

SANTOS, B.M., J.P. MORALES-PAYAN, W.M. STALL, T.A. BEWICK and D.G. SHILLING, 1997: Effect of shading on the growth of nutsedges (*Cyperus* spp.). *Weed Science* **45** (5), 670 - 673.

Validation of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) control strategies in maize in an on-farm, large-scale field trial

Validierung verschiedener Strategien zur Bekämpfung von Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) anhand eines on-farm Großparzellenversuchs

Martina Keller*, René Total, Jürgen Krauss, Reto Neuweiler

Agroscope, Schloss 1 8820 Wädenswil, Schweiz

*Korrespondierende Autorin, martina.keller@agroscope.admin.ch

DOI 10.5073/jka.2018.458.028



Abstract

A large on-farm field trial was carried out between 2013 and 2015 to investigate the effect of repetitive maize cropping on *Cyperus esculentus* infestation over time. Intensive control strategies, developed and investigated in small-scale trials, were validated. Four *C. esculentus* treatment strategies were installed. Soil samples were taken each year put in the greenhouse and the number of *C. esculentus* sprouts was assessed.

Initial infestation was patchy. Field areas were flooded several times due to heavy rainfall. Despite the inherent variability and the adverse weather conditions following conclusions can be drawn: Growing maize combined with intensive weed control (2-4 passes), reduced infestation on average by 80%. Principal components for *Cyperus esculentus* control strategies are hoeing, the active substances S-metolachlor, mesotrione, terbuthylazine, rimsulfuron, bentazone, and a herbicide containing foramsulfuron, thienacarbazone and iodosulfuron.

Growing maize combined with high intensity weed control is an effective approach to manage and reduce *C. esculentus* infestation. Yield depressions due to this highly intensive weed control cannot be rule out. Nevertheless, farmers in the affected region have adopted these approaches.

Keywords: Control strategy, dropleg, hoeing, late under leaf application, mechanical weed control

Zusammenfassung

Es wurde ein Großparzellenversuch von 2013 bis 2015 durchgeführt, um die Wirkung von Maisanbau während mehrerer Jahre auf den *Cyperus esculentus* Befall in einem Feld zu untersuchen. Dabei wurden Bekämpfungsstrategien, die zuvor in Kleinparzellenversuchen entwickelt und geprüft worden waren, validiert. Der Versuch beinhaltete vier Bekämpfungsverfahren. Jedes Frühjahr wurden Bodenproben gezogen, im Gewächshaus ausgelegt und angetrieben. Anschließend wurde die Anzahl der sich entwickelnden Erdmandelgrastriebe gezählt.

Der Ausgangsbesatz war heterogen verteilt. Zudem standen einzelne Feldbereiche aufgrund starker Regenfälle mehrmals unter Wasser. Trotz der Variabilität und der schwierigen Wetterbedingungen konnten folgende Schlussfolgerungen gezogen werden: Maisanbau kombiniert mit intensiver Bekämpfung (2-4 Bekämpfungsmaßnahmen) über mehrere Jahre ermöglichte eine Reduktion der *Cyperus esculentus*-Dichte um rund 80%. Es zeigte sich, dass Hacken, die Wirkstoffe S-Metolachlor, Mesotrione, Terbuthylazin, Rimsulfuron und Bentazon sowie das Kombinationsprodukt mit den Wirkstoffen Foramsulfuron, Thienacarbazone und Iodosulfuron wichtige Komponenten einer *Cyperus esculentus*-Bekämpfungsstrategie in Mais sind.

Maisanbau mit einer intensiven Unkrautbekämpfung ist ein wirksamer Ansatz, um *C. esculentus* unter Kontrolle zu halten und den Besatz zu reduzieren. Aufgrund der intensiven Bekämpfung können Ertragsdepressionen jedoch nicht ausgeschlossen werden. Landwirte in der betroffenen Region setzen diese Bekämpfungsansätze bereits um.

Stichwörter: Bekämpfungsstrategie, Dropleg, Hacken, mechanische Unkrautbekämpfung, späte Unterblattbehandlung

Introduction

Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) is considered one of the worst weeds (HOLM et al., 1991). In Switzerland it has become a serious threat to arable and vegetable crop production. It spreads and reproduces mainly vegetatively via tubers in the soil. However, we could show recently that in Switzerland seed production had been underestimated and that the risks of dispersal via seeds should not be further neglected (e.g. KELLER et al., 2015; KELLER et al., 2016). Apart from preventing

its further spread via tubers and seeds, it is crucial to provide farmers with control strategies allowing reducing *C. esculentus* levels in highly infested fields. Such strategies need to be developed, tested and validated. In Switzerland several herbicides with efficacy against *C. esculentus* are registered for use in maize (*Zea mays* L.). Apart from the availability of herbicides, maize is also suited as an eradication crop, because it can be hoed and the germination requirements of *C. esculentus* and maize are similar (RIEMENS et al., 2008). This allows optimizing the timing of weed control. Further, after canopy closure the soil is well shaded and thus fewer *C. esculentus* tubers germinate (KELLEY, 1987). In addition, the risk of further spreading is low, when this crop is grown. We had determined and tested different, highly intensive *C. esculentus* control strategies in small plot trials in maize from 2011 to 2013 (KELLER et al., 2014a; KELLER et al., 2014b). The next step was to validate the most promising strategies under practical farming conditions on a larger area: We installed a large-scale plot trial in a farmer's field (2013 to 2015). Thus, the aim of the study was to validate these control strategies over several years and provide farmers with hands-on experiences and with adoptable strategies against *C. esculentus*.

Materials and Methods

The field trial was initiated in spring 2013 in a *C. esculentus* infested field in the eastern part of Switzerland. The soil was a sandy loam with an organic matter content of 3% and a pH of 6.9. Average temperature was 10.5 °C, average annual precipitation was 1.25 m (averages 2013-2015, nearest weather station, <http://www.agrometeo.ch>). The site was chosen due to its known *C. esculentus* infestation. Maize was grown according to regional practices; sowing date was between late April and early May.

The design was a randomized complete bloc design for the *C. esculentus* control treatments: 4 *C. esculentus* control strategies i.e. treatments (TR1 to TR4) with 4 replicates and 3 small untreated control plots (TR5) were included in the trial. Treatment plot size was 15 m by 100 m; untreated control plot size was 15 m by 10 m. These 3 untreated control plots were randomly put in 3 of the large treatment plots. Plot width corresponded to the boom width of the farmer's sprayer (15 m). Four soil samples (10L, sampling depth: 0.2 m) were taken each 20 m in the middle of each treatment plot every year before field season (T_0 : 15 April 2013, T_1 : 6 February 2014, T_2 : 10 March 2015, T_3 : 25 February 2016). For the 3 plots within which the small untreated control plots had been allocated only 3 soil samples were taken, as one sampling point was located within the respective untreated control plot. Thus, in the untreated control plots only 1 soil sample was taken per plot. In total 64 samples were taken in the whole field trial. Sampling sites were georeferenced with a precise Trimble device (precision: 0.02 m) allowing to re-establish plot borders and sampling sites at the same position over the years. The soil samples were stored at a temperature of 4 °C for maximal 3 months; then they were put in shallow trays (0.35 by 0.55 m) in the greenhouse. Other weeds were removed from time to time to prevent competition effects. The number of *C. esculentus* sprouts germinated after 8 weeks was determined. These values were considered to be a good measure of the extent of *C. esculentus* infestation. *Cyperus esculentus* infestation level per m² soil was calculated based on sampling volume and sampling depth.

Treatment 3 (TR3) and 4 (TR4) had been successfully tested in the small plot trials and thus could be applied without problems (Tab. 1, Tab. 2). In treatment 3, 2 L ha⁻¹ Dual Gold (Syngenta, EC, S-metolachlor 960 g L⁻¹) was sprayed and incorporated (incorporation depth: 0.06-0.08 m) before sowing followed by 2 hoeing passes (post-emergence), followed by a late under leaf (i.e. under canopy) application with 1.1 kg ha⁻¹ Basagran SG (Leu + Gygax, SG, bentazone 870 g kg⁻¹). In treatment 4, 20 g ha⁻¹ Titus (DuPont, WG, rimsulfuron 250 g kg⁻¹) and 0.75 L ha⁻¹ Callisto (Syngenta, SC, 100 g L⁻¹) were applied twice post-emergence followed by a late under leaf treatment identical to treatment 3.

Treatment 1 (TR1) and 2 (TR2) hadn't been tested before in the small plot trials. In treatment 1, 1.5 L ha⁻¹ Equip Power (Bayer, OD, foramsulfuron 30 g L⁻¹, thienincarbazone 10 g L⁻¹, iodosulfuron-methyl 1 g L⁻¹, safener: cyprosulfamide 15 g L⁻¹) was tested followed by a late under leaf

application as described above. Due to high weed pressure, especially lady's thumb (*Persicaria maculosa*) and common barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*), the efficacy of Equip Power was not lasting long enough to control these weeds until canopy closure. Treatment 2 was planned as an organic treatment, controlling *C. esculentus* only by hoeing. This idea was quickly abandoned also due to high weed pressure (especially intra-row). In both treatments a late under leaf application was carried out as described above. The 2 treatments were adjusted the following year (Tab. 2). In treatment 1, 0.2 L ha⁻¹ Adengo (Bayer, SC, isoxaflutole 225 g L⁻¹, thienincarbazon 90 g L⁻¹, safener: cyprosulfamide: 150 g L⁻¹) and 1.5 L ha⁻¹ Aspect (Bayer, SC, terbutylazine: 333 g L⁻¹, flufenacet 200 g L⁻¹) were applied additionally early post-emergence to control other weeds. In 2015, all post-emergence herbicides were applied accidentally at the same date. In treatment 2, 4 L ha⁻¹ Lumax (Syngenta, SE, S-metolachlor 375 g L⁻¹, terbutylazine 125 g L⁻¹ and mesotrione 37.5 g L⁻¹) was applied early post-emergence followed by a late under leaf application as described above.

Tab. 1 Control measures and used active substances (a.i.) applied in the treatments (TR) 2013: post-emergence (POST), pre sowing with incorporation (PSI), late under leaf treatment (UL).

Tab. 1 Bekämpfungsmassnahmen und eingesetzte Wirkstoffe (a.i.) in den Verfahren (TR) 2013: Nachauflauf (POST), Vorsaats mit Einarbeitung (PSI), späte Unterblattbehandlung (UL).

TR	Control measure a.i. g ha ⁻¹	Timing	2013 Date
1	Foramsulfuron, 45 Thienincarbazon, 15 Iodosulfuron-methyl, 1.5 Bentazon, 957	POST	June, 7, BBCH 13-14
		UL	July, 12
2	Hoeing	POST	June, 7
	Hoeing	POST	June, 18
	Bentazon, 957	UL	July, 12
3	S-metolachlor, 1920	PSI	May, 1
	Hoeing	POST	June, 7
	Hoeing	POST	June, 18
	Bentazon, 957	UL	July, 12
4	Rimsulfuron, 5 Mesotrione, 75	POST	June, 7, BBCH 13-14
	Rimsulfuron, 5 Mesotrione, 75	POST	June, 14, BBCH 15-16
	Bentazon, 957	UL	July, 12
5	Untreated control		

The pre-sowing and the post-emergence applications were carried out with the farmer's tractor mounted sprayer (nozzles: Teejet 110 04, spray volume: 300 L/ha).

The late under leaf application was done by a contractor with a self-propelled sprayer with a boom width of 24 m equipped with droplegs (Kuhn Landmaschinen AG, Dintikon, Switzerland). The nozzles of the droplegs were oriented downwards to avoid spraying the leaves of the maize plants. Spray volume was 400 L ha⁻¹. The late under leaf application was applied on the whole field except the 3 small, untreated control plots of TR5 (Tab. 1 and 2).

Hoeing was done twice per year in the respective treatment(s) using a tool carrier (FOBRO-Mobil, Bärtschi-FOBRO AG, Hüswil, Switzerland). Hoeing was done according to weather conditions and adjusted to crop height: First pass at a height of 0.2 to 0.3 m, second pass at a height of 0.7 to 0.8 m. Two rows at a time were hoed with goose-foot blades. In the first pass about 77 to 87% of the area could be hoed (distance to maize plants: 0.05 to 0.08 m). During the second pass the crop was also earthed up to bury weeds and to promote crop growth.

The trial was set up to allow elaborate statistical analyses using linear mixed models accounting for spatial auto-correlation (e.g. GERHARDS et al., 2012). However, the initial infestation level was very patchy and we had many samples without *C. esculentus* infestation at all (38 of 64). Thus, we decided to only consider the sampling points at which *C. esculentus* was present in the initial year to determine the reduction over the years. For the yearwise comparison of the treatments TR1, TR2, TR3 and TR4 a simple ANOVA was carried out omitting the trial design. To compare infestation levels between the initial and the last trial year a paired t-test was carried out treatmentwise. The analyses were carried out in R (R CORE TEAM, 2016). The samples without *C. esculentus* infestation in the initial year were considered as a measure of the further spread of *C. esculentus* within the field. It is often stated that *C. esculentus* spreads rapidly and exponentially within a field by mechanical weed control, cultivation etc. We hypothesized that a lack a spread within the field is also a good indicator of the efficacy of the control strategies and cropping strategies.

Tab. 2 Control measures and used active substances (a.i.) applied in the treatments (TR) 2014 and 2015: post-emergence (POST), pre sowing with incorporation (PSI), late under leaf treatment (UL).

Tab. 2 Bekämpfungsmaßnahmen und eingesetzte Wirkstoffe (a.i.) in den Verfahren (TR) 2014 und 2015: Nachauflauf (POST), Vorsaar mit Einarbeitung (PSI), späte Unterblattbehandlung (UL).

TR	Control measure a.i. g ha ⁻¹	Time	2014 Date	2015 Date
1	Isoxaflutole, 45	POST	June, 2, BBCH 13-14	May, 18, BBCH 12
	Thiencarbazone, 18 Terbutylazine, 500 Flufenacet, 300			
	Foramsulfuron, 45	POST	June, 10 BBCH 14-16	
2	Thiencarbazone, 15 Iodosulfuron-methyl, 1.5 Bentazon, 957	UL	July, 4	July, 3
	S-metolachlor, 1500 Terbutylazine, 500 Mesotrione, 150 Bentazon, 957	POST	May, 26, BBCH12	May, 18, BBCH 12
		UL	July, 4,	
3	S-metolachlor, 1920	PSI	April, 24	April, 21
	Hoeing	POST	June, 6	
	Hoeing	POST	June, 20	
	Bentazon, 957	UL	July, 4	July, 3
4	Rimsulfuron, 5 Mesotrione, 75	POST	June, 2, BBCH 13-14	May, 18, BBCH 12
	Rimsulfuron, 5 Mesotrione, 75	POST	June, 10 BBCH 14-16	June, 2, BBCH 14-16
	Bentazon, 957	UL	July, 4	July, 3
5	Untreated control			

Results

C. esculentus was present in only 26 samples in the initial year (2013); and absent in 38 samples. In the soil samples taken 2016, we found *C. esculentus* in 3 of the 38 initially non-infested samples. Whereas in 19 of the 26 samples taken at sites initially infested in 2013, no *C. esculentus* plants were found anymore in 2016.

The average density of *C. esculentus* in soil samples taken in initially infested field areas was 1.8 ± 1.6 *C. esculentus* L⁻¹ soil, which corresponds to a density of 366 ± 315 *C. esculentus* plants per m². There were no significant differences in the infestation levels in the TR1 to TR4 treatments, neither in the initially taken samples, nor in the samples taken the following years (Tab. 3).

Tab. 3 Development of the *C. esculentus* infestation levels of the different treatments over the years (means are reported). *Cyperus esculentus* control treatments were compared by ANOVA. Only samples with initial *C. esculentus* infestation were considered. The success of *C. esculentus* control in the respective year was determined, by sampling in the subsequent winter/spring. The columns are named according to year of control and not the year the sampling took place.

Tab. 3 Entwicklung des durchschnittlichen Erdmandelgrasbefalls (*C. esculentus*) in den verschiedenen Verfahren über die Versuchsjahre. Die Verfahren 1 bis 4 wurden mit einer ANOVA verglichen. Es wurden nur die Beprobungsstellen mit einem Anfangsbefall berücksichtigt. Der Erfolg eines Bekämpfungsjahres wurde anhand von gezogenen Bodenproben im Folgejahr bestimmt. Die Spalten sind gemäss Bekämpfungsjahr und nicht gemäss Beprobungsjahr beschriftet.

Treatment TR	samples N	2013 T ₀	2013 T ₁	2014 T ₂	2015 T ₃	change T ₃ – T ₀ 2015-2013 %	paired t-test T ₃ – T ₀ p-value
		----- <i>C. esculentus</i> plants m ⁻² -----					
1	6	460	143	227	40	-85	0.03
2	10	428	282	312	66	-55	0.01
3	4	310	110	130	0	-100	0.02
4	5	240	148	260	16	-91	0.16
p-value		0.64	0.24	0.85	0.45		
5	1	40	160	400	0	-100	

A decrease in infestation levels could be observed after the first year and after the third year, whereas infestation levels had increased after the second year. For the *C. esculentus* control strategies i.e. treatments (TR1 to TR4) we could observe a decrease in infestation levels of 55 to 100% over 3 years (Tab. 3). On average a reduction of about 80% could be achieved with these strategies. Paired t-tests, comparing the initial infestation level with the infestation level at the trial end, were significant for treatment 1, 2 and 3.

3 small, untreated plots (TR5) had been randomly installed within the large plot trial. Only in 1 of the plots *C. esculentus* was initially present (40 plants m⁻²). Strong weed growth especially of *P. maculosa* and *E. crus-galli* suppressed crop growth completely in the untreated plots. After an increase of the *C. esculentus* infestation level in 2013 and 2014, no *C. esculentus* plants were found anymore in the soil sample at the trial end (Tab. 3).

Discussion

The employed strategies allowed a reduction of *C. esculentus* infestation levels of 55 to 100%. In treatment 2, the time elapsed between the early post-emergence and the late under leaf application was too long. Most likely, an additional application in between the 2 applications would further reduce *C. esculentus* infestation. The intensive control strategies in 2013 and 2015 resulted in a reduction of *C. esculentus* infestation, whereas in 2014 the strategies were less successful i.e. infestation levels increased. In each trial year, the conditions during the early growth phase were not favorable for maize due to heavy rainfall and cool temperatures. In 2014, the summer was also rainy (especially in July) (www.agrometeo.ch; ANONYMOUS, 2015). This might have further favored *C. esculentus* growth and proliferation. STOLLER et al. (1979) also carried out trials in maize over 3 years to control *C. esculentus* almost 40 years ago. They worked with EPTC, alachlor, ametryn and bentazone. The former 3 are not (anymore) approved for use in the European Union, neither in Switzerland (ANONYMOUS, 2017a and 2017b). We could achieve similar reduction levels as STOLLER et al. (1979) with currently registered herbicides and under the described adverse weather conditions. Cropping maize over years using S-metolachlor to control *C. esculentus* is also recommended by a draft data sheet on *C. esculentus* of the EPPO (ANONYMOUS, 2004). In our trial, 2 control strategies (TR1 and TR 4) which were not based on S-metolachlor allowed also a reduction of *C. esculentus* over the years. Further, strategies - in accordance to the respective registration situation - are recommended by other extension oriented services (e.g. FOU CART et al., 2017 in Belgium and ANONYMOUS, 2016 in the Netherlands).

In the first year a slight growth depression could be observed early in the season in treatment 3 (presowing herbicide incorporation treatment) due to heavy rainfall. However, the plants recovered fast and no treatment differences could be further observed. The maize was harvested with a standard combine harvester. Thus, yield could not be determined treatmentwise. According to the farmer, yields were generally lower compared to previous years and fields in the region in which weed control was less intensive. Thus, if maize is cropped to reduce infestation levels of *C. esculentus* in field, yield depressions have to be accepted to a certain extent.

The results of the untreated control plot in which *C. esculentus* was initially present have to be interpreted with caution, as they are based on one replicate. They mainly showed that without weed control, maize could not be successfully grown. They confirmed once more that weeds out-compete *C. esculentus* in the long run (e.g. KELLER et al. 2014a, b; BRYSON and CARTER, 2008). The removal of other weeds by hand would have been very difficult to achieve due to the high weed pressure in the field. A nearby field can be seen as a more meaningful control. This field was also infested, but weed control was done without focus on *C. esculentus* control over the years. In 2015, maize was also grown. End of May *C. esculentus* coverage was around 80% in that field. In the field trial, *C. esculentus* plants were very rare and later on mostly controlled by the late under leaf application. Retrospectively, it would have been better to determine the infestation levels in the first year, optimize the trial design based on that information and start with the trial in the second year.

Growing maize has been adopted by farmers in the region to manage and to reduce *C. esculentus* infestation levels in their fields. In order to successfully reduce infestation levels control measures have to be carried out carefully and consistently. Emerging *C. esculentus* plants have to be controlled several times over the season to prevent new tuber formation, to exhaust the “tuber bank” in the soil and to reduce infestation levels in the fields.

References

- ANONYMOUS, 2004: *Cyperus esculentus* (European/non-european). 05-11809 Draft EPPO quarantine pest, Data Sheets on Quarantine Pests, https://www.eppo.int/INVASIVE_PLANTS/ias_lists.htm#others last retrieved 28.09.2017.
- ANONYMOUS, 2015: MeteoSchweiz Klimabulletin Jahr 2014 [climate bulletin 2014]. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz.
- ANONYMOUS, 2016: Bestrijding van Knolcyperus [control of *C. esculentus*]. Nederlands Voedsel – en Warenautoriteit Ministerie van economische Zaken.
- ANONYMOUS, 2017a: EU Pesticide database <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=EN> last assessed, September, 30, 2017.
- ANONYMOUS, 2017b: Pflanzenschutzmittelverzeichnis [List of Pesticides], <http://www.psm.admin.ch/psm/produkte/index.html?lang=de>, last assessed, September, 30, 2017.
- BRYSON, C.T. and R. CARTER, 2008: The Significance of Cyperaceae as Weeds. In: Sedges: Uses, Diversity and Systematics of the Cyperaceae. Naczi, R.F.C. and B.A. Ford, Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden **108**.
- FOUCART, G., F. RENARD, J.-P. MAZY, J.P. and M. MARY, 2017: Le souchet comestible dans le maïs: à identifier et combattre impérativement! [Yellow Nutsedge in corn, identification and control is mandatory] <http://www.sillonbelge.be/491/article/2017-03-31/le-souchet-comestible-dans-le-mais-identifier-et-combattre-imperativement>. last retrieved 28.09.2017.
- GERHARDS, R., C. GUTJAHR, M. WEIS, M., KELLER, M., SÖKEFELD, J. MÖHRING and H.P. PIEPHO, 2012: Using precision farming technology to quantify yield effects attributed to weed competition and herbicide application. Weed Research **52**, 6-15.
- HOLM, L.G., D. L. PLUCKNETT, J. V. PANCHO and J. P. HERBERGER, 1991: The world's worst weeds. Krieger Publishing Company, Malabar, FL.
- KEELEY, P.E., 1987: Interference and Interaction of Purple and Yellow Nutsedges (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*) with crops. Weed Technology **1**, 74-81.
- KELLER, M., R. TOTAL, J. KRAUSS and R. NEUWEILER, 2014a: Erdmandelgras: Mais als mögliche Sanierungskultur [*Cyperus esculentus*: Maize as potential eradication crop]. Agrarforschung Schweiz **5**, 474-481.
- KELLER, M., J. KRAUSS and R. NEUWEILER, 2014b: Use of the crop maize to reduce yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) pressure in highly infested fields in Switzerland. Julius-Kühn-Archiv **443**, 144-122.
- KELLER, M., L. EPPLER, L. COLLET and R. TOTAL, 2015: Beim Erdmandelgras auf Nummer sicher gehen: auch Blütenbildung und Abblühen verhindern! [To be on the safe side: Prevent Inflorescences and no seed production of *Cyperus esculentus*]. Gemüsebau Info **22**, 7-9.

28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig

- KELLER, M., L. EPPLER, L., COLLET and R. TOTAL, 2016: Differences in seed production between self-pollinated and crossed *Cyperus esculentus* plants originating from different regions in Switzerland. In: 7th International Weed Science Congress. June 19-25, University of Life Sciences, Prague, Czech Republic. 2016, 245.
- RIEMENS, M.M., R.Y. VAN DER WEIDE and W.T. RUNIA, 2008: Nutsedge Biology and Control of *Cyperus rotundus* and *C. esculentus*, review of a literature survey. PPO Report, Plant Research International B.V.
- R CORE TEAM, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- STOLLER, E.W., L.M. WAX and F.W. SLIFE, 1979: Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus*) Competition and Control in Corn (*Zea mays*). *Weed Science* **27**, 32-37.

DSS-IWM: An improved European Decision Support System for Integrated Weed Management

DSS-IWM: Ein verbessertes europäisches Entscheidungshilfesystem für die integrierte Unkrautbekämpfung

Heidrun Bückmann^{1*}, Ole Mission Bøjer², Jose Maria Montull³, Manfred Röhrig⁴, Per Rydahl², Andreu Taberner³, Arnd Verschwele¹



¹Julius Kühn-Institut, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, Germany

²IPM Consult Ltd., Hovedgaden 32, 4295 Stenlille, Denmark

³University of Lleida, School of Agrifood and Forestry Science and Engineering, Rovia Roure 191, 25198 Leida, Spain

⁴Information System for Integrated Plant Production (ISIP), Rüdeshheimer Straße 60-68, 55545 Bad Kreuznach, Germany

*Corresponding author, heidrun.bueckmann@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.029

Abstract

In the frame of the European ERA-Net project “Coordinated Integrated Pest Management in Europe (C-IPM)” scientists from Germany, Denmark and Spain design and customise an innovative online decision support system for integrated weed control (DSS-IWM) in maize and winter wheat. The project runs from 2016 to 2019 with the aim to assist farmers and farm advisors in treating weeds in crops at precisely the right times and the most efficient products in the right amounts. DSS-IWM can, therefore, contribute to reducing herbicide consumption markedly without affecting the yield. It will support reliable decisions based on local conditions and will consider thresholds for weed densities, include economic calculations of treatment costs.

The basis of herbicide recommendations is the database and the calculation/mathematics of the DSS-IWM, especially dose-response-relations of herbicides. If data gaps appear pot trials with respective weeds and herbicides are carried out. New features and information are continuously filled in. Additionally, in all countries field trials in maize and winter wheat are carried out to validate the DSS.

Keywords: Decision support system, DSS, herbicides, integrated weed management

Zusammenfassung

Im Rahmen des europäischen ERA-Net Projektes „Coordinated Integrated Pest Management in Europe (C-IPM)” entwickeln Partner aus Deutschland, Dänemark und Spanien ein innovatives, online-gestütztes Entscheidungshilfesystem für die integrierte Unkrautbekämpfung (DSS-IWM) in Mais und Winterweizen. Das von 2016 bis 2019 laufende Projekt soll sowohl Landwirte als auch Berater verlässlich dabei unterstützen, Unkräuter zum richtigen Zeitpunkt mit den geeignetsten Mitteln in richtiger Aufwandmenge zu bekämpfen. Das DSS-IWM soll somit dazu beitragen, den Herbizidaufwand zu reduzieren, ohne Ertragseinbußen zu riskieren. In die Entscheidungen werden lokale Bedingungen, Schadensschwelen und ökonomische Berechnungen der Behandlungen einbezogen.

Die Grundlage des DSS-IWM sind eine zuverlässige Datenbank und Kalkulation der Anwendungen, insbesondere der Dosis-Wirkungsbeziehungen der Herbizide. Datenlücken sollen durch Ergebnisse aus Gefäßversuchen geschlossen werden. Neue Entwicklungen und Informationen werden kontinuierlich eingearbeitet. Das DSS-IWM wird durch Feldversuche validiert.

Stichwörter: DSS, Entscheidungshilfesystem, Herbizide, Integrierte Unkrautbekämpfung

Introduction

Since weeds in winter wheat and especially in maize are of major concern, herbicide input for these crops has large impacts to the environment, but also significantly effects on cost efficiency of farmers. Experiences from Denmark, Germany and other countries have shown that farmers are willing to invest in decision support systems (DSS) in order to increase cost efficiency.

Potentials of this DSS arise from the idea of adjusting control measures to specific and practical conditions on field level, without jeopardising safety in weed management. In contrast to this,

existing practices in applying herbicides in maize and cereals are very often based on general recommendations - resulting in dosages higher than necessary.

Results from field test of previous DSS prototypes show that weeds have been controlled satisfactorily even if herbicide dosages have been reduced by 20-40% compared to local recommendations (e.g. JOERGENSEN et al., 2007; MONTULL et al., 2014; SONDESKOV et al., 2014). However, recent field trials have also demonstrated that herbicide decisions resulted from DSS were often not correct, especially in maize.

During the predecessor EU project 'ENDURE' (2007-2009) 70 different regional DSS versions were analysed by a comprehensive questionnaire. Nine of these DSS included weed control, and best parts were identified in 3 of these DSS. These parts were subsequently integrated in a first draft version of DSS for herbicides designed by Aarhus University and sponsored by the EU-project 'PURE' (2010-14). During this project the few field validation tests in maize have demonstrated the potential for herbicide reduction, but have also shown different lacks in the system. Similar preliminary findings have been obtained for winter wheat during the project 'DSSHerbicide', which has run until 2014.

There are still different prototypes of DSS for herbicide use in maize and winter wheat, but at least in Europe they are not widely used. Despite the recent promising progress of designing a DSS for herbicides, the continuation on biological research and technical designing has unfortunately stopped by the end of the projects mentioned above. In order to achieve a more synergistic work on the European level the decision support system for integrated weed management (DSS-IWM) will merge existing findings and knowledge.

The DSS concept recently supported by IPM Consult Ltd. (IPMC) as a 'proof-of-concept' has been designed on the basis of analyses of existing DSS for Integrated Pest Management (IPM). Since the project will deal with maize and winter wheat growing in the partner's countries Denmark, Germany and Spain, DSS-IWM potentially covers a wide range of arable land in different climatic situations within Europe. Based on the planned structure and implementation, the DSS-IWM can easily be extrapolated to other European countries at a later stage.

Therefore, the project DSS-IWM, which runs from 1st April 2016 to 30th March 2019, will develop a tool for Integrated Weed Management in winter wheat and maize. The main target groups are farmers and plant protection advisors, who can use the system via web portals which already exist for integrated pest management (e.g. ISIP in Germany). Farmers will benefit from economical savings in input of herbicides by maintaining a high efficacy and market profit. These economic effects are accompanied by positive environmental effects due to reduced herbicide dosages.

Objectives and Measures

Based on recent research work on many different regional prototypes of decision support systems for herbicides, data gaps and additional research needs were identified. For example, combinations of efficacy targets and dose-response functions have to be validated under field conditions. Furthermore, specific tools like resistance management have to be added to DSS-IWM. Finally, the project aims to select and improve the best test version (in terms of agronomical robustness and potential for reducing use of herbicides) for practical applications.

For feasible purposes and dissemination, the DSS-IWM will be demonstrated to farmers and advisors on field days and exhibitions. In addition, first experiences and results will be published in relevant national journals for farmers and for similar interesting groups. The project partners also expect feed-back by farmers and advisors organised by meetings or web-based queries. There is an additional opportunity to publish the findings of the project in a more scientific manner in international journals, as well as presentations on national and international conferences.

The final system DSS-IWM may gradually improve farmer's understanding of integrated pest management as well as the knowledge on weeds and control options. In this way farmers may get stronger focus on successful control options. In detail, DSS-IWM will enable farmers and advisors

to follow the 8 general principles for integrated pest management as defined in Directive 2009/128/EC and simultaneously reduce costs for herbicides. DSS-IWM also provides appropriate assistance to select options which might reduce or avoid herbicide resistance. If herbicides are classified according to their environmental behaviour and restrictions for use, farmers can use this additional information for a better herbicide choice. Some of these features are already principally included in some DSS prototypes but have never been filled with data (e.g. costs for maize herbicides). So far, other new parts of information (e.g. mechanical control in maize) are not yet considered at all.

The main results of the new scheduled project will be the following: DSS-IWM

- is ready to online use for weed control in maize and winter wheat
- provides reliable decisions and considers national conditions
- enables to consider thresholds for weed densities
- includes economic calculation on treatment costs
- offers mechanical options wherever possible
- facilitates herbicide resistance management
- is the basic platform for uses in other crops and countries

All in all, the project DSS-IWM will create nationally adapted tool-boxes for more efficient integrated weed control in maize and winter wheat. Therefore, it covers two major crops in Europe. There is also a high potential for using DSS-IWM outside of the three participating countries. However, before a commercial use can start, the system has to be significantly improved and finalised during the project period. The consortium of Julius Kühn-Institut (JKI), Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion e.V. (ISIP), IPM Consult Ltd. (IPMC) and University of Lleida (UdL) is aiming to improve the functionality and application of the DSS-IWM.

In terms of the technical structure, DSS-IWM will address potential users by linking a basic DSS database to other IPM portals already used by these target groups. For example, as far as DSS-IWM is adapted for Germany, it will be part of the well-known ISIP web portal. This approach will be the basis for a successful use of DSS-IWM also in other countries.

Because of the known large interest in using different decision supports systems and because of the scheduled professional release of DSS-IWM, a long-term viable product can be expected in Europe. The new scheduled decision support system will not only help farmers. It will also relieve advisors in giving safe and efficient recommendations which may fully covers IPM principles.

For the future there is a high potential for using DSS-IWM also in other crops and countries. We see promising options especially by combining the system with new site-specific technique like GPS, automatic weed detection and programmes for field and pesticide application management (e.g. via smart phone).

Results of the first project period

In the 1st half of the DSS-IWM project, operational, online DSS prototypes have been constructed for wheat and maize in Germany, Spain and Denmark. These prototypes include 2 levels of 'target efficacy' and full assortments of herbicide products and as many weed species as possible, according to available datasets on efficacy of mainly herbicides. From a study on data gaps it was concluded that sufficient datasets have been supported for professional use in the 3 countries. The DSS prototypes also integrate default adjustments of dose-response calculations of single herbicides for classes of weed size, temperatures and water stress. On top of this, options for 2-4 way tank-mixtures have been included, as such are needed in complex weed infestations.

Field validation trials have been initiated to validate recommendation from the DSS prototypes in both crops in the 3 countries, and provisional results are currently in processing. After 2 years of validation, it is(?) expected that prototype version can be identified, which demonstrate suitable levels of weed control and hopefully also potentials for reducing the input of herbicides.

Missing or not exact efficacy data for herbicides and weeds will be obtained by pot and field experiments, if required.

Simultaneously, additional functionality will soon be designed and integrated in terms of:

- measures for mechanical control
- measures for resistance management.

The latter including:

- measures control of weed biotypes, which have already gained resistance to different 'mode-of-action'
- measures to prevent/delay development of additional herbicide resistance.

Separate dissemination and business plans will be set up in the 3 countries.

Acknowledgement

The project is funded by the European Union in the Seventh Frame Work Programme, KBBE.2013.1.4-02: Integrated Pest Management (IPM) – ERANET Coordination and Support Action, Grant agreement no.: 618110

References

- JOERGENSEN, L.N., E. NOE, J.E. JENSEN, J.E. OERUM and P. RYDAHL, 2007: Decision support systems: barriers and farmers' need for support. 2007 OEPP/EPP, Bulletin OEPP/EPP Bulletin **37**, 374-377.
- MONTULL, J.M., M. SOENDERSKOV, P. RYDAHL and A. TABERNER, 2014: Four years validation of decision support optimising herbicide dose in cereals under Spanish conditions. Crop Protection **64**, 110-114.
- SONDESKOV, M., P. KUDSK, S. MATHIASSEN, O.M. BØJER and P. RYDAHL, 2014: Decision support system for optimized herbicide dose in spring barley. Weed Technology **28**, 19-27.

Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden in *Solanum sisymbriifolium*

*Efficiency and crop compatibility of different herbicides in *Solanum sisymbriifolium**

Bernd Augustin^{1*}, Sebastian Weinheimer²

¹Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen, Nahe, Hunsrück, Rüdesheimerstr. 60, 55545 Bad Kreuznach

²Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz, Lehr- u. Versuchsbetrieb Queckbrunnerhof, 67105 Schifferstadt

*Korrespondierender Autor, bernd.augustin@dlr.rlp.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.030



Zusammenfassung

Solanum sisymbriifolium, auch Litchitomate genannt, wurde im Rahmen des „Gemeinschaftsprojektes zur Erhaltung und Förderung eines zukunftsfähigen Frühkartoffelanbaues in Rheinland-Pfalz“ erfolgreich als Feindpflanze von Kartoffelzystennematoden (*Globodera rostochiensis*) im praktischen Anbau getestet. Das Wärme liebende Nachtschattengewächs zeichnet sich durch eine extrem langsame Jugendentwicklung und geringer Konkurrenzfähigkeit gegen Unkraut aus. Der erfolgreiche Anbau ist daher in hohem Maße abhängig von einer sicheren Unkrautbekämpfung. 2016 wurden Feldversuche (konventionell und logarithmisch) angelegt um das wirksame und verträgliche Mittelspektrum einzugrenzen.

Im Herbizidparzellenversuch wurden alle Bodenherbizide mit einem Glyphosatmittel kombiniert, um größere Pflanzen noch sicher eliminieren zu können. Die Verträglichkeit war limitierender Faktor bei den Bodenwirkstoffen. Im Parzellenversuch verursachte Biathlon (Tritosulfuron) im Nachaufwurf sehr ausgeprägte Wuchsdepressionen. Boxer (Prosulfocarb) war in voller Aufwandmenge und Novitron (Aclonifen+Clomazone) ab $\frac{3}{4}$ Feldaufwand ebenfalls kritisch in der Verträglichkeit. Als vergleichsweise gut verträglich erwiesen sich Centium (Clomazone) mit 0,25 l/ha, Bandur (Aclonifen) mit 1,0 l/ha, Novitron mit 0,9 kg/ha, Proman (Metobromuron) mit 1,0 kg/ha und die Spritzfolge Bandur/Cato (Aclonifen/Rimsulfuron) mit 1,0 l/0,01 g pro ha.

Im logarithmischen Versuch wird ersichtlich, dass die Grenzaufwandmenge für Novitron bei etwa 1,0 kg/ha, für Bandur bei etwa 2,0 l/ha und für Proman bei ungefähr 1,0 kg/ha liegt. Sehr enge Grenzen sind gesteckt bei Sencor Liquid und Stomp Aqua, bei denen schon 0,1 l/ha mehr oder weniger über Totalausfall entscheiden.

Die meisten Arten der vorhandenen Unkrautflora wurden von allen Herbiziden sicher erfasst. Eine Ausnahme bildete das Kreuzkraut, welches in verträglichem Rahmen nur von Centium erfasst wurde.

Stichwörter: Herbizide, logarithmische Applikation, Phytotoxizität, *Solanum sisymbriifolium*

Abstract

In the context of a joint project *Solanum sisymbriifolium* was successfully grown as antagonistic field crop against potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis*). The slow growing *Solanum* has little competitiveness against weeds. Therefore a successful cultivation is completely dependent on an effective weed control. In 2016 plot trials were conducted (conventional and logarithmic) in order to find efficient and compatible herbicides.

In order to control larger weeds, all soil herbicides were sprayed in combination with a glyphosate-herbicide within the conventionally sprayed plot trials. Crop compatibility was the major limiting factor of the herbicides. Post-emergence treatment with Biathlon (tritosulfuron) caused severe growth inhibition. Full application rate of Boxer (prosulfocarb) and $\frac{3}{4}$ of Novitron (aclonifen+clomazone) started to be incompatible for plants. A comparably good crop compatibility showed 0.25 L/ha Centium (clomazone) 1.0 L/ha, 1.0 L/ha Bandur (aclonifen), 0.9 kg/ha Novitron, 1.0 kg/ha Proman (metobromuron) and the application sequence of 1.0 L / 0.01 g/ha Bandur/Cato (aclonifen/rimsulfuron).

Logarithmic application showed the limits of application rates for Bandur around 20 l/ha and for Proman around 1.0 kg/ha. Sencor Liquid and Stomp Aqua had a very narrow range of crop tolerance.

Most of the existing weed species were controlled by the herbicides with the exception of *Senecio vulgaris*, which was sufficiently controlled exclusively by Centium associated with simultaneous crop compatibility.

Keywords: Herbicide, logarithmic application, phytotoxicity, *Solanum sisymbriifolium*

Einleitung

Im Rahmen des „Gemeinschaftsprojektes zur Erhaltung und Förderung eines zukunftsfähigen Frühkartoffelanbaues in Rheinland-Pfalz“ (Dienstleistungszentrum Rhenhessen, Nahe, Hunsrück und der Pfälzische Früh-, Speise- und Veredlungskartoffel Erzeugergemeinschaft w.V.) konnten zwischen 2014 und 2016 Versuche zur Optimierung der Solanumkultur durchgeführt werden. *Solanum sisymbriifolium*, auch Litchitomate genannt, hat sich in Rheinland-Pfalz im praktischen Anbau erfolgreich als Feindpflanze zur Reduzierung von Kartoffelzystennematoden bewährt.

Das Wärme liebende Nachtschattengewächs hat eine extrem langsame Jugendentwicklung und eine entsprechend geringe Konkurrenzfähigkeit gegen Unkraut. Der erfolgreiche Anbau ist daher in hohem Maße abhängig von einer sicheren Unkrautbekämpfung. 2016 wurden Feldversuche (konventionell und logarithmisch) angelegt um das wirksame und verträgliche Mittelspektrum einzugrenzen.

Material und Methoden

Die Herbizidversuche wurden auf einer Versuchsfläche des Lehr- und Versuchsbetriebes Gartenbau des Dienstleistungszentrums Ländlicher Raum Rheinpfalz (Queckbrunnerhof) mit sandigem Lehm, einem pH-Wert von 7,4 und ohne Besatz mit Kartoffelzystennematoden durchgeführt. Solanum-Saatgut der Sorte White Star (Fa. Petersen) wurde mit 25 kg/ha am 22.06.2016 ausgesät. Zur besseren Bewertbarkeit der Unkrautwirkung wurde mittig durch die Parzellen je eine Reihe Unkrautarten (Fa. Herbiseed, Fa. Appels Wilde Samen) der folgenden Arten mittels Sembdner Bürstenrad Sämaschine eingesät: Amarant (*Amaranthus retroflexus*), Einjähriges Kreuzkraut (*Senecio vulgaris*), Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris*), Portulak (*Portulaca oleracea*), Vogelmiere (*Stellaria media*) und Kleine Brennessel (*Urtica urens*). Die Herbizidvarianten sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1 Herbizidvarianten mit gleichmäßiger Behandlung über die Parzellen.

Tab. 1 *Herbicides with uniform application of the plots.*

Vgl.	Variante	Wirkstoff (g/kg bzw. g/l)	Aufwand (kg bzw. l/ha)	Termin	Datum
1	Kontrolle				
	Centium 36 CS*	Clomazone 360	0,25	VA	24.06.2016
2	Cato +	Rimsulfuron 250	0,01	NA	15.07.2016
	FHS		0,30		
3	Boxer + *	Prosulfocarb 800	5,00	VA	24.06.2016
	Boxer* + *	Prosulfocarb 800	5,00	VA	24.06.2016
4	Biathlon +	Tritosulfuron 714	0,07	NA	15.07.2016
	Dash		1,00		
5	Bandur + *	Aclonifen 600	1,00	VA	24.06.2016
	Bandur + *	Aclonifen 600	1,00	VA	24.06.2016
6	Cato +	Rimsulfuron 250	0,01	NA	15.07.2016
	FHS		0,30		
7	Novitron*	Aclonifen + Clomazone 500+30	0,90	VA	24.06.2016
	Novitron + *	Aclonifen + Clomazone 500+30	0,90	VA	24.06.2016
8	Biathlon +	Tritosulfuron 714	0,07	NA	15.07.2016
	Dash		1,00		
9	Novitron + *	Aclonifen + Clomazone 500+30	1,80	VA	24.06.2016
	Novitron + *	Aclonifen + Clomazone 500+30	1,80	VA	24.06.2016
10	Biathlon +	Tritosulfuron 714	0,07	NA	15.07.2016
	Dash		1,00		
11	Proman + *	Metobromuron 500	1,00	VA	24.06.2016
	Proman + *	Metobromuron 500	1,00	VA	24.06.2016
12	Biathlon +	Tritosulfuron 714	0,07	NA	15.07.2016
	Dash		1,00		

* in Tankmischung mit Roundup PowerFlex 0,9 l/ha

Bei den konventionellen Behandlungen kam eine Schachtner Rückenspritze IPF mit einer Spritzbreite von 1,6 m, auf Parzellen mit einer Länge von 6,0 m mit vierfacher Wiederholung zum Einsatz. Die Bodenherbizide wurden stets in Tankmischung mit einem Glyphosatmittel ausgebracht, um größere Pflanzen noch sicher eliminieren zu können.

Die logarithmischen Behandlungen erfolgten mit einer Schachtner Karrenspritze mit einer Arbeitsbreite von 1,6 m, einer Ziellänge von 14,1 m und zweifacher Wiederholung behandelt (Tab. 2).

Die Herbizidapplikationen erfolgten alle mit der Düse Lechler IDKT 9003 mit 3,5 bar, entsprechend 400 l/ha Ausbringungsmenge.

Die Auswertung von Wirkungsgrad und Verträglichkeit des gleichmäßig behandelten Versuches erfolgte entsprechend des EPPO Standards PP 1/93 (ANONYM, 1998). Im Versuch mit logarithmischer Behandlung wurde nur die Verträglichkeit beurteilt. Anhand der kontinuierlich mitgeführten Kontrolle wurden die Aufwandmengen visuell ermittelt bei denen Pflanzenschäden von 10 % bzw. 100 % verursacht wurden.

Tab. 2 Herbizidvarianten mit logarithmischer Applikation.

Tab. 2 *Herbicide treatments with logarithmic application.*

Vgl.	Variante	Wirkstoff (g/kg bzw. g/l)	Zielaufwand (kg o. l/ha)	Versuchstechnischer Maximalaufwand (kg bzw. l/ha)	Termin	Datum
13	Bandur	Aclonifen 600	1,00	5,00	VA	24.06.2016
14	Centium 36 CS	Clomazone 360	0,25	1,25	VA	24.06.2016
15	Proman	Metobromuron 500	1,00	5,00	VA	24.06.2016
16	Sencor Liquid	Metribuzin 600	0,10	0,50	VA	24.06.2016
17	Stomp Aqua	Pendimethalin 455	1,50	7,50	VA	24.06.2016
18	Cato +	Rimsulfuron 250	0,01	0,05	NA	15.07.2016
	FHS		0,30	0,30		

Ergebnisse

In den gleichmäßig behandelten Herbizidvarianten wurden die meisten Arten der vorhandenen Unkrautflora in allen Varianten sicher erfasst (Tab. 3). Eine Ausnahme bildete das Kreuzkraut, welches in verträglichem Rahmen nur von Centium erfasst wurde.

Tab. 3 Herbizidwirkung in Prozent nach konventioneller (gleichmäßiger) Behandlung (% Unkrautdeckungsgrad in Kontrolle).

Tab. 3 *Degree of herbicide efficiency after conventional spraying (% coverage level of weed).*

Vgl.	Amarant	Kreuzkraut	Hirten- täschel	Portulak	Vogelmiere	Kleine Brennnessel
1	(6)	(10)	(4)	(6)	(4)	(2)
2	90	100	100	100	100	100
3	100	78	100	100	95	100
4	100	99	100	100	100	100
5	100	70	100	100	100	100
6	99	49	100	100	100	100
7	100	68	100	100	100	100
8	100	96	100	100	100	100
9	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100
11	100	45	100	100	100	100
12	100	58	100	100	100	100

Ansonsten war das nur der Fall bei Novitron in erhöhter Aufwandmenge und Biathlon, die beide aber nicht ausreichend verträglich waren (Tab. 4). Weitere Probleme zeichnen sich ab bei den Nachtschattenarten, die aber auf der Versuchsfläche von untergeordneter Bedeutung waren.

Im logarithmischen Versuch wird ersichtlich, dass die Grenzaufwandmenge für Novitron bei etwa 1,0 kg/ha, für Bandur bei etwa 2,0 l/ha und für Proman bei ungefähr 1,0 kg/ha liegt. Sehr enge Grenzen sind gesteckt bei Sencor Liquid und Stomp Aqua, bei denen schon 0,1 l/ha mehr oder weniger über Totalausfall entscheiden (Tab. 5).

Cato und Centium zeigten sich bisher in voller Aufwandmenge verträglich.

Tab. 4 Phytotoxizität (%) an *S. sisymbriifolium* nach konventioneller (gleichmäßiger) Behandlung.

Tab. 4 *S. sisymbriifolium* affected by phytotoxicity (%) after conventional herbicide application.

Vgl.	Wuchsdepression	Blattrand- aufhellung	Wuchs- depression	Ausdünnung	Aufhellung
	14.07.16	14.07.16	20.07.16	20.07.16	20.07.16
1	-	-	-	-	-
2	8	21	11	5	9
3	53	0	23	11	0
4	59	0	90	23	84
5	4	0	1	3	0
6	0	0	7	1	3
7	4	8	3	7	4
8	11	10	85	16	85
9	38	20	34	30	20
10	45	18	93	30	88
11	6	2	12	9	0
12	18	1	84	14	85

Tab. 5 Phytotoxizität (%) an *S. sisymbriifolium* nach logarithmischer Behandlung.

Tab. 5 *S. sisymbriifolium* affected by phytotoxicity (%) after logarithmic herbicide application.

Vgl.	Variante	100 % ab: kg/l (22.07.2016)	10 % ab: kg/l (12.08.2016)
13	Bandur	2,80	1,500
14	Centium 36 CS	0,80	ohne
15	Proman	1,50	1,000
16	Sencor Liquid	0,21	0,130
17	Stomp Aqua	0,40	0,500
18	Cato + FHS	ohne	0,017

Diskussion

Ein erfolgreicher Anbau von *Solanum sisymbriifolium* als Feindpflanze der Kartoffelzystematoden ist in erster Linie abhängig von der Unkrautkontrolle. Die langsam keimende, extrem konkurrenzschwache Kultur ist in den ersten 6 bis 8 Wochen nach der Saat auf wirksame Maßnahmen gegen Unkraut angewiesen. Derzeit sind in der Kleinstkultur (< 600 ha) in Deutschland keine Pflanzenschutzmittel ausgewiesen. Vor einer Anwendung ist daher eine Genehmigung nach §22(2) Pflanzenschutzgesetz erforderlich.

Anbauverfahren mit breitem Drillabstand zur Ermöglichung einer mechanischen Unkrautkontrolle sind in Verbindung mit Bandspritzverfahren vorstellbar. Allerdings würde dabei die Durchwurzelung und damit der nematodenreduzierende Effekt vermutlich vermindert und die Kontrolle von Problemunkräutern (Gänsefußarten, Kreuzkrautarten, Ausfallkartoffeln und Nachtschattenarten) erschwert.

Der erforderliche Wirkungszeitraum ist ohne Bodenherbizide kaum abzudecken, zumal Rimsulfuron, als bisher einziger im Nachauflauf verträglicher Wirkstoff, ein zu enges Wirkungsspektrum hat. Aufgrund der eingeschränkten Verträglichkeit ist das Spektrum an geeigneten Präparaten eng begrenzt. Lediglich Cato und Centium erwiesen sich als voll

verträglich. Die Anwendungsbestimmungen von Clomazonemitteln können in den warmen Frühkartoffelanbaugebieten mit sensiblen Gemüsekulturen in der Nachbarschaft und der späten Anwendung (Temperatureinschränkungen) Probleme bereiten. Die bisherigen Ergebnisse lassen weiterführende Versuche sinnvoll erscheinen. Dies gilt insbesondere für Bandur in etwas reduzierter Aufwandmenge, Novitron und Proman in Spritzfolge mit Cato.

Eine Aussaat mit größerem Reihenabstand könnte die Möglichkeit eröffnen zwischen den Reihen das Unkraut mechanisch zu bekämpfen und die Drillreihen mittels Bandspritzung sauber zu halten. Dazu fehlen bislang noch jegliche Versuchserfahrungen. Neben der dafür erforderlichen GPS-gesteuerten Drilltechnik müssen die Verstärkung der Keimstimmung für die Wärme liebenden Unkrautarten durch Bodenbewegung in Verbindung mit Bewässerung und erhöhtem Lichteinfall bewertet werden. Darüber hinaus kann tiefer wirkende Hacktechnik Wurzelschäden verursachen, die eine reduzierte Wurzelbildung verursacht und dadurch den Fangpflanzeneffekt auf die Kartoffelzystenematoden reduziert.

Danksagung

Die Untersuchungen zur Wirksamkeit und Verträglichkeit von Herbiziden wurden im Rahmen des „Gemeinschaftsprojektes zur Erhaltung und Förderung eines zukunftsfähigen Frühkartoffelanbaues in Rheinland-Pfalz“ durchgeführt. Sie wären ohne die finanzielle Unterstützung der Erzeugergemeinschaft Pfälzische Früh-, Speise- und Veredlungskartoffel w.V. und des ehemaligen Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forst (MULEWF) nicht möglich gewesen.

Literatur

ANONYM, 1998: Guidelines for the efficacy evaluation of plant protection products, Vol. 4. Herbicides and plant growth regulators. EPPO, Paris, 67-73.

Versuche zur Unkrautbekämpfung in Ackerbohnen im Nachauflauf

Trials for post-emergence weed control in faba beans

Verena Haberlah-Korr*, Iris Henneken, Chantal Meschede

FH-Südwestfalen, Lübecker Ring 2, 59494 Soest

*Korrespondierende Autorin, Haberlah-Korr.Verena@fh-swf.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.031



Zusammenfassung

Ackerbohnen (*Vicia faba*) erfreuen sich einer wachsenden Anbaubedeutung. Allerdings ist nach Wegfall des Herbizids Basagran (Bentazon) aktuell nur eine Unkrautbekämpfung im Voraufbau möglich. Dies ist vor allem für pfluglos wirtschaftende Betriebe problematisch, bei denen eventuell eine Mulchauflage die Wirkung der Bodenherbizide vermindert. Bei allen Betrieben könnte zudem bei einer Minderwirkung der Voraufbauherbizide nach Frühjahrstrockenheit eine Nachbehandlung wünschenswert sein.

Zu dieser Problemstellung wurde an der Fachhochschule Südwestfalen in Soest im Frühjahr 2016 zunächst ein Halbfreiland-Gefäßversuch angelegt. Dort wurden zwölf in anderen Kulturen zugelassene Nachauflaufherbizide im frühen Nachauflauf der Ackerbohnen bezüglich ihrer Verträglichkeit getestet. Es zeigten sich bei der Hälfte der eingesetzten Herbizide leichte bis deutliche Schäden an den Ackerbohnen.

Im darauffolgenden Jahr 2017 wurden die als aussichtsreich identifizierten Herbizide Betanal maxxPro (Phenmedipham + Desmedipham + Ethofumesat + Lenacil) und Clearfield-Clentiga (Imazamox + Quinmerac) an zwei Standorten im Raum Soest in Freilandversuche überführt. Diese wurden sowohl auf Verträglichkeit als auch auf Wirksamkeit geprüft. Sichtbare Schäden in Form von Wuchsdepressionen und leichten Nekrosen traten dabei in den Varianten mit Betanal maxxPro an beiden Standorten auf, die sich jedoch rasch wieder auswuchsen. Die Wirksamkeit der Nachauflaufherbizide unterschied sich an beiden Standorten sehr deutlich und erreichte nicht die Wirkungssicherheit der Voraufbauprodukte.

Stichwörter: Ackerbohne, Nachauflaufherbizid, Phytotoxizität, Unkrautbekämpfung, *Vicia faba*

Abstract

Faba beans (*Vicia faba*) enjoy rising popularity. Since the herbicide Basagran (Bentazon) is no longer available, weed control is only possible as pre-emergence treatments. This is especially a problem for farms with conservation tillage, where a layer of mulch can possibly impede the effectiveness of soil herbicides. On all farms a subsequent treatment could be desirable, if spring drought makes the herbicide treatments less effective.

To answer this questions the University of Applied Science in Soest / Germany carried out a pot trial under semi field conditions in spring 2016. In this trial twelve herbicides licensed in other crops were tested for their compatibility to faba beans in an early post-emergence stage. Half of the used herbicides resulted in light to distinct damage on the horse beans.

In the following year 2017 the as promising identified herbicides Betanal maxxPro (Phenmedipham + Desmedipham + Ethofumesat + Lenacil) and Clearfield-Clentiga (Imazamox + Quinmerac) were transferred to field trials in two locations in the area of Soest, where they were tested for their compatibility and efficacy. Visible phytotoxic symptoms in form of depression in growing and slight necrosis were found on the variants including Betanal maxxPro in both locations, but the symptoms were outgrown fast. The efficacy of the post-emergence herbicides was very different in both locations and did not reach the dependable efficacy of the pre-emergence products.

Keywords: Faba bean, phytotoxicity, post-emergence herbicide, *Vicia faba*, weed control

Einleitung

Körnerleguminosen, wie Ackerbohnen, sind besonders wertvolle Kulturpflanzen, da sie über ihre Knöllchenbakterien in der Lage sind Luftstickstoff zu fixieren. Zudem können sie unsere häufig sehr blattfruchtarmen Fruchtfolgen auflockern und damit die Infektionskette für Fruchtfolgekrankheiten des Getreides durchbrechen. Damit haben Ackerbohnen einen hohen Vorfruchtwert und führen oft zu Mehrerträgen in der Folgekultur (STEVENS et al., 2017).

Die Anbaufläche von Ackerbohnen hat sich seit 2014 mehr als verdoppelt und beträgt 2017 bundesweit 46.400 ha (STATISTISCHES BUNDESAMT (DESTATIS), 2017). Hauptgrund ist die Möglichkeit den Ackerbohnenanbau im Rahmen des Greenings anrechnen zu lassen. In einigen Bundesländern wie zum Beispiel Nordrhein-Westfalen besteht zudem die Fördermöglichkeit über die Agrarumweltmaßnahme „Vielfältige Kulturen“ (LWK NRW, 2016). Hinsichtlich der Produktionstechnik verdient vor allem die gesamte Unkrautregulierung erhöhte Aufmerksamkeit, da sie ein wesentlicher Bestandteil zur Ertragssicherung darstellt. Das Problem bei der chemischen Unkrautregulierung in Ackerbohnen ist, dass diese aktuell im Voraufbau abgeschlossen werden muss. Das einzige im Nachaufbau vorhandene Präparat Basagran (Bentazon) ist nicht mehr zugelassen (BVL, 2017) und besitzt zudem Wirkungslücken und Verträglichkeitsprobleme.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, zunächst im Gefäßversuch verschiedene Nachaufbauherbizide, die bereits in andern Kulturen zugelassenen waren auf ihre Verträglichkeit in Ackerbohnen zu testen und aussichtsreiche Kandidaten dann in Feldversuchen weiter zu prüfen.

Material und Methoden

Um die Frage der Verträglich- und Wirksamkeit verschiedener Herbizide im frühen Nachaufbau der Ackerbohnen zu untersuchen, wurden zwei Versuche durchgeführt, 2016 ein Halbfreiland-Gefäßversuch und 2017 zwei Feldversuche.

Der **Halbfreiland-Gefäßversuch** fand auf dem Campusgelände der Fachhochschule in Soest statt (Tab. 1).

Tab. 1 Herbizidvarianten im Halbfreilandversuch im Nachaufbau der Ackerbohne, Soest 2016.

Tab. 1 Post emergence herbicide variants in the faba bean semi field trial, Soest 2016.

	Präparat	Wirkstoffe	Aufwandmenge /ha	Zugelassene Aufwandmenge in Beispielkultur
1	unbehandelte Kontrolle			
2	Lentagran WP	450 g/kg Pyridat	1,35 kg	2 kg/ha, gelbe Lupine, Luzerne ab BBCH 13
3	Onyx	600 g/l Pyridat	1,0 l	1,5 l/ha, Zulassung in Mais erwartet
4	Stomp Aqua	455 g/l Pendimethalin	2,0 l	4,4 l/ha Ackerbohnen VA
5	Stemat	500 g/l Ethofumesat	2,0 l	0,66 l/ha, Zuckerrübe pro Appl., ges. 2 / ha
6	Betasana SC	160 g/l Phenmedipham	2,0 l	6 l/ha, Zuckerrübe
7	Betanal Expert	25 g/l Desmedipham, 75 g/l Phenmedipham, 151 g/l Ethofumesat	1,5 l	1,5 l/ha (3 x), Zuckerrüben
8	Betanal maxxPro	60 g/l Phenmedipham, 47 g/l Desmedipham, 75 g/l Ethofumesat, 27 g/l Lenacil	1,5 l	1,5 l/ha (3 x), Zuckerrüben
9	Boxer	800 g/l Prosulfocarb	2,25 l	5 l/ha, Ackerbohne VA
10	Spectrum	720 g/l Dimethenamid-P	0,3 l	1,4 l/ha Sojabohne VA
11	Harmony SX	481 g/kg Thifensulfuron	7,5 g	7,5 g/ha (2 x), Sojabohne
12	Rebell Ultra	325 g/l Chloridazon, 100 g/l Quinmerac	0,8 l	0,83 l/ha (3 x), Zuckerrüben
13	Clearfield-Clentiga + Dash (FHS)	12,5 g/l Imazamox, 250 g/l Quinmerac	1,0 l	1,0 l/ha, Clearfieldresistenter Raps + 1 l/ha Dash

Die Pflanzgefäße (Ø 30 cm x 22 cm Höhe) wurden zu zwei Drittel mit Einheitserde und darüber mit 10 cm Mutterboden (schluffiger Lehm, pH 6,4) befüllt. Der Versuch wurde mit vier Wiederholungen randomisiert angelegt, wobei je vier Gefäße eine Variante bildeten.

Die Aussaat der Sorte Fanfare erfolgte am 22.03.2016 mit 14 Bohnen je Gefäß, die 3 Wochen später einheitlich auf 10 Pflanzen pro Gefäß vereinzelt und nach Bedarf bewässert und von auflaufendem Unkraut befreit wurden. Nach dem Auflauf am 11.04.2016 erfolgte die Behandlung in BBCH 12 am 21.04.2016 bei 18 °C. Vier Tage vor der Applikation waren die Pflanzen keinem Niederschlag ausgesetzt gewesen, so dass die Blätter eine ausreichende Wachsschicht ausbilden konnten um eine übermäßige Herbizidempfindlichkeit zu vermeiden. Der Boniturzeitraum erstreckte sich über 6 Wochen. Zum Abschluss des Versuchs wurde am 21.06.2016 die oberirdische Biomasse der Ackerbohnen bestimmt. Die Ackerbohnen befanden sich zu diesem Termin je nach Schädigungsgrad maximal bei 42 cm Wuchshöhe und im Blühbeginn.

Der **Freilandversuch** wurde auf zwei Ackerbauflächen im Kreis Soest angelegt (Tab. 2). Eine Fläche lag in Rüthen, die zweite auf dem Versuchsgut der Fachhochschule in Merklingsen. Die Versuche wurden jeweils als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Die Parzellengröße betrug in Merklingsen 34,1 m² und in Rüthen 22,5 m². An beiden Standorten wurde jeweils die Sorte Fanfare am 14.3.2017 ausgesät.

Tab. 2 Behandlungsvarianten der Feldersuche in Rüthen und Merklingsen 2017.

Tab. 2 *Herbicide variants in the field trial in Rüthen and Merklingsen 2017.*

Var.	VA (16.3.17 R ^ü then, 22.03.17 M ^e rklingsen)	NA (BBCH 13-14, 03.05.17)
1	Kontrolle	
2	Stomp Aqua 2,0 l/ha + Bandur 2,5 l/ha (600 g/l Aclonifen)	
3	-	Betanal maxxPro 1,0 l/ha
4	-	Betanal maxxPro 1,5 l/ha
5	Stomp Aqua 2,0 l/ha	Betanal maxxPro 1,5 /ha
6	-	Clearfield-Clentiga 1,0 l/ha + Dash 1,0 l/ha (FHS)
7	Stomp Aqua 2,0 l/ha	Clearfield-Clentiga 1,0 l/ha+ Dash 1,0 l/ha (FHS)

Der Versuchsstandort Merklingsen liegt in der Soester Börde in einer Höhenlage von etwa 80 m über NN. Das Klima ist warm und gemäßigt bei rund 750 mm Niederschlag im Jahr und einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 9°C (FH SWF 2017). Die Ackerbohnen wurden dort auf dem Schlag „Kipp“ (schwach lehmiger Schluff, Vorfrucht Silomais, gegrubbert am 25.11.16) mit 40 keimfähigen Körner/ m² ausgesät und liefen am 22.3.2017 auf. Die Nachauflaufapplikation fand am 3.5.2017 später als geplant auf schon recht große Unkräuter statt, da ab dem 11.04. kühles Aprilwetter mit teilweise Bodenfrost herrschte (Tab. 3).

Der Versuchsstandort Rüthen liegt am Haarstrang in einer Höhenlage von etwa 360 m über NN und gehört zu den Hellwegböden der Westfälischen Bucht. Der Standorte ist ca. 40 km von Merklingsen entfernt. Das Klima ist warm und gemäßigt bei rund 820 mm Niederschlag im Jahr und einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 8,5°C. Die Ackerbohnen wurden dort auf dem Schlag „Autmann“ (schluffiger Lehm, Vorfrucht Winterweizen, gepflügt am 1.3.17) mit keimfähigen 45 Körner/ m² ausgesät und liefen aufgrund der größeren Höhenlage erst am 5.4.2017 auf.

An beiden Standorten wurde bis 40 Tage nach der Nachauflaufbehandlung der Wirkungsgrad (WG) gegen die Hauptunkrautarten geschätzt. Die Pflanzenverträglichkeit wurde über Höhenmessungen sowie Schätzung von Nekrosen und Biomassereduktion (im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle) ermittelt.

Tab. 3 Entwicklungsstadien der Hauptunkrautarten bei Applikation am 3.5.2017.**Tab. 3** *Growth stages of the main weeds at application 3.5.2017.*

Unkraut	EPO-Code	Rüthen	Merklingen
Echte Kamille	MATCH	14-15	16-17
Hirtentäschelkraut	CAPBP	12	15
Ackerminze	MENAR		14-16
Kleinblütiges Franzosenkraut	GASPA		14
Ausfallraps	BRSNN	12-13	

Ergebnisse

Gefäßversuch Halbfreiland

Im Gefäßversuch zeigten sich bereits eine Woche nach Applikation der Herbizide bei den Varianten Lentagran WP, Onyx und Boxer erste phytotoxische Reaktionen in Form von Nekrosen, Verklebungen oder Kräuselungen. Zum zweiten Boniturtermin kamen noch Schäden in den Varianten Stemat, Betanal Expert und Betanal maxxPro hinzu (Tab. 4). Am meisten geschädigten Lentagran WP (70 %) und Boxer (86 %) zwei bis drei Wochen nach Applikation. Bis zum Ende des Versuchs wuchsen sich die Schäden z. T. wieder etwas aus, blieben aber in allen Fällen bis zum Ende des Versuchs sichtbar.

Tab. 4 Phytotoxizität (%) der Ackerbohnen im Gefäßversuch 2016 zu den einzelnen Boniturterminen (DAT = Tage nach Behandlung).**Tab. 4** *Phytotoxicity (%) on the faba beans in the pot trial 2016 at the individual assessment dates (DAT = days after treatment).*

Variante	Phytotoxizität (%)					
	27.04.16, 6 DAT	04.05.16, 13 DAT	11.05.16, 20 DAT	18.05.16, 27 DAT	25.05.16, 34 DAT	01.06.16, 40 DAT
1. unbehandelte Kontrolle	0	0	0	0	0	0
2. Lentagran WP	58	70	65	31	34	27
3. Onyx	36	43	28	21	11	6
4. Stomp Aqua	0	0	0	0	0	0
5. Stemat	0	35	46	55	59	48
6. Betasana SC	0	0	0	0	0	0
7. Betanal Expert	0	18	30	25	39	19
8. Betanal maxxPro	0	13	14	6	4	9
9. Boxer	3	54	86	46	40	26
10. Spectrum	0	0	0	0	0	0
11. Harmony SX	0	0	0	0	0	0
12. Rebell Ultra	0	0	0	0	0	0
13. Clearfield-Clentiga +	0	0	0	0	0	0
Dash (FHS)						

Abbildung 1 stellt die Pflanzenhöhen zum Abschluss des Versuchs sechs Wochen nach Applikation dar. Es zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Grenzdifferenz $GD_{5\%} = 4,7$ cm). Am niedrigsten war mit 26 cm die Variante, die mit Boxer behandelt wurde. Die Kontrolle erreichte zu diesem Zeitpunkt 42 cm.

Abbildung 2 zeigt die Trockenmasseerträge der Ackerbohnen zum Ende des Versuchs. Auch hier zeigte sich die Schädigung der Pflanzen in den Varianten Lentagran WP, Onyx, Boxer, Stemat und Betanal Expert.

Keine Phytotoxizität, sowie keine signifikante Reduktion von Biomasse oder Wuchshöhe zeigten die sechs Varianten Stomp Aqua, Betasana SC, Spektrum, Harmony SX, Rebell Ultra und Clearfield-Clentiga + Dash. Betanal maxxPro zeigte eine Phytotoxizität von max. 14 %, die leichte Reduktion von Wuchshöhe und Biomasse wich aber nicht signifikant von der unbehandelten Kontrolle ab.

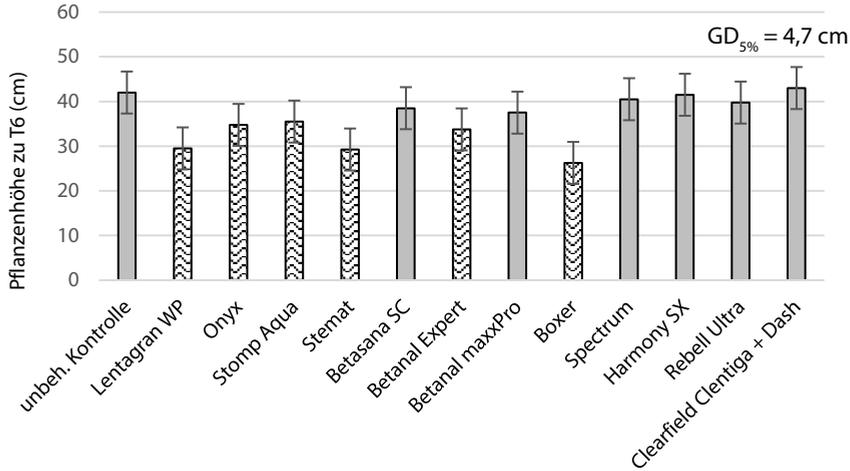


Abb. 1 Pflanzenhöhe aller Varianten in cm, 40 Tage nach Applikation (schraffierte/nicht schraffierte Flächen unterscheiden sich signifikant).

Fig. 1 Plant heights in cm of all variants 40 days after application (shaded/non shaded areas differ significantly).

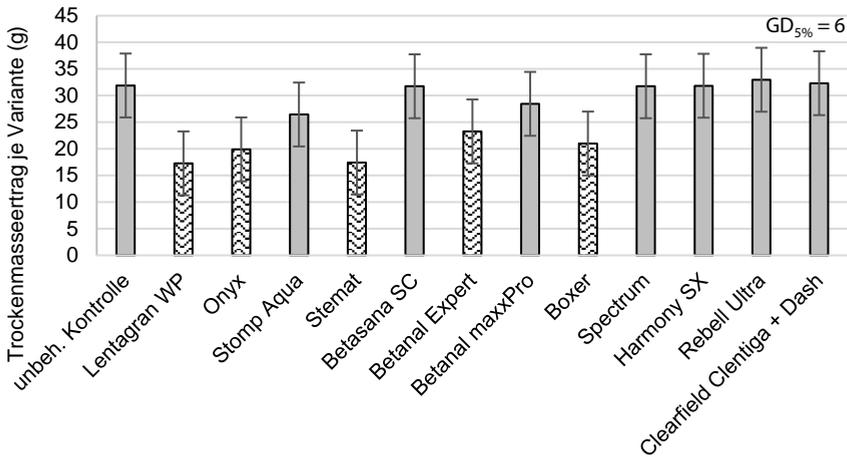


Abb. 2 Trockenmasseertrag aller Varianten in g, 40 Tage nach Applikation (schraffierte/nicht schraffierte Flächen unterscheiden sich signifikant).

Fig. 2 Dry matter yield of all variants 40 days after application (shaded/non shaded areas differ significantly).

Feldversuch

In den Feldversuchen 2017 erwies sich der Einsatz von Clearfield-Clentiga + Dash als komplett pflanzenverträglich und ohne Einfluss auf Biomasse, Wuchshöhe und Entwicklungsstadium der Ackerbohnen. Schäden traten an beiden Standorten aber in den Varianten 3, 4 und 5 mit Betanal maxxPro auf. Sie äußerten sich an den Blättern zum einen in „Löffelbildungen“ und leichten Nekrosen (1- 6 %), zum anderen in Wuchsdepressionen bis maximal 32 % Biomassereduktion (Merkklingsen 12 DAT) und minus 8 cm Wuchshöhe (Rüthen 40 DAT). Die Biomassereduktionen erreichten ihr Maximum zwei bis drei Wochen nach Applikation und wuchsen sich danach rasch

wieder aus (Tab. 5). Eine Reduzierung der Aufwandmenge von 1,5 auf 1,0 l/ha Betanal maxxPro verminderte in Rüthen die Schädigung leicht, in Merklingsen hingegen sehr deutlich.

Die Wirkungsgrade der einzelnen Varianten an den zwei Standorten erreichten etwa vier Wochen nach der Nachauflaufapplikation maximale Werte, die in Abbildung 3 für die Hauptunkrautarten dargestellt werden. In Rüthen wurden dabei deutlich bessere Wirkungsgrade erzielt als in Merklingsen, wo die Nachauflaufapplikation auf weiter entwickelte Unkräuter stattgefunden hatte (Tab. 3). Gegen die nicht dargestellten Unkräuter Ackerminze und kleinblütiges Franzosenkraut erzielten Betanal maxxPro und Clearfield-Clentiga nur Nebenwirkungen von etwa 60 %.

Das Leitunkraut Echte Kamille wurde an beiden Standorten am besten von der reinen Voraufaufkombination aus Stomp Aqua und Bandur erfasst, gefolgt von den Varianten mit der Voraufaufvorlage Stomp Aqua mit Clearfield-Clentiga + Dash oder Betanal maxxPro im Nachauflauf. Die reinen Nachauflaufspritzungen von Clearfield-Clentiga + Dash oder Betanal maxxPro konnten gegen Weißen Gänsefuß und Hirtentäschelkraut bei Anwendung bis maximal zum 4-Blattstadium überzeugen.

Tab. 5 Einfluss der Herbizidbehandlung auf Wuchshöhe und Biomasse der Ackerbohnen in den Feldversuchen 2017 (DAT=Tage nach Behandlung).

Tab. 5 Influence of herbicides on plant height and biomass of faba beans in field trials 2017 (DAT= days after treatment).

Variante	Wuchshöhe (cm)				Biomassereduktion (%)			
	12 DAT	18 DAT	29 DAT	40 DAT	12 DAT	18 DAT	29 DAT	40 DAT
Merklingsen								
1. Kontrolle	22	45	78	100	0	0	0	0
2. Stomp Aqua+ Bandur (VA)	22	45	78	100	0	0	0	0
3. Betanal maxxPro, 1,0 (NA)	22	43	77	100	0	2	< 1	< 1
4. Betanal maxxPro, 1,5 (NA)	19	43	76	100	26	2	< 1	< 1
5. Stomp Aqua (VA), Betanal maxxPro (NA)	16	43	77	100	32	3	< 1	< 1
6. Clearfield-Clentiga + Dash (NA)	22	45	78	100	0	0	0	0
7. Stomp Aqua (VA), Clearfield-Clentiga + Dash (NA)	22	45	78	100	0	0	0	0
Rüthen								
1. Kontrolle	14	29	65	103	0	0	0	0
2. Stomp Aqua+ Bandur (VA)	14	29	65	104	0	0	0	0
3. Betanal maxxPro, 1,0 (NA)	14	25	61	100	0	16	10	3
4. Betanal maxxPro, 1,5 (NA)	13	22	55	94	1	24	15	4
5. Stomp Aqua (VA), Betanal maxxPro (NA)	14	23	56	95	0,5	21	15	5
6. Clearfield-Clentiga + Dash (NA)	14	28	65	110	0	0	0	0
7. Stomp Aqua (VA), Clearfield-Clentiga + Dash (NA)	14	28	65	106	0	0	0	0

Eine Ertragserfassung konnte nur in Merklingsen durchgeführt werden und zeigte keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen den Varianten (Tab. 6). Den höchsten Ertrag wies die mit Stomp Aqua und Bandur im Voraufauf behandelte Variante auf. Die Tausendkorntmasse (TKM) dieser Variante war im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikant höher, ebenso die der mit Clearfield-Clentiga + Dash behandelten Varianten.

Tab. 6 Ackerbohnenenerträge und Tausendkornmasse (TKM), Merklingsen 2017.

Tab. 6 *Faba beans yield and TKM Merklingsen 2017.*

Var.	Vorauflauf	Nachauflauf (BBCH 13-14)	Ertrag dt/ha (14 % TS)	rel. %	TKM (g)		rel. (%)
1	unbehandelte Kontrolle		39,5	100	578,3	a	100
2	Stomp Aqua 2,0 + Bandur 2,5		43,3	110	605,7	bcd	105
3	-	Betanal maxxPro 1,0	38,0	96	585,7	ab	101
4	-	Betanal maxxPro 1,5	38,7	98	584,1	ab	101
5	Stomp Aqua 2,0	Betanal maxxPro 1,5	40,1	102	599,7	abc	104
6	-	Clearfield- Clentiga 1,0 + Dash 1,0	38,6	98	625,4	d	108
7	Stomp Aqua 2,0	Clearfield- Clentiga 1,0 + Dash 1,0	41,1	104	623,4	cd	108
GD 5%			n.s.		25,8		

Am Standort Rüthen traten zudem Entwicklungsdepressionen auf. Während sich im Großteil des Versuchs bereits die Blütenanlagen entwickelten (BBCH 50), befanden sich die mit Betanal maxxPro behandelten Varianten noch in der Blatt- und Sproßentwicklung (BBCH 17-25).

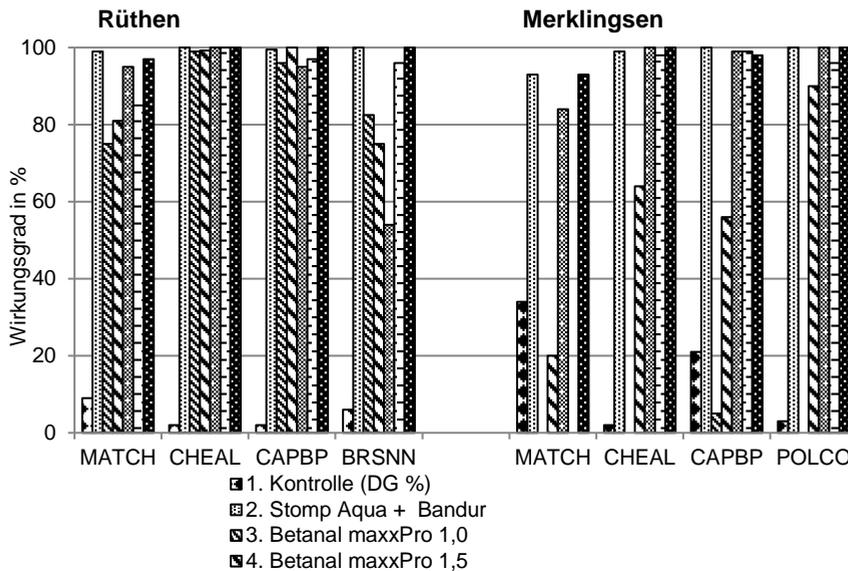


Abb. 3 Wirkungsgrad der verschiedenen Herbizide gegen unterschiedliche Unkräuter an den Standorten Rüthen und Merklingsen 2017 vier Wochen nach Applikation.

Fig. 3 *Efficiency of the different herbicides against various weeds at Rüthen and Merklingsen 2017 four weeks after application.*

Diskussion

Die Auswahl der zwölf für den Gefäßversuch 2016 genutzten Herbizide entstand aufgrund von Versuchsplänen des Arbeitskreises Lückenindikation im Ackerbau, Firmeninformationen sowie der von Klingenbergen im Jahr 2015 durchgeführten Versuche (KLINGENBERG, 2016). In dem vorgestellten Versuch erwiesen sich Lentagran WP, Onxy, Stemat, Betanal Expert, Boxer und mit Einschränkung Stomp Aqua aufgrund mangelnder Pflanzenverträglichkeit als ungeeignet. Als verträglich erschienen die sechs Herbizide Spectrum, Rebell Ultra, Betasana SC, Harmony SX, Clearfield-Clentiga + Dash und Betanal maxxPro.

Aus dieser Liste wurden firmenseitig nur Clearfield-Clentiga + Dash und Betanal maxxPro unterstützt und konnten somit 2017 in zwei Freilandversuchen weiter verfolgt werden. Zwei einjährige Feldversuche bieten für die abschließende Beurteilung der Fragestellung aber sicher keine ausreichende Datengrundlage, die dargestellten Ergebnisse sind daher als weiter zu überprüfende Tendenzen zu verstehen.

Das Herbizid Clearfield Clentiga + Dash wirkt mit Imazamox (ALS-Hemmer, HRAC B) und Quinmerac (synthetisches Auxin, HRAC O) hauptsächlich über das Blatt auf aktiv wachsende Unkräuter (BASF, 2017). Wie auch in der Gebrauchsanleitung für Raps dargestellt, konnte eine sehr gute Wirkung auf Weißen Gänsefuß, Hirtentäschelkraut, Windenknöterich und Ausfallraps nachgewiesen werden. Eine gute Wirkung gegen Echte Kamille konnte auf große Kamillen (BBCH 16-17 bei Applikation) in Merklingsen nicht erzielt werden und war produktseitig auch nicht zu erwarten, während Kamillen im 4-5 Blattstadium in Rüthen mit 85 % Wirkungsgrad noch erstaunlich gut erfasst wurden.

Betanal maxxPro verfügt als Mischung der blattaktiven Wirkstoffe Phenmedipham und Desmedipham (HRAC C1), Ethofumesat mit Blatt und Bodenwirkung (HRAC N) und Lenacil als Wirkungsverstärker mit Bodenwirkung (HRAC C1) über ein breites Anwendungsspektrum (BAYER, 2017). Wie auch in der Gebrauchsanleitung für Zuckerrüben dargestellt, konnte ebenfalls eine gute Wirkung auf Windenknöterich nachgewiesen werden. Die Wirkung auf Weißen Gänsefuß und Hirtentäschelkraut war nicht konsistent und auch die Wirkung auf Ausfallraps war nur mäßig. Gegen Echte Kamille konnte die produktseitig ausgelobte gute Wirkung nicht erzielt werden.

Hinsichtlich der Pflanzenverträglichkeit unterschieden sich die beiden getesteten Herbizide deutlich. Während Clearfield-Clentiga keinerlei phytotoxische Reaktionen hervorrief, führte Betanal maxxPro kurzfristig zu deutlichen Biomassereduktionen, die auch die Wuchslänge verminderten und die Entwicklung verlangsamten. Im Vergleich der Standorte ist zu erkennen, dass die Intensität der Schäden in Merklingsen höher war als die in Rüthen. Die Häufigkeit der auftretenden Schäden ist ähnlich, jedoch bildet sich der Schaden in Merklingsen wesentlich schneller wieder zurück. Zurückzuführen ist dies unter anderem auf das Wetter. Auf dem Standort in Rüthen herrscht ein kühleres Klima mit vermehrten Niederschlägen. In Merklingsen dagegen ist es wärmer mit teilweise mehr Sonnenschein, was die Verträglichkeit der Herbizide in Merklingsen förderte. In Rüthen hingegen liefen die Ackerbohnen bedingt durch die kühleren Temperaturen erst eine Woche später auf und das Wachstum war insgesamt verzögert. Dadurch waren sowohl Ackerbohnen als auch Unkraut hier zur Applikation noch kleiner und weniger weit entwickelt als in Merklingsen.

Ein weiterer ausschlaggebender Punkt könnte die Bodenbearbeitung sein. In Rüthen wird derzeit ein Pflug zur Bodenbearbeitung eingesetzt, in Merklingsen wird dagegen pfluglos mit Mulchsaat gearbeitet. Vermutlich trat in Merklingsen in erster Linie die Blattwirkung des Betanal maxxPro zum Vorschein und die Bodenwirkung der Ethofumesate wurde durch die Mulchschicht negativ beeinflusst.

Ergänzend zu den dargestellten Versuchen wurde ebenfalls in Soest in einem zwei jährigen Feldversuch 2016-2017 die Beschattungswirkung von fünf verschiedenen Ackerbohnenarten erfasst, um Aussagen zu einer möglichen indirekten Unkrautreduzierung durch Lichtkonkurrenz treffen zu können. Allerdings zeigte der Vergleich der Sorten Birgit, Boxer, Fanfare, Fuego und

Taifun (tanninfrei) keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Deckungsgrad bzw. Beschattungsleistung. Tendenziell zeigte die Sorte Birgit durch größere und breitere Pflanzen die beste Beschattungsleistung.

Danksagung

Die vorgestellten Versuche wurden im Rahmen von Abschlussarbeiten am Fachbericht Agrarwirtschaft der FH-Südwestfalen durch die engagierte Arbeit der Studentinnen Chantal Meschede (Bachelorarbeit, Gefäßversuch 2016), Clara Schubert & Chantal Meschede (Projektarbeit Master, Feldversuch 2017) und Annika Hinzen (Projektarbeit & Bachelorarbeit Beschattungsversuche 2016 und 2017) erstellt. Wir bedanken uns bei den beteiligten Firmen für die Bereitstellung des Saatguts und der Herbizide, sowie für die Unterstützung bei den notwendigen Formalitäten.

Literatur

- BASF, 2017: Gebrauchsanleitung Clearfield Clentiga, <https://www.agrar.basf.de/agroportal/de/media/migrated/de/productfiles/ga/ga-clearfield-clentiga-und-dash-ec.pdf> (15.9.2017).
- BAYER, 2017: Gebrauchsanleitung Betanal maxxPro, <https://agrar.bayer.de/de-DE/Produkte/Pflanzenschutzmittel/Produkte> (15.9.2017).
- BVL - Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2017: Abgelaufene Pflanzenschutzmittel, https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/Abgelaufene_PSM.xls (15.9.2017).
- FHSWF (Fachhochschule Südwestfalen) 2017: Versuchsgut Merklingsen: der Standort http://www4.fh-swf.de/de/home/ueber_uns/standorte/so/fb_aw/versuchsgutmerklingsen/standortundanbaustrategie/standortundanbaustrategie.php# (14.9.2017).
- KLINGENHAGEN, G., 2016: Zwischenfrüchte kennenlernen und Herbizide ausprobieren. Getreidemagazin **3**/2016, S. 21-24.
- LWK NRW - Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2016: Anbau vielfältiger Kulturen im Ackerbau. <https://www.landwirtschaftskammer.de/foerderung/laendlicherraum/aum/ackerbauvielfalt.htm> (23.08.2016).
- STATISTISCHES BUNDESAMT (Destatis), 2017: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Landwirtschaftliche Bodennutzung, Fachserie **3**, Reihe 3.1.2, 2017 (Vorbericht), 4.
- STEVENS, K., P. ZERHUSEN-BLECHR, J. BRAUN und B.C. SCHÄFER, 2017: Heimische Körnerleguminosen- wertvoll für die Fruchtfolge, Raps Special Körenerleguminosen **1**/2017 (35, Jg), 2-3.

Mechanische und chemische Unkrautbekämpfung im Mischanbau von Mais und Bohne

Mechanical and chemical weed control in intercropped maize and bean

Sabine Andert*, Bärbel Gerowitt

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

*Korrespondierende Autorin, sabine.andert@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.032



Zusammenfassung

Der Mischanbau, bestehend aus Mais und Phaseolus-Bohnen, ist ein Anbausystem, in dem Nährstoffe, Wasser und Licht effektiv genutzt werden.

Der vorliegende Beitrag stellt einen einjährigen Versuch (2017) zur optimierten Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern im Mischanbau vor. In einer randomisierten Blockanlage wurden Mais und Feuerbohnen am Standort Rostock im Gemenge angebaut. Es wurden drei chemische und eine mechanische Methode der Unkrautkontrolle sowie eine Variante ohne Unkrautkontrolle verglichen.

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen, dass sich die Art der Bekämpfung sowie der Zeitpunkt der Applikation signifikant auf die Dichte von Unkräutern sowie den Ertrag des Gemenges auswirkte. Neben der effektivsten Bekämpfung, in der ein Herbizid im Voraufbau der Feuerbohne (BBCH 12 Mais) eingesetzt wurde, führte die rein mechanische Unkrautregulierung ebenfalls zu einer signifikant niedrigeren Unkrautdichte. Die Unkrautbedeckung wurde mittels der effektivsten Herbizidstrategie um bis zu 80 % und mittels mechanischer Unkrautregulierung um bis zu 60 %, im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle, reduziert.

Die Pflanzenzahlen von Mais und Feuerbohnen wurde nicht signifikant durch die unterschiedlichen Methoden der Unkrautbekämpfung eingeschränkt. Die eingesetzten Herbizide wurden von Mais und Feuerbohnen gut vertragen.

Die vorliegenden Versuchsergebnisse stellen Unkrautbekämpfungsstrategien vor, die für den Gemengeanbau von Mais mit Feuerbohnen geeignet sind.

Stichwörter: Energiepflanzen, Leguminosen, Parzellenversuch, Unkrautbekämpfung

Abstract

An intercropping of maize and beans is known for an efficient utilization of nutrients, water and light available.

This study presents a one-year experiment (2017) for the optimized control of weeds and grasses in an intercropped maize and bean crop. We established a randomized block design for the intercropping system in Rostock, and within this designed system compared three chemical and one mechanical methods of weed control as well as a variant without weed control.

The results found confirm that the method of control as well as the time of application significantly affects the density of weeds as well as the yield of the intercropping system. In addition to the most effective control, in which a chemical herbicide is used pre-emergence (BBCH 12 maize), the mechanical weed control also led to a significantly lower weed density.

Weed coverage was reduced by up to 80% using the most effective herbicide strategy and by up to 60% through mechanical weed control, compared to the untreated control.

The different methods of weed control did not decrease the number of established maize and bean crops. The herbicides were well tolerated by the maize and beans.

The results provide suitable weed control strategies for the cultivation of an intercropped maize and bean crop.

Keywords: Energy crops, legumes, plot trial, weed control

Einleitung

Aufgrund der hohen Erträge und der guten Energieausbeute ist Silomais das wichtigste Co-Substrat in der Biogaserzeugung. Der steigende Maisanbau kann jedoch zahlreiche Probleme mit sich führen wie Bodenerosion, hohe Nährstoffbelastungen und phytosanitäre Risiken. Der

Mischanbau, bestehend aus Mais (*Zea mays*) und *Phaseolus*-Bohnen, stellt ein geeignetes Anbausystem dar, um diesen Problemen entgegen zu wirken. Nährstoffe, Wasser und Licht können von Gemengen effektiver genutzt werden und zu einer Erhöhung der Erträge bzw. der Ertragsstabilität beitragen (BLACKSHAW et al., 1993; LIEBMANN und DYCK, 1993; HAUGGAARD-NIELSEN et al., 2008; NEUMANN et al., 2007; EICHLER-LÖBERMANN et al., 2009).

Die Unkrautbekämpfung in diesen Anbausystemen ist allerdings eine große Herausforderung (DIETZE, 2011; NURK et al., 2015). Werden zwei Kulturen zusammen angebaut, ist die Auswahl der Herbizide eingeschränkt, es dürfen nur Wirkstoffe verwendet werden, die keinen der Partner schädigen. Effektive Unkrautkontrolle im Mais-Bohnenmischanbau ist jedoch erforderlich, um Ertragsverluste durch Unkräuter und Ungräser zu minimieren (FISCHER und BÖHM, 2016).

Ziel der vorliegenden Studie ist es festzustellen, inwiefern die Art der Bekämpfung (chemisch/mechanisch) sowie der Zeitpunkt der Applikation (Vor-/Nachauflauf Bohne) die Artenzusammensetzung und Dichte von Unkräutern und Ungräsern sowie den Ertrag des Gemenges beeinflussen. Zu diesem Zweck wurden drei chemische und eine mechanische Methode der Unkrautkontrolle sowie einer Variante ohne Unkrautkontrolle verglichen.

Material und Methoden

Versuchsstandort

Der Freilandversuch wurde im Frühsommer 2017 an der Versuchsstation der Universität Rostock (Mecklenburg-Vorpommern) durchgeführt. Aufgrund der Nähe zur Ostsee ist die Region von einem maritimen Klima geprägt. Die örtlichen Bodenverhältnisse sind Moränensand über Moränenlehm und Fluvisand. Die vorliegenden Körnungsarten sind SI (anlehmiger Sand) und IS (stark lehmiger Sand). Bonitiert ist der Standort mit einer mittleren Ackerzahl von 45 Bodenpunkten.

Versuchsaufbau

Der Versuch wurde in einer teilrandomisierten Blockanlage mit fünf Varianten, vierfach wiederholt angelegt (Tab. 1). Es wurden drei chemische und eine mechanische Methode der Unkrautkontrolle sowie einer Variante ohne Unkrautkontrolle im Parzellenversuch verglichen. Jede Einzelparzelle hatte eine Größe von 7,5 m².

Tab. 1 Versuchsglieder, Art der Bekämpfung sowie BBCH-Stadien von Mais und Feuerbohne zum Zeitpunkt des Einsatzes.

Tab. 1 *Treatments, method of control and BBCH stages of maize and bean at time of treating.*

Versuchsglied	Methode der Unkrautkontrolle	BBCH Mais	BBCH Feuerbohne
UK	Unbehandelte Kontrolle	-	-
Chem. NA 1	Herbizidapplikation nach Auflauf der Feuerbohne	-	12
Chem. VA 1	Herbizidapplikation vor Auflauf der Feuerbohne	12	-
Chem. VA 2	Herbizidapplikation vor Auflauf der Feuerbohne	12	-
Mech. BB	Mechanische Bekämpfung mit Hacke und Striegel	12,16	-

Versuchsdurchführung

Es wurden drei Herbizidvarianten etabliert (Tab. 2), eine Variante die ausschließlich gegen Ungräser wirkt (Chem. NA) sowie zwei Varianten, die ein breites Wirkungsspektrum gegen Ungräser und Unkräuter aufweisen (Chem. VA 1, Chem. VA 2).

Alle Herbizide wurden mit 300 l Wasser pro Hektar und einem Druck von 2,1 bar, bei einer Geschwindigkeit von 4 Kilometern pro Stunde, ausgebracht. Verwendet wurden Flachstrahldüsen, die Düsengröße betrug 03.

Die mechanische Unkrautbekämpfung wurde im BBCH-Stadium 12 mit dem Hackstriegel (Fabrikat Einböck) mit einem Strichabstand von 2,5 cm und im BBCH 16 mit der Scharhacke (Gänsefußschar) durchgeführt.

Tab. 2 Eingesetzte Wirkstoffe und deren HRAC-Gruppe, Wirkstoffgehalt (g/l) sowie Aufwandmenge (l/ha).

Tab. 2 *Treatment herbicides and their active ingredients, HRAC group, active ingredient content (g/L) and dose rate (g/L).*

Versuchsglied	Wirkstoffe	HRAC-Gruppe	Wirkstoffgehalt (g/l)	Aufwandmenge (l/ha)
Chem. NA	Cycloxydim + Netzmittel	A	100	1,5 + 1,5
Chem. VA 1	Clomazone	F3	360	0,2
Chem. VA 2	Dimethenamid-P + Pendimethalin	K1+K3	455+720	2,8 + 1,4

Unkrauterfassung

Es wurden zwei Unkrautbonituren durchgeführt. Bonitur 1 wurde zu BBCH 16 des Mais durchgeführt. Zu diesem Zweitpunkt waren die Behandlungen in den Varianten Chem. VA 1, Chem. VA 2 sowie die Mech. BB abgeschlossen. Die zweite Bonitur fand 10 Tage nach der Applikation in Chem. NA statt. Zur Bestimmung des Unkrautdeckungsgrades (%) sowie der Artenanzahl (Anzahl Arten/m²) wurde der Göttinger Schätzrahmen verwendet. In jeder Wiederholung eines Versuchsgliedes wurden fünf Erhebungen mit dem Schätzrahmen durchgeführt und zu einem Mittelwert zusammengefasst.

Ertragserfassung

Die Anzahl der etablierten Mais- und Bohnen wurde durch eine Zählung ermittelt. Der Gesamtertrag (dt TM/ha) wurde mit einem Parzellenhäcksler (Fabrikat Halldrup) erfasst.

Statistische Auswertungen

Unterschiede zwischen den Methoden der Unkrautkontrolle wurden mittels ANOVA, Tukey-Test (normalverteilte Daten) und Kruskal-Wallis Test (nicht normalverteilte Daten) ermittelt. Die statistischen Auswertungen erfolgten mit der Softwareumgebung R (R CORE TEAM, 2014) und darin mit den Paketen agricolae (STEEL, 1997).

Ergebnisse

Unkrautdeckungsgrad

Abbildung 1 stellt den Unkrautdeckungsgrad vergleichend zwischen den Versuchsgliedern der Bonitur 1 (Abb. 1a) und Bonitur 2 (Abb. 1b) dar. Zu beiden Terminen wurde in der unbehandelten Kontrolle der höchste Unkrautbedeckungsgrad bonitiert.

Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten Chem. VA 1 und Chem. VA 2 sowie der mechanischen Methode (Mech. BB) zur Bonitur 1 ermittelt (Abb. 1a).

Der Deckungsgrad dieser Varianten konnte im Vergleich zu den unbehandelten Versuchsgliedern UK und Chem. NA signifikant reduziert werden.

Signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Methoden der Unkrautkontrolle wurden zur Bonitur 2 analysiert (Abb. 1b). Der Unkrautdeckungsgrad der Chem. VA 1 – Methode ist signifikant geringer im Vergleich zu allen anderen Methoden der Unkrautkontrolle, mit Ausnahme der mechanischen Methode der Unkrautbekämpfung. Die Methoden Chem. VA 2 und Chem. NA, sowie Chem. NA und die unbehandelte Kontrolle unterschieden sich nicht signifikant.

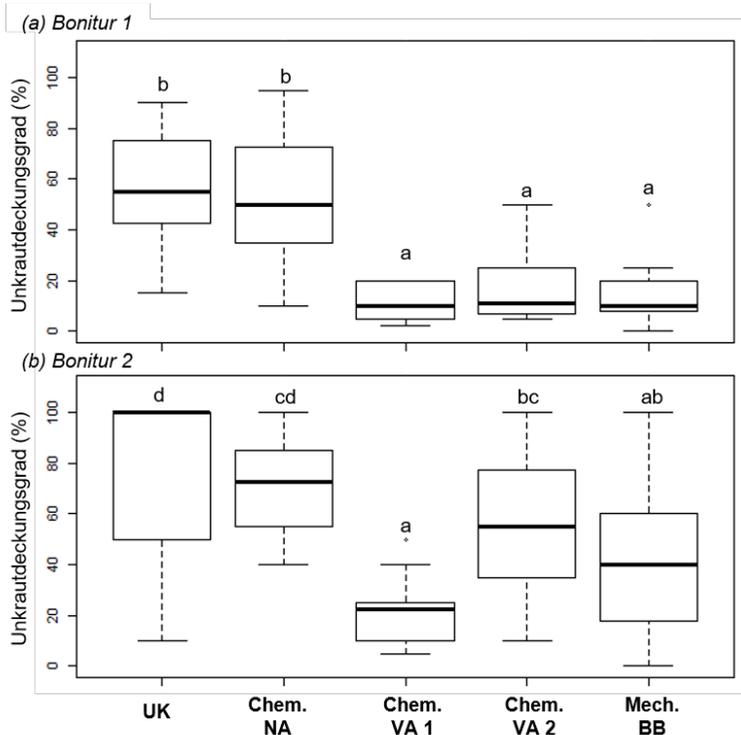


Abb. 1 Unkrautdeckungsgrad (%) in den Versuchsgliedern mit verschiedenen Methoden der Unkrautkontrolle zur Bonitur 1 (Abb. 1a) und Bonitur 2 (Abb. 1b). Unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Versuchsgliedern.

Fig. 1 Weed coverage in the treatments with different methods of weed control on scoring 1 (Fig. 1a) and scoring 2 (Fig. 1b). Different letters represent significant differences ($p < 0.05$) between the different methods of weed control.

Unkrautdichte

Abbildung 2 stellt die Unkrautdichte (Anzahl/ m²) der verschiedenen Methoden der Unkrautkontrolle zur Bonitur 1 (Abb. 2a) sowie Bonitur 2 (Abb. 2b) dar.

Zu beiden Terminen sind die Unterschiede besonders zwischen den Varianten in der Anzahl von *Poa spp.* sowie *Galinsoga spp.* ausgeprägt. Die Anzahl beider Arten in der Chem. VA 1-Variante ist geringer im Vergleich zu allen anderen Varianten. Hingegen unterscheidet sich die Anzahl der Arten *Chenopodium spp.* (Bonitur 1 und 2) sowie *Veronica spp.*, *Capsella bursa-pastoris* und *Spergula arvensis* (Bonitur 2) nicht signifikant voneinander. Taubnesselarten kommen zu beiden Terminen in der Chem. VA 1-Variante signifikant geringer vor als in allen anderen Versuchsgliedern. Die Anzahl von *Stellaria media* ist zur Bonitur 2 in der Chem. VA1-Variante signifikant geringer im Vergleich zur Kontrolle und der Mech. BB-Variante. Zu diesem Termin ist die Anzahl von *Galinsoga spp.* in der Mech. BB-Variante signifikant höher im Vergleich zu allen weiteren Versuchsgliedern.

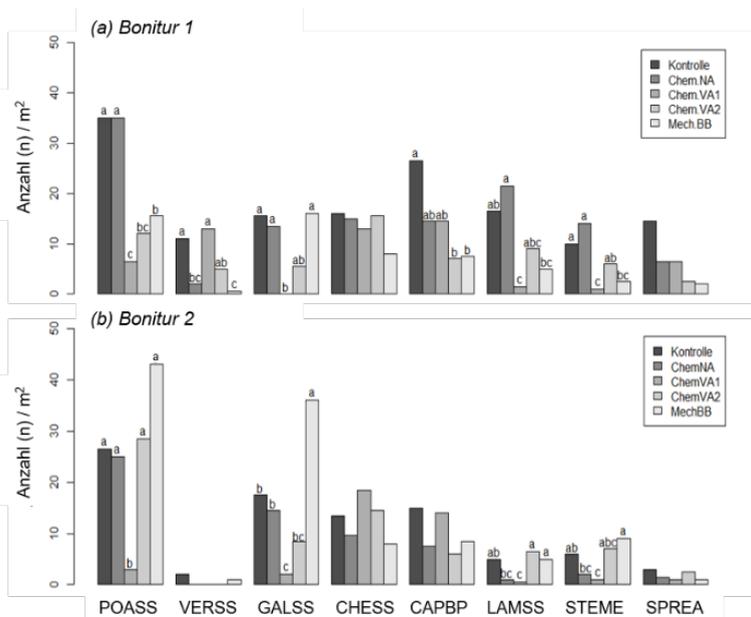


Abb. 2 Dichte der häufigsten Arten (Anzahl/m²) der verschiedenen Methoden der Unkrautkontrolle zur Bonitur 2. Unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede (p < 0,05) zwischen den Versuchsgliedern. POASS (*Poa* spp.), VERSS (*Veronica* spp.), GALSS (*Galinsoga* spp.), CHESS (*Chenopodium* spp.), CAPBP (*Capsella bursa-pastoris*), LAMSS (*Lamium* spp.), STEME (*Stellaria media*), SPREA (*Spergula arvensis*).

Fig. 2 Density of most frequent species (number of species/m²) of different methods of weed control on scoring 2. Different letters represent significant differences (p < 0.05) between the different methods of weed control. POASS (*Poa* spp.), VERSS (*Veronica*-spp.), GALSS (*Galinsoga* spp.), CHESS (*Chenopodium* spp.), CAPBP (*Capsella bursa-pastoris*), LAMSS (*Lamium* spp.), STEME (*Stellaria media*), SPREA (*Spergula arvensis*).

Anzahl etablierter Kulturpflanzen

Die Anzahl der etablierten Mais- und Bohnen unterschied sich zwischen den verschiedenen Methoden der Unkrautkontrolle nicht signifikant (Tab. 3).

Tab. 3 Mais- und Bohnenpflanzen in den Versuchsgliedern. Sd: Standardabweichung. Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte signalisieren signifikante Unterschiede (p < 0,05) zwischen den Versuchsgliedern.

Tab. 3 Number of established maize and bean crops of different methods of weed control. sd: standard deviation. Different letters in a column represent significant differences (p < 0.05) between the different methods of weed control.

Versuchsglied	Anzahl etablierter Pflanzen/Parzelle	
	Mais (sd)	Bohne (sd)
UK	49,0 ^a (2,4)	42,6 ^a (2,0)
Chem. NA	48,0 ^a (3,6)	44,6 ^a (2,6)
Chem. VA 1	48,0 ^a (2,6)	43,6 ^a (4,4)
Chem VA 2	47,0 ^a (2,6)	44,0 ^a (3,0)
Mech. BB	44,6 ^a (4,0)	40,0 ^a (5,0)

Die Standardabweichungen sind in der mechanischen Methode der Unkrautbekämpfung in Mais und Bohne am höchsten. Hingegen variiert die Anzahl der etablierten Mais- und Bohnenpflanzen in der unbehandelten Kontrolle am geringsten.

Ertragserfassung

Tabelle 4 vergleicht den Trockenmasseertrag (dt/ha) zwischen den verschiedenen Methoden der Unkrautkontrolle.

Die höchsten Erträge wurden in den Versuchsgliedern mit chemischer Vorauflaufbekämpfung (Chem. VA 1 und Chem. VA2) erreicht. Der Ertrag der Chem. VA 1 – Methode ist - mit Ausnahme der Chem. VA 2 - signifikant höher als der Ertrag der anderen Versuchsglieder. Die Versuchsglieder Chem. VA 2 und Mech. BB unterschieden sich nicht signifikant im Ertrag. Die signifikant geringsten Erträge wurden in der unbehandelten Kontrolle sowie der chemischen Nachauflaufmethode (UK und Chem. NA) ermittelt.

Die Standardabweichungen (sd) sind in den chemischen Methoden der Unkrautbekämpfung am höchsten (Chem. NA, Chem. VA 1, Chem. VA 2).

Tab. 4 Trockenmasseerträge (dt/ha), Trockensubstanzgehalt (TS) (%) in den verschiedenen Methoden der Unkrautkontrolle. Sd: Standardabweichung. Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte signalisieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Versuchsgliedern.

Tab. 4 Dry matter yields (dt/ha), dry matter content (%) of different methods of weed control. sd: standard deviation. Different letters in a column represent significant differences ($p < 0.05$) between the different methods of weed control.

Versuchsglied	Ertrag (dt/ha)	TS (%)	sd
UK	86,0 ^c	32,9	4,4
Chem. NA	82,2 ^c	32,7	22,3
Chem. VA 1	125,8 ^a	33,8	22,3
Chem. VA 2	123,0 ^{ab}	35,1	29,4
Mech. BB	104,3 ^b	28,8	6,3

Diskussion

Die Unkrautbekämpfung im Mischanbau stellt eine große Herausforderung dar (DIETZE, 2011; NURK et al., 2015). Die vorliegenden Versuchsergebnisse stellen Bekämpfungsstrategien vor, die für den Gemengeanbau von Mais mit Feuerbohnenbohnen geeignet sind.

Unterschiedliche Managementstrategien (FRIED et al., 2008) gelten neben dem Unkrautunterdrückungseffekt der angebauten Kultur (ANDREASEN und SKOVGAARD, 2009; PINKE et al., 2012) und Umwelteinflüssen (DE MOL et al., 2015) als entscheidende Faktoren auf die Artenzusammensetzung von Unkräutern. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen, dass die Art der Bekämpfung sowie der Zeitpunkt der Applikation sich signifikant auf die Dichte von Unkräutern wirken.

Die Chem. VA 1 (Wirkstoff Clomazone), die vor dem Auflauf der Feuerbohne appliziert wurde, war die effektivste Art der Unkrautkontrolle im vorgestellten Versuch. Dieser Wirkstoff ist aktuell jedoch nicht in der Kultur Mais zugelassen und wurde lediglich als Versuchsmittel im Gemengeanbau eingesetzt. Die gute Wirkung wird jedoch durch die Ergebnisse des vorliegenden Versuches bestätigt, jedoch wurden Wirkstoff typische Bleachingeffekte wenige Tage nach der Applikation auf den Maispflanzen beobachtet. Das Bleaching des Maises wirkte sich allerdings nicht auf den Ertrag aus, in dieser Variante der Bekämpfung wurden die höchsten Trockenmasseerträge ermittelt.

Eine zeitlich optimale Unkrautbekämpfung während dem empfindlichsten Entwicklungsstadium des Maises ist entscheidend für die Etablierung eines Gemenges, wenn die Unkrautbekämpfung mechanisch durchgeführt wird. Die rein mechanische Unkrautregulierung führte zu einer signifikant niedrigeren Unkrautdichte im Mais-Bohnen Gemenge im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und chemischen Nachauflaufbekämpfung. Der Trockenmasseertrag der mechanischen Bodenbearbeitungsvariante war jedoch signifikant geringer im Vergleich zur wirksamsten chemischen Bekämpfungsmethode, dies ist ein Effekt der Kulturschädigung durch die mechanische Bodenbearbeitung (Tab. 2). Ein höherer Konkurrenzdruck durch Unkräuter und

Ungräser, die in der Reihe aufblühen, könnte jedoch ebenfalls zu den Ertragsverlusten des Mais beigetragen haben (BUHLER, 2002).

In unserem Versuch wurden auch nach Auflauf der Feuerbohne Herbizide ausgebracht- Diese Art der Unkrautbekämpfung ist kein etabliertes Verfahren im Mischanbau, da wenige Herbizide in beiden Kulturen, Mais und Feuerbohne, zugelassen sind. Der zugelassene Wirkstoff Cycloxydim besitzt ein breites Wirkspektrum gegenüber Ungräser, bleibt aber weitgehend wirkungslos gegenüber dikotylen Unkräuter. Die Wirkung wurde im vorliegenden Versuch vermutlich signifikant reduziert, da zum Zeitpunkt der Ausbringung der Deckungsgrad der Unkräuter in dieser Variante bereits ca. 65 % betrug, die hochgewachsenen Unkräuter bedeckten die Ungräser, sodass die Spritzflüssigkeit nicht auf die zu bekämpfenden Ungräser gelangte. Es deutet sich an, dass der Wirkstoff Cycloxydim im Mischanbau zur Gräserbekämpfung nur in einer Herbizidstrategie verwendet werden sollte, in der zu einem früheren Entwicklungsstadium des Mais bereits ein breit wirksames Herbizid appliziert wurde.

Ein weiterer wichtiger Faktor für das Gelingen einer Mischkultur ist die gleichmäßige Etablierung beider Anbaupartner. Die Entwicklung von Mais und Feuerbohnen wurde durch die unterschiedlichen Methoden der Unkrautbekämpfung nicht eingeschränkt. Die eingesetzten Herbizide wurden von Mais wie von den Feuerbohnen gut vertragen. Allerdings konnte die Individuenanzahl von *C. album* in keiner Methode der Unkrautkontrolle signifikant reduziert werden. Diese Art wird aufgrund ihrer Konkurrenzkraft vor Bestandesschluss des Maises von MEHRTENS et al. (2005) als wichtigstes Maisunkraut genannt; gleichzeitig verursacht sie hohe Ertragsverluste (REDWITZ und GEROWITT, 2014), Zukünftige Bekämpfungsstrategien im Gemengeanbau sollten höhere Wirkungsgrade gegen *C. album* und die wichtigsten weiteren Maisunkräuter anstreben.

Literatur

- ANDREASEN, C. und I. SKOVGAARD, 2009: Crop and soil factors of importance for the distribution of plant species on arable fields in Denmark. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **133**, 61–67.
- BLACKSHAW, R.E, R.L. ANDERSEN und D. LEMERLE, 2007: Chapter 3: Cultural weed management, In: M. K. UPADHYAYA, R. E. BLACKSHAW, (eds.) *Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*, 35-48. CAB International, Wallingford, UK.
- BUHLER, D.D., 2002: Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Science* **50**, 273–280.
- DIETZE, M., 2011: Leistungsfähigkeit ausgewählter Artenmischungen und Reinsaaten für die Nutzung als Biogassubstrat. Dissertation. Universität Rostock, Rostock. Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät.
- EICHLER-LÖBERMANN, B., R. GAY und E. SCHNUCK, 2009: Improvement of soil phosphorus availability by green fertilization with catch crops. *Communications in soil science and plant analysis*. Philadelphia, Pa.: Taylor & Francis **40**, 70-81.
- DE MOL, F., C. VON REDWITZ und B. GEROWITT, 2015: Weed species composition of maize fields in Germany is influenced by site and crop sequence. *Weed Research* **55**, 574–585.
- FISCHER, J. und H. BÖHM, 2016: Reduktion des Unkrautdruckes durch die Etablierung von Untersaaten in MaisBohnen-Gemengen. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 439-445.
- FRIED, G., R. NORTON und X. REBOUD, 2008: Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **128**, 68–76.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., P. AMBUS und E.S. JENSEN, 2001: Interspecific competition, N use and interference with weeds in peaarley intercropping. *Field Crops Research* **70**, 101-109.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., B. JORNSSGAARD, J. KINANA und E.S. JENSEN, 2008: Grain legume-cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* **23**, 3-12.
- MEHRTENS, J., M. SCHULTE und K. HURLE, 2005: Unkrautflora in Mais – Ergebnisse eines Unkrautmonitorings in Deutschland. *Gesunde Pflanzen* **57**, 206–218.
- LIEBMAN, M. und E. DYCK, 1993: Crop Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management. *Ecological Applications* **3**, 92-122.
- NEUMANN, A., K. SCHMIDTKE und R. RAUBER, 2007: Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat. *Field Crops Research* **100**, 285-293.
- NURK, L., R. GRASS, C. PEKRUN, S. HUBERT und M. WASCHENDORF, 2015: Mischanbau von Silomais mit Stangenbohnen. Mixture of silage maize and common beans. Poster at 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.
- PINKE, G., P. KARACSONY, B. CZUCZ, Z. BOTTA-DUKAT und A. LENGYEL, 2012: The influence of environment, management and site context on species composition of summer arable weed vegetation in Hungary. *Applied Vegetation Science* **15**, 136–144.

28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig

R CORE TEAM, 2014: R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.

VON REDWITZ, C. und B. GEROWITT, 2014: Welche Faktoren fördern das Auftreten von *Chenopodium album* auf norddeutschen Maisflächen? Julius-Kühn-Archiv **443**, 165-171.

Auswirkung von Grasuntersaaten auf die Unkrautvegetation im Silomais - Eine Einführung in die Untersuchungen

Effects of catch crops on the weed vegetation in maize - an introduction to the study

Jens Wienberg^{1*}, Heike Pannwitt², Rolf Bünthe³, Bärbel Gerowitt²

¹ Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Ostfriesland, Hauptstr. 68, 26789 Leer

² Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Satower Straße 48, 18051 Rostock

³ Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Ostfriesland, Am Pferdemarkt 1, 26603 Aurich

*Korrespondierender Autor, jens.wienberg@lwk-niedersachsen.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.033



Zusammenfassung

In der Landwirtschaft Ostfrieslands ist ein langjähriger Anbau von Silomais auf der gleichen Fläche üblich. Diese Art der Bewirtschaftung führt im Laufe der Jahre trotz intensiven Herbizideinsatzes zur Selektion schwer zu bekämpfender Unkrautarten.

In unterschiedlichen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass durch pflanzenbauliche Maßnahmen eine Beeinflussung der Unkrautvegetation im Maisanbau möglich ist. Ziel dieser Arbeit ist es zu überprüfen, ob im Maisdaueranbau durch das wiederholte Einbringen einer Untersaat in Verbindung mit dem Einsatz blattaktiver Herbizide eine Selektion schwer zu bekämpfender Unkrautarten verhindert und der Unkrautdruck insgesamt reduziert wird.

In den Jahren 2017, 2018 und 2019 werden an zehn Standorten mit langjährigem Maisanbau Versuche mit identischem Design angelegt. Auf den Flächen werden die Parzellen der drei Varianten „*Festuca*-Untersaat“, „*Lolium*-Untersaat“ und „ohne Untersaat“ als Blockanlage mit drei Wiederholungen angeordnet. Der Herbizideinsatz erfolgt an allen Standorten gleich und wurde an die jeweilige Untersaat angepasst. Im Laufe des Maisanbaues werden fünf Unkrauterhebungen durchgeführt, bei denen der Einfluss der Varianten auf die Unkrautvegetation überprüft wird. Es werden kurz- und langfristige Auswirkungen auf die Unkrautvegetation erfasst.

Stichwörter: Fruchtfolge, Silomais, Unkrautvegetation, Untersaat

Abstract

In the East Friesian agriculture a long-term cultivation of silo maize on the same arable area is usual. Over the years this way of cultivation causes always a selection of weeds which are difficult to eradicate despite of intensive use of herbicides.

In various studies, it has already been shown that the way of crop cultivation can influence the weed vegetation in maize. The aim of this experiment is to test, if the selection of weed species which are difficult to control can be prevented and the weed pressure can be reduced by the repeated introduction of catch crops in combination with leaf-active herbicides.

In the years 2017, 2018 and 2019, tests with identical design will be applied to ten sites with long-term maize cultivation. The plots of the three treatments "*Festuca*-Untersaat (undersown *Festuca*)", "*Lolium*-Untersaat (undersown *Lolium*)" and "ohne Untersaat (without undersown crops)" are set-up in three repeated blocks. The herbicide application is a universal measure at all sites and is adapted to the variants. During maize cultivation, five weed assessments will be carried out, in which the influence of the variants on the weed vegetation is determined. Short- and long-term effects on the weed vegetation will be recorded.

Keywords: Catch crops, crop rotation, maize, weed composition

Einleitung

Im Gebiet Weser-Ems befinden sich an der Küste sowie in den südlich daran angrenzenden Kreisen vornehmlich Ackerfutterbaubetriebe. Auf dem knappen Ackerland wächst zur Hälfte Mais, ein Drittel wird mit Getreide bestellt (DAHL, 2011). Auf vielen Ackerflächen wird wiederholt Silomais angebaut. Zur Beseitigung der Verunkrautung wird im konventionellen Maisanbau in erster Linie auf den Einsatz von Herbiziden gesetzt. Die Auswahl der Herbizide richtet sich dabei nicht nach der vorhandenen Unkrautvegetation, sondern erfolgt im Breitbandverfahren mit einer

Kombination aus Boden- und Blattherbizid gegen möglichst viele ein- und zweikeimblättrige Unkräuter, unabhängig davon, ob diese wirklich vorhanden sind. Die dabei eingesetzten Bodenherbizide enthalten in der Regel den Wirkstoff S-Metolachlor.

Ein Problem, welches mit dieser Entwicklung einhergeht, sind vermehrte Meldungen über Funde von Pflanzenschutzmittelrückständen in den Grundwassermessstellen der Trinkwasserversorger (JANKOWSKI und ROSKAM, 2015). Der Anstieg ist in erster Linie auf die Abbauprodukte von Herbizidwirkstoffen zurückzuführen. Die Funde dieser Metabolite deuten eine Beziehung zu der Art der Nutzung der landwirtschaftlichen Fläche an. So sind die Metabolite des Maisherbizides S-Metolachlor vornehmlich in den Anbauregionen des Mais im Nordwesten Niedersachsens nachgewiesen worden, während die Metabolite des Rübenerbizides Chloridazon vermehrt in den Rübenaubaugebieten Ostniedersachsens aufgetreten sind (JANKOWSKI und ROSKAM, 2015).

Es stellt sich die Frage, wie ein erfolgreiches Unkrautmanagement bei gleichzeitigem Verzicht auf die derzeit verfügbaren Bodenherbizide gestaltet werden kann. Hierbei sind pflanzenbauliche Maßnahmen von besonderem Interesse. DE MOL et al. (2015) analysierten, dass von vielen untersuchten pflanzenbaulichen Maßnahmen der Einfluss der Fruchtfolge auf die Unkrautflora im Mais am deutlichsten war. Eine Fruchtfolge ist für Ackerfutterbaubetriebe aufgrund der geringen Verfügbarkeit an geeigneten Ackerflächen wenig attraktiv und zudem können sie lediglich den Silomais für die Fütterung des Viehs selbst verwerten.

Der Ansatz unserer Untersuchungen besteht darin, eine Untersaat mit Gräsern als eine „zweite Frucht“ einzufügen. Untersaaten sind im konventionellen Maisanbau nicht unbekannt. Die Ziele, die mit dieser Maßnahme verfolgt werden, waren bislang jedoch andere. So gibt es in Wasserschutzgebieten bereits seit vielen Jahren eine finanzielle Förderung für diese Maßnahme, um eine Reduktion der Auswaschungsverluste durch Nitrat zu erzielen. Weitere Gründe für einen Maisanbau mit Untersaaten sind für konventionell wirtschaftende Betriebe die Verringerung der Winderosion und die Erhöhung des Humusgehaltes auf leichten Böden. Die Untersaaten werden hierbei typischerweise mit Gräsern durchgeführt, um so noch die Möglichkeit eines Einsatzes von Herbiziden gegen zweikeimblättrige Unkräuter zu erhalten.

Das Ziel dieses Projektes ist es, zu überprüfen, ob durch eine Kombination von wenig auswaschungsgefährdeten Blattherbiziden in Verbindung mit Untersaaten im konventionellen Silomaisanbau langfristig eine erfolgreiche Reduktion der Verunkrautung erzielt werden kann. Dabei werden folgende Fragestellungen überprüft:

Sind Grasuntersaaten langfristig zur Reduktion der Unkrautvegetation im Maisanbau geeignet?
Können Grasuntersaaten langfristig chemisch schwer bekämpfbare Unkrautarten verdrängen?
Ermöglichen Grasuntersaaten einen Verzicht auf, aus Wasserschutzaspekten kritisch zu bewertende, Bodenherbizide?

Material und Methoden

Versuchsstandort

In der Untersuchung werden auf zehn Flächen landwirtschaftlicher Praxisbetriebe im Landkreis Leer jeweils die gleichen, vollständig randomisierten Versuche angelegt (Abb. 1). Die Flächen wurden auch vorher bereits langjährig mit Silomais bestellt, so dass eine „maistypische“ Verunkrautung erwartet wird.

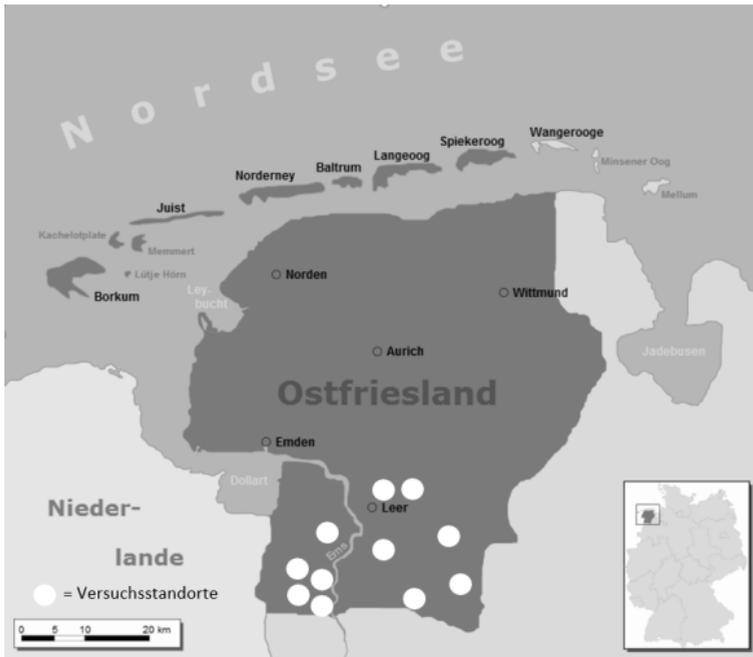


Abb. 1 Versuchsstandorte im Landkreis Leer.

Fig. 1 Experimental sites in the district of Leer.

Versuchsaufbau

Auf den Flächen wird in den Jahren 2017, 2018 und 2019 Silomais angebaut. Die Versuchsstandorte unterscheiden sich durch ihre Bodenarten, die Düngung, die angebauten Maissorten, Zeitpunkte der Pflanzung und der Ernte und so weiter. Einheitlich sind nur die Anlage der Parzellen, die Aussaatstärke der Untersaaten sowie der in den Versuchsgliedern durchgeführte Pflanzenschutz mit Herbiziden (Tab. 1).

Tab. 1 Übersicht über die durchgeführten Maßnahmen in den Versuchsgliedern.

Tab. 1 Applied weed control in the treatments.

Variante	Aussattermin und -stärke Untersaat	Wirkstoffe + Aufwandmenge
Ohne US	—	Terbuthylazin + Mesotrione 1,2 L/ha S-Metolachlor 1,0 L/ha Prosulfuron 20 g/ha Rimsulfuron 20 g/ha
<i>Lolium</i> spp.	6 Blattstadium Mais 15 kg/ha	Mesotrione 1,0 L/ha Bromoxynil 0,3 L/ha Rimsulfuron 20 g/ha
<i>Festuca rubra</i>	Aussaat Mais 7 kg/ha	Mesotrione 1,0 L/ha Thifensulfuron Methyl 15 g/ha

Bei den Varianten werden zwei etablierte Verfahren der Untersaat aus dem konventionellen Maisanbau getestet. Es wird zum einen eine Mischung aus 50 % *Lolium multiflorum* und 50 % *Lolium perenne* verwendet, zum anderen wird eine Untersaat mit *Festuca rubra* durchgeführt. Je Variante werden drei Wiederholungen angelegt, auf allen Flächen wurde für den Versuch ein identisches Design verwendet. Dies ist ein lateinisches Quadrat, bei dem die einzelnen Parzellen

7*7 Meter groß sind und vollständig randomisiert werden. Der Versuchszeitraum beträgt drei Jahre. Die Parzellen sind GPS vermessen, alle Versuchsglieder bleiben am gleichen Standort. Die Herbizidmaßnahmen erfolgen an die jeweilige Untersaat angepasst zum 3 bis 4 Blattstadium des Mais. Die Restfläche wird vom Bewirtschafter, wie in der Vergangenheit üblich, mit Silomais bestellt.

Versuchsauswertung

Zur Überprüfung der Auswirkungen auf die Unkrautvegetation werden in jedem Jahr fünf Unkrautbonituren durchgeführt. Diese finden zu folgenden Zeitpunkten statt:

- Aussaat Silomais
- vor Herbizideinsatz
- vor der Aussaat Weidelgras
- nach der Maisernte
- März Folgejahr

In jeder Parzelle werden zu jedem Boniturtermin 9 Messwertwiederholungen mit einem „Göttinger Schätzrahmen“ (0,1 m²) durchgeführt. Im Folgenden werden die Ergebnisse der bislang erfolgten Boniturtermine zusammenfassend dargestellt und bewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Unkrautvegetation

Die bislang erfolgten Erhebungen im Jahr 2017 haben gezeigt, dass die erwartete Unkrautvegetation auf den Versuchsfeldern aufgetreten ist. DE MOL et al. konnten 2012 in einer bundesweiten Untersuchung zeigen, dass der langjährige Anbau von Mais stets zu einer Häufung bestimmter Unkrautarten führt. Hierzu gehören Gänsefußarten (*Chenopodium* spp.), Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*), Vogelmiere (*Stellaria media*), Windenknöterich (*Fallopia convolvulus*) oder auch einjährige Rispel (*Poa annua*). Zum Zeitpunkt der Herbizidanwendung waren in unseren Versuchen vier der fünf typischen Unkrautarten an 9 von 10 Standorten vorhanden. So traten an allen zehn Standorten Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*) und Hühnerhirschen (*Echinochloa crus-galli*) auf, Vogelmiere (*Stellaria media*) und jährige Rispel (*Poa annua*) kamen an neun von zehn Standorten vor (Tab. 2). Die Unkrautvegetation an den zehn Versuchsstandorten kann daher als maistypische Verunkrautung bezeichnet werden.

Tab. 2 Anzahl Standorte, an denen die einzelnen Unkrautarten zum Zeitpunkt der zweiten Unkrauterhebung (vor Herbizideinsatz) aufgetreten sind sowie deren niedrigste und höchste Dichte.

Tab. 2 Number of sites where the most common weed species occurred at the time of the second weed assessment and the highest and lowest density.

Unkrautarten	Anzahl Standorte	Pflanzen /m ²	
		min.	max.
<i>Chenopodium album</i>	10	0	184
<i>Echinochloa crus-galli</i>	10	2	142
<i>Poa annua</i>	9	0	174
<i>Stellaria media</i>	9	0	83
<i>Solanum nigrum</i>	7	0	132
<i>Persicaria lapathifolia</i>	5	0	11
<i>Fallopia convolvulus</i>	4	0	4
<i>Polygonum aviculare</i>	3	6	12
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	3	5	8
<i>Convolvulus arvensis</i>	2	2	33

Einfluss Untersaat und Herbizidstrategie

In den bislang ausgewerteten Unkrauthebungen im Jahr 2017 dieses Projektes konnte lediglich für den Weißen Gänsefuß (*Chenopodium album*) eine Beeinflussung durch die unterschiedlichen Maßnahmen beobachtet werden. Zum Zeitpunkt der Aussaat der *Lolium* spp. Untersaat war diese Unkrautart an allen Standorten in der Variante „ohne Untersaat“ durch die Herbizidstrategie vollständig beseitigt worden. In den beiden Varianten mit den für die jeweilige Untersaat angepassten Herbizidstrategien trat diese Unkrautart noch auf, wenn auch in reduziertem Umfang im Vergleich zum Zeitpunkt vor der Herbizidanwendung. Einjährige Rispe (*Poa annua*) und Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) hingegen waren in allen Varianten an allen Standorten nach den Maßnahmen unverändert vorhanden (Tab. 3).

Tab. 3 Anzahl Standorte unterteilt nach Varianten, an denen die Unkrautarten zum dritten Boniturtermin im Jahr 2017 (vor der Weidelgrasaussaat) aufgetreten sind.

Tab. 3 Number of sites grouped according to treatments at which the different weed species occurred at the time of the third weed assessment in the year 2017 (pre sowing of *Lolium* spp.).

	Variante <i>Festuca rubra</i>	Variante <i>Lolium multiflorum</i>	Variante ohne Untersaat
<i>Poa annua</i>	10	10	10
<i>Echinochloa crus-galli</i>	8	8	8
<i>Chenopodium album</i>	5	2	-
<i>Stellaria media</i>	4	-	3
<i>Fallopia convolvulus</i>	2	2	-
<i>Solanum nigrum</i>	1	1	2
<i>Convolvulus arvensis</i>	2	2	2

CLAERHOUT et al. (2015) zeigten in Untersuchungen am Beispiel von *Echinochloa crus-galli*, dass die Wirksamkeit der Herbizide gegen *Echinochloa crus-galli* bei wiederholten Einsatz im langjährigen Maisabbau abnahm. Ob ein solcher Effekt auch an den Standorten im Landkreis Leer vorliegt, kann bisher noch nicht beantwortet werden. Ein weiteres Ergebnis von CLAERHOUT et al. (2015) besteht darin, dass eine Selektion resistenter Biotypen lediglich durch einen Fruchtwechsel beseitigt werden konnte.

DE MOL et al. (2015) fanden in ihren Auswertungen, dass in einer Fruchtfolge Raps mit Mais Stiefmütterchen und Kamille-Arten gefördert werden, während andere Unkräuter wie die Finger- und Borstenhirsen durch das gleiche Rotationsprinzip in der Fruchtfolge gehemmt werden.

Ähnliche Effekte konnten FISCHER und BÖHM (2016) im ökologischen Landbau durch die Ausbringung einer Untersaat feststellen. Dort wurde eine Veränderung der Unkrautvegetation von Mais mittels verschiedener Untersaatmischungen erzielt. In den Versuchen wurde zum Beispiel bei der Verwendung einer Untersaat aus Welschem Weidelgras mit Erdklee bzw. mit Futterchicorée eine signifikante Unkrautunterdrückung um 70 % in der Erdklee bzw. 80 % in der Futterchicorée Variante im Vergleich zu der Kontrollvariante erzielt. Zudem reduzierte sich in der Untersuchung das Artenspektrum der Unkräuter in den Untersaatenvarianten. Der Einfluss auf die Unkrautarten war jedoch unterschiedlich stark. So wurde der Deckungsgrad von Weißem Gänsefuß, nicht nachhaltig durch die Untersaaten beeinflusst, während sich der Deckungsgrad vom Windenknöterich durch diese Maßnahme von 34 % auf 20 % verringerte.

Für den konventionellen Anbau von Silomais sind vor allem Untersaaten mit Gräsern attraktiv. Diese eröffnen die Aussicht, nicht völlig auf Herbizide verzichten zu müssen, sondern die Effekte der Blattherbizide nutzen zu können. Es besteht hierbei die Möglichkeit zwischen dem schnell begrünenden Rotschwingel (*Festuca rubra*) oder den später ausgebrachten Weidelgräsern (*Lolium perenne/Lolium multiflorum*) zu wählen. Weidelgräser weisen dabei den Vorteil auf, dass sie erst nach der Ernte des Mais mit einer verstärkten Begrünung der Fläche beginnen und somit wenig in Konkurrenz um Dünger und Wasser zum Mais stehen. Zudem erlauben sie einen (begrenzten) Einsatz von Herbiziden gegen einkeimblättrige Unkräuter, da sie erst zum 6-Blattstadium des Mais

ausgesät werden. Der unmittelbar mit dem Mais ausgesäte Rotschwengel hingegen besiedelt eher die Fläche und verkleinert somit schneller den Lebensraum für auftretende Unkräuter. Dafür ist bei dieser Variante nur der Einsatz von Herbiziden gegen zweikeimblättrige Unkräuter möglich. Welcher Faktor für eine Eindämmung der Unkrautarten von größerer Bedeutung ist, soll im Rahmen dieses Projektes überprüft werden.

Ein kurzfristiger Effekt auf das Auftreten einzelner Unkrautarten durch die ausgebrachten Untersaaten konnte bislang nicht beobachtet werden. Es soll daher überprüft werden, ob langfristig durch den wiederholten Anbau von Mais mit Untersaaten in Kombination mit Blattherbiziden eine Beeinflussung der Unkrautvegetation möglich ist.

Literatur

- CLAERHOUT, S., D. REHEUEL und B. DE CAUWER, 2015: Sensitivity of *Echinochloa crus-galli* populations to maize herbicides: a comparison between cropping systems. *Weed Research* **55**, 1-12.
- DAHL, S., 2011: Landwirtschaftliche Unternehmen oder bäuerliche Betriebe? Agrarstruktur in Niedersachsen. *Statistische Monatshefte Niedersachsen* **9**, 504-513.
- DE MOL, F., C. VON REDWITZ, M. SCHULTE und B. GEROWITT, 2012: Unkrautzusammensetzung in Mais in Abhängigkeit von pflanzenbaulichem Management – Ergebnisse eines deutschlandweiten Monitorings in den Jahren 2002 – 2004. *Julius-Kühn-Archiv* **43**, 655-662.
- DE MOL, F., C. VON REDWITZ und B. GEROWITT, 2015: Weed species composition of maize fields in Germany is influenced by site and crop sequence. *Weed Research* **55**, 1-12.
- FISCHER, J. und H. BÖHM, 2016: Reduktion des Unkrautdruckes durch die Etablierung von Untersaaten in Mais-Bohnen-Gemengen. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 439-445.
- JANKOWSKI, A. und A. ROSKAM, 2015: Themenbericht Pflanzenschutzmittel - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, **BAND 23**.

Sektion 4: Nichtselektive Herbizide

Session 4: Non-selective herbicides

Zusammenhang zwischen der Intensität selektiver Herbizidmaßnahmen und dem Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung

Relationship between selective herbicide use intensity and pre-harvest glyphosate applications

Sabine Andert*, Jana Bürger, Bärbel Gerowitz

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur Phytomedizin, Universität Rostock, 18051 Rostock

*Korrespondierende Autorin, sabine.andert@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.034



Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag untersucht den Zusammenhang zwischen der Intensität selektiver Herbizidmaßnahmen in der Kultur und dem Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung im folgenden Sommer. Zu diesem Zweck wird ein umfangreicher Datensatz landwirtschaftlicher Praxis-Daten ausgewertet. Die feldspezifischen Anwendungsdaten wurden in einer Studie zum Glyphosateinsatz von jeweils 15 Betrieben in vier Regionen Norddeutschlands über einen Zeitraum von zehn Jahren (2005 bis 2014) ermittelt. Zur Darstellung der Herbizidintensitäten wird der Indikator Behandlungsindex (BI) verwendet.

Im Durchschnitt der vier Regionen wird auf 8,7 % der Felder eine Glyphosatanwendung zur Vorerntebehandlung durchgeführt, der höchste Anteil in Wintergerste. Unkrautbekämpfung mit Vorerntebehandlung unterschied sich im Gesamt-Herbizideinsatz nicht signifikant von Verfahren ohne Vorerntebehandlung.

Als Einflussfaktor auf die Glyphosatintensität zur Vorerntebehandlung (BIGly) wurde in allen Fruchtarten und Regionen der selektive Herbizideinsatz in der Kultur identifiziert, mit Ausnahme der Wintergerste in den östlichen Regionen Fläming und Oder-Spree. In den westlichen Regionen Diepholz und Uelzen wiesen Anbauverfahren mit wendender Bodenbearbeitung in allen Fruchtarten signifikant geringere Glyphosatintensitäten zur Vorerntebehandlung im Vergleich zu nicht-wendenden Verfahren auf.

Unkrautbekämpfungsverfahren, in denen höhere selektive Herbizidintensitäten und wendende Bodenbearbeitung kombiniert waren, reduzierten die Vorerntebehandlungen mit glyphosathaltigen Herbiziden um BIGly 0,1-0,4, dies entspricht einer eingesparten Applikation mit 10-40 % der zugelassenen Aufwandmenge auf dem gesamten Schlag.

Stichwörter: Ackerbau, Behandlungsindex, Integrierte Unkrautbekämpfung, statistische Erhebungen

Abstract

We investigated the relationship between in-crop selective herbicide use and pre-harvest glyphosate applications. For this purpose, a comprehensive collection of agricultural on-farm data was analysed. Data on herbicide measures of 60 farms in four districts of Northern Germany were examined for the period 2005 until 2014. We used the Treatment Frequency Index (TFI) to quantify the herbicide use intensity.

Averaged across the four districts, pre-harvest glyphosate applications were used on 8.7% of the fields, the highest percentage in winter barley. Weed control with pre-harvest applications did not differ in the total herbicide use from processes without pre-harvest treatments.

Pre-harvest glyphosate use intensity (TFI_{gly}) was affected by in-crop selective herbicide use in all crop and districts, except for winter barley in eastern districts Fläming and Oder-Spree. Plough tillage significantly reduced pre-harvest glyphosate use intensity in the western districts Diepholz and Uelzen.

To avoid the need for pre-harvest glyphosate applications we recommend the combined use of selective herbicides in-crop together with plough tillage. Such weed management strategies are able to reduce pre-harvest glyphosate use intensity by TFI_{gly} 0.1-0.4; this is equivalent to an additional application with 10-40 % of the maximum approved dosage on the whole field.

Keywords: Arable farming, Integrated Weed Management, statistical surveys, treatment frequency index

Einleitung

Glyphosat (N-(phosphonomethyl)glycin) ist der weltweit meist verwendete Herbizidwirkstoff (EUROPEAN COMMISSION, 2007; DUKE und POWLES, 2008; EPA, 2012; BENBROOK, 2016). In Deutschland werden 39 % der Ackerfläche mit Glyphosat behandelt (STEINMANN et al., 2012). Die hohe Intensität der Anwendung von Glyphosat führt zur kritischen Betrachtung des Wirkstoffes in Gesellschaft, Politik und Wissenschaft (WEERSINK et al., 2005; PAGANELLI et al., 2010; HILLOCKS, 2012; BENBROOK, 2016).

Diskutiert werden gegensätzliche Meinungen: Zum einen werden die großen betrieblichen und wirtschaftlichen Vorteile von Glyphosat in der Betriebs- und Anbauplanung (NAIL et al., 2007; COOK et al., 2010; WYNN et al., 2014, WIESE et al., 2017) hervorgehoben, auf der anderen Seite jedoch die Gesundheitsrisiken, die sich aus der massiven Nutzungsfrequenz ergeben, diskutiert (MYERS et al., 2016; BENBROOK, 2016).

In Europa wird Glyphosat zur Nacherntebehandlung als Stoppelmaßnahme, zur Vorsaatsbekämpfung von Ungräsern und Unkräutern sowie zur Vorerntebehandlung eingesetzt. Vorerntebehandlungen (VE) mit glyphosathaltigen Herbiziden, bezeichnet als Sikkationsanwendungen, schaffen insbesondere Vorteile in einer Ersparnis bei Arbeitserledigungs- und Trocknungskosten (STEINMANN et al., 2012). Häufig stehen jedoch pflanzenbaulich wichtige Sikkationsmaßnahmen zur Ernteerleichterung bei Unkrautdurchwuchs und lagernden Beständen, die auch für die mittelfristige Sanierung verunkrauteter Schläge von großer Bedeutung sind, Anwendungen gegenüber, die der „Mähdruschoptimierung“ dienen und oft sogar bei völliger Abwesenheit von Unkräutern, eher als Wachstumsregulierung und Abreifbeschleunigung dienen. Diese Anwendungen sind nicht als Unkrautmanagement anzusehen, sondern werden als Luxusanwendungen im Ackerbau beschrieben (STEINMANN et al., 2012) und entsprechen nicht den Grundsätzen für die Durchführung der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz (BMEL, 2010).

In Deutschland ist seit 2014 eine Vorerntebehandlung zur Sikkation nur noch auf Teilflächen erlaubt, auf denen aufgrund von Unkrautdurchwuchs in lagernden Beständen oder Zwiewuchs in lagernden oder stehenden Beständen eine Beerntung nicht möglich wäre. Die Sikkationsmaßnahme darf hingegen nicht mehr zur Steuerung des Erntetermins oder Optimierung des Drusches dienen (BvL, 2014).

Der vorliegende Beitrag untersucht den Zusammenhang zwischen der Intensität selektiver Herbizidmaßnahmen in der Kultur und dem Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung im folgenden Sommer. Es wird angenommen, dass Unkrautdurchwuchs oder Zwiewuchs zur Ernte geringer sind, je mehr selektive Herbizide ausgebracht werden. Durch geringeren Unkrautdurchwuchs oder Zwiewuchs wird die Notwendigkeit zur Vorerntebehandlung mit glyphosathaltigen Herbiziden reduziert.

Material und Methoden

Datengrundlage

Es wurden Daten zum Glyphosat-Einsatz aus vier Regionen Norddeutschlands untersucht (ANDERT et al., 2015). In jeweils 15 Betrieben der vier Regionen Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree (Abb. 1) wurden über den Zeitraum von 2005 bis 2014 Daten zum Einsatz herbizider Pflanzenschutzmitteln aller Schläge erfasst. 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 (ANDERT et al., 2015). Die Bereitstellung der Daten durch die Betriebe erfolgte auf freiwilliger Basis.

Für diesen Beitrag wurden 8.000 Schläge mit ca. 3.000 Glyphosatanwendungen der Kulturen Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste und WinterrapS verwendet. Maßnahmen mit glyphosathaltigen Herbiziden zwischen Ernte und Saat werden der nachfolgenden Kultur angerechnet.

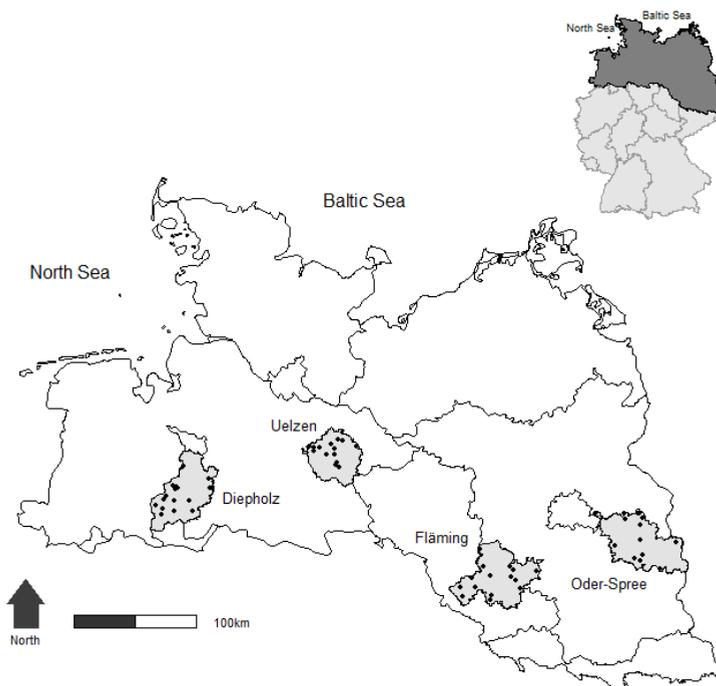


Abb. 1 Geografische Lage der Standorte der landwirtschaftlichen Betriebe in den vier Regionen Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree in Norddeutschland.

Fig. 1 Locations of farms in the four districts Diepholz, Uelzen, Fläming, Oder-Spree and Rostock in the lowlands of Northern Germany.

Datenanalyse

Zur Darstellung und zum Vergleich der Herbizidintensitäten wurde der Indikator Behandlungsindex (BI) verwendet (ROßBERG et al., 2002). Der Gesamt-Herbizideinsatz eines Schlages BI_{tot} wird aus sämtlichen Herbizidbehandlungen berechnet. BI_{sel} sind Behandlungen mit selektiven Herbiziden, BI_{Gly} die Vorerntebehandlungen mit glyphosathaltigen Herbiziden. Glyphosat zur Nacherntebehandlung als Stoppelmaßnahme und zur Vorsaatbekämpfung von Ungräsern und Unkräutern werden in den vorliegenden Auswertungen nicht einzeln ausgewiesen.

Statistische Auswertungen

Unterschiede zur Intensität von Glyphosat zur Vorerntebehandlung zwischen den untersuchten Fruchtarten wurden mittels ANOVA und nachfolgendem Tukey-Range-Test statistisch getestet.

Die Auswertungen zum Zusammenhang zwischen der Intensität selektiver Herbizidmaßnahmen und dem Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung wurden mittels multipler Regressionen durchgeführt. Das Modell lautet:

$$BI_{Glyfj} = \mu + BI_{selfj} + BB_{fj} + BI_{selfj} \times BB_{fj} + kj + \epsilon_{jkl} \quad (1)$$

μ ist der Erwartungswert. BI_{Glyfj} ist die Glyphosatintensität eines Feldes (f) im Jahr (j), BI_{selfj} beschreibt den fixen Effekt der selektiven Herbizide eines Feldes (f) im Jahr (j), BB_{fj} ist der fixen Effekt der Bodenbearbeitung eines Feldes (f) im Jahr (j). Der Term $BI_{selfj} \times BB_{fj}$ beschreibt die Interaktion zwischen selektiven Herbiziden und Bodenbearbeitung. kj ist der zufällige Effekt von jährlichen Bedingungen im Jahr j. l ist der zufällige Effekt von regionalen Bedingungen in der Region r. ϵ_{jkl} ist der Fehlerterm.

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit der Softwareumgebung R (R CORE TEAM, 2014) und darin mit den Paketen 'agricolae' (STEEL et al., 1997), 'polycor' (FOX, 2015) und 'lme4' (BATES et al., 2015).

Ergebnisse

Einsatz und Intensität von Glyphosat zur Vorerntebehandlung

Die durchschnittlichen mit glyphosathaltigen Herbiziden zur Vorerntebehandlung behandelten Felder (%) unterschieden sich nicht signifikant zwischen den untersuchten Kulturen, eine Ausnahme bildet nur Wintergerste (Tab. 1). Im Durchschnitt der vier Regionen wird auf 8,7 % der Felder eine Glyphosatanwendung zur Vorerntebehandlung durchgeführt, der höchste Anteil in Wintergerste.

Die Intensität (BI_{Gly}) der Vorerntebehandlung mit glyphosathaltigen Herbiziden unterscheidet sich auf den behandelten Feldern nicht signifikant zwischen den Fruchtarten. Der BI_{Gly} beträgt im Mittel der untersuchten Fruchtarten 0,65.

Tab. 1 Durchschnittlich behandelte Felder pro Fruchtart und Intensität (BI_{Gly}) der Vorerntebehandlung (behandelte Ackerfläche). Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte signalisieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Fruchtarten.

Tab. 1 Average of treated fields per crop and Treatment Frequency Index (TFI_{Gly}) of pre-harvest measurements. Different letters in a column represent significant differences ($p < 0.05$) between the crops.

	Vorerntebehandlung mit glyphosathaltigen Herbiziden	
	Behandelte Felder (%)	BI_{Gly} (auf behandelten Feldern)
Winterweizen	7,0 ^a	0,6 ^a
Winterroggen	7,9 ^a	0,6 ^a
Wintergerste	30,0 ^b	0,7 ^a
Winterraps	9,6 ^a	0,7 ^a
Σ	8,7	0,65

Einfluss der Glyphosatanwendung zur Vorerntebehandlung auf den Gesamt-Herbizideinsatz

Abbildung 2 stellt den Gesamt-Herbizideinsatz (BI_{tot}) in Abhängigkeit von der Glyphosatanwendung dar. Verglichen werden Herbizidstrategien mit Vorerntebehandlung (VE) sowie Herbizidstrategien ohne Vorerntebehandlung (ohne VE).

Für alle untersuchten Fruchtarten gilt: Die Intensität des Gesamt-Herbizideinsatzes (BI_{tot}) unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den unterschiedlichen Herbizidstrategien.

Zusammenhang zwischen der Intensität selektiver Herbizidmaßnahmen und dem Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung

Tabelle 3 beschreibt, wie der Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung durch die Faktoren selektiver Herbizideinsatz und Bodenbearbeitung im gemischten Modell erklärt wird. Für jede Untersuchungsregion wurde ein individuelles Modell erstellt. Im Modell jeder Fruchtart waren alle zu prüfenden Faktoren enthalten, die nachfolgend beschriebenen Effekte wurden gleichzeitig nachgewiesen.

Der BI_{Gly} zur Vorerntebehandlung unterschied sich zwischen den untersuchten Fruchtarten und Regionen. Als Einflussfaktor auf den BI_{Gly} zur Vorerntebehandlung wurde in allen Fruchtarten der selektive Herbizideinsatz in der Kultur identifiziert, mit Ausnahme der Wintergerste in den östlichen Regionen Fläming und Oder-Spree. Auf Feldern mit stärkerem selektivem Herbizideinsatz wurde weniger Glyphosat eingesetzt. Dieser Effekt zeigte sich stärker bei Winterraps und Winterweizen.

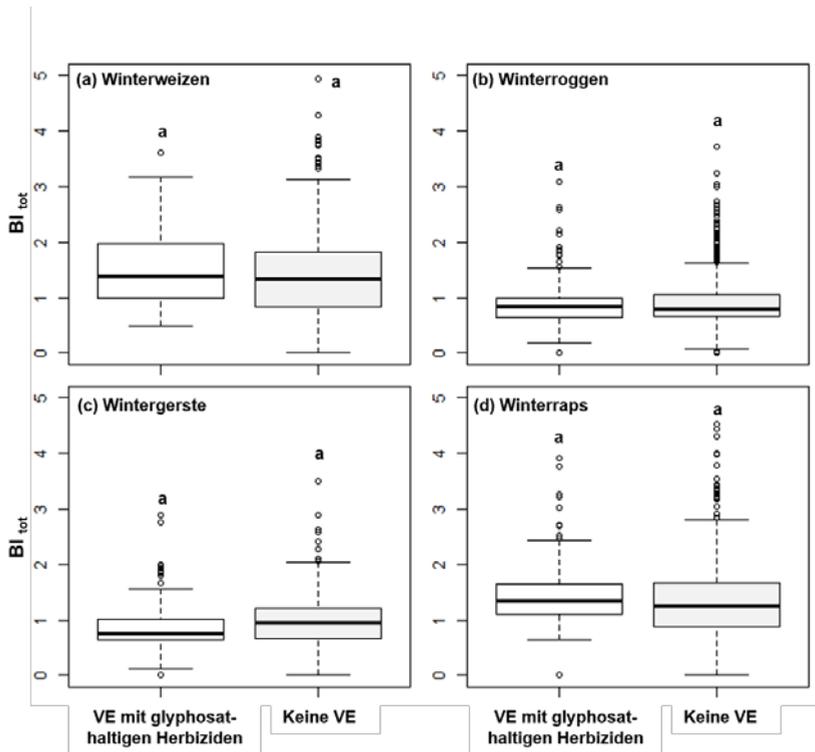


Abb. 2 Gesamt-Herbizideinsatz (BI_{tot}) in Abhängigkeit von der Glyphosatanwendung. Ohne Vorerntebehandlung (keine VE), mit Vorerntebehandlung (VE mit glyphosathaltigen Herbiziden). Gleiche Buchstaben zeigen keine signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen.

Fig. 2 Total herbicide use (BI_{tot}) depending on glyphosate application. Without pre-harvest application (without VE), with pre-harvest application (VE with pre-harvest glyphosate application). Equal letters indicates no significant differences ($p < 0.05$) between the groups.

In den westlichen Regionen Diepholz und Uelzen wiesen Anbauverfahren mit wendender Bodenbearbeitung in allen Fruchtarten signifikant geringere Glyphosatintensitäten zur Vorerntebehandlung im Vergleich zu nicht-wendenden Verfahren auf.

Interaktionen zwischen dem selektiven Herbizideinsatz und der Bodenbearbeitung wurden im Modell getestet, erwiesen sich allerdings als nicht signifikant.

Tab. 3 Einfluss von selektiver Herbizidintensität und Bodenbearbeitung auf die Glyphosatintensität zur Vorerntebehandlung (BI_{Gly}) in Winterweizen (WW), Winterroggen (WR), Wintergerste (WG) und Winterraps (WRA). DH: Diepholz, UE: Uelzen, FL: Fläming, LOS: Oder-Spree. Signifikanz: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$, n.s $P > 0,05$.

Tab. 3 Effect of selective herbicide use intensity and plough tillage on TFI_{GBH} in winter wheat (WW), winter rye (WR), winter barley (WG) and winter oilseed rape (WRA). DH: Diepholz, UE: Uelzen, FL: Fläming, LOS: Oder-Spree. Significance codes: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ and *** $P < 0.001$.

		DH	UE	FL	LOS
	BI_{Gly}				
WW	Referenz: Selektiver Herbizideinsatz + wendende Bodenbearbeitung	0,3	0,3	0,3	0,4
	Effekt				
	Reduktion $BI_{sel} = 1$	+0,2***	+0,3***	+0,4***	+0,2***
	Nicht-wendende Bodenbearbeitung	+0,1**	+0,1**	n.s	n.s
WR	Referenz: Selektiver Herbizideinsatz + wendende Bodenbearbeitung	0,2	0,3	0,4	0,4
	Effekt				
	Reduktion $BI_{sel} = 1$	+0,2***	+0,1***	+0,3***	+0,3***
	Nicht-wendende Bodenbearbeitung	-	+0,1**	n.s	n.s
WG	Referenz: Selektiver Herbizideinsatz + wendende Bodenbearbeitung	0,5	0,5	0,8	0,8
	Effekt				
	Reduktion $BI_{sel} = 1$	+0,1*	+0,2*	n.s	n.s
	Nicht-wendende Bodenbearbeitung	+0,1**	+0,1**	n.s	n.s
WRA	Referenz: Selektiver Herbizideinsatz + wendende Bodenbearbeitung	0,3	0,2	0,3	0,6
	Effekt				
	Reduktion $BI_{sel} = 1$	+0,4***	+0,4***	+0,4***	+0,2***
	Nicht-wendende Bodenbearbeitung	+0,3***	+0,3***	+0,1**	+0,1**

Diskussion

In unserer Studie analysierten wir einen umfangreichen Datensatz zum Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung im Zusammenhang mit selektiven Herbiziden in vier Regionen Norddeutschlands über den Zeitraum von 2005 bis 2014. In dem Untersuchungszeitraum waren Vorerntebehandlungen mit glyphosathaltigen Herbiziden zur Sikkation uneingeschränkt zugelassen, es wurde auf 8,7 % der Felder eine Glyphosatanwendung zur Vorerntebehandlung durchgeführt.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass selektive Herbizidmaßnahmen in der Kultur mit der Notwendigkeit und Intensität der Vorerntebehandlungen mit glyphosathaltigen Herbiziden im Ackerbau zusammenhingen. Hinzu kommt die Art der Bodenbearbeitung, wendende Verfahren reduzierten die Glyphosatintensitäten zur Vorerntebehandlung. Unkrautbekämpfungsverfahren, in denen höhere selektive Herbizidintensitäten und wendende Bodenbearbeitung kombiniert waren, reduzierten die Vorerntebehandlungen mit glyphosathaltigen Herbiziden um BI_{Gly} 0,1-0,4, dies entspricht einer eingesparten Applikation mit 10-40 % der zugelassenen Aufwandmenge auf dem gesamten Schlag.

Unkrautmanagement wird in vielen Ackerbaukulturen überwiegend durch den Einsatz selektiver Herbizide durchgeführt (CARVER, 2009; JABRAN et al., 2017). Unter der Annahme, dass Landwirte zum Zeitpunkt der Unkrautbekämpfung mit selektiven Herbiziden nicht bereits eine Vorerntebehandlung einplanen, sollte die Sikkationsanwendung, nach dem Konzept des Integrierten Pflanzenschutzes, eine Notfallmaßnahme darstellen und den Gesamt-Herbizideinsatz zusätzlich erhöhen. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen jedoch, dass sich Unkrautbekämpfungsverfahren ohne Vorerntebehandlung in der Intensität des Gesamt-Herbizideinsatzes nicht signifikant von Verfahren mit Vorerntebehandlung unterscheiden. Dies

deutet darauf hin, dass selektive Herbizidmaßnahmen durch Vorerntebehandlungen substituiert werden, da intensivere Vorerntebehandlungen mit geringeren Intensitäten selektiver Herbizide in den vorliegenden Auswertungen verbunden waren. Die Herbizidmaßnahmen verschieben sich zeitlich im betriebspezifischen Management.

Die Beschränkungen der Sikkationsanwendungen werden zur Reduktion der Glyphosatanwendungen in der Vorernte führen, die eingesetzten Mengen werden abnehmen. Infolge dessen werden Landwirte vermutlich mehr selektive Herbizide einsetzen. Es gilt aus diesem Grund in den nächsten Jahren zu prüfen, wie die Beschränkung der Vorerntebehandlung mit glyphosathaltigen Herbiziden auf den Einsatz selektiver Herbizidmaßnahmen in der Kultur wirkt. Dies trifft im besonderen Maße auf Unkrautbekämpfungsstrategien zu, in denen vor der Beschränkung der Sikkation glyphosathaltige Herbizide auf sämtlichen Feldern ausgebracht wurden und als Standardmaßnahme im Unkrautmanagement eingesetzt wurden.

Die Intensität der glyphosathaltigen Herbizide zur Vorerntebehandlung variiert zwischen den untersuchten Regionen. Vorangegangene Auswertungen belegen, dass der Gesamt-Herbizideinsatz sich zwischen den untersuchten Regionen nicht signifikant unterschied, sich in den westlichen Regionen jedoch aus einem höheren Einsatz selektiver Herbizide und einer geringeren Glyphosatintensität zusammensetzt (ANDERT et al., 2015). Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen ebenfalls, dass der Glyphosateinsatz in den östlichen Regionen höher ist, besonders in Wintergerste. Vorangegangene Studien beschreiben die Betriebsgröße (ANDERT et al., 2016), den Arbeitskräftebesatz (WIESE et al., 2017) sowie die Bodenbearbeitung (NAIL et al., 2007; COOK et al., 2010; STEINMANN et al., 2012) als wesentliche Einflussfaktoren auf den Glyphosateinsatz im Ackerbau. Nicht-wendende Bodenbearbeitung wird häufig auf flächenstarken Betrieben in den östlichen Regionen Deutschlands durchgeführt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2014). Auf großen Betrieben wurden arbeitsintensive Managementmaßnahmen wie Bodenbearbeitung häufiger durch Herbizidmaßnahmen substituiert (GÜNTHER und PALLUTT, 2008). Auch wurden Arbeitsspitzen mit zusätzlichen Pflanzenschutz-Maßnahmen abgefangen, wenn andere Maßnahmen nicht termingerech durchgeführt werden konnten (GLEN, 2000; HESLER et al., 2005; BÜRGER et al., 2012). Die Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen der Intensität selektiver Herbizidmaßnahmen, Bodenbearbeitung und dem Einsatz von Vorerntebehandlung bestätigen, dass nicht-wendende Bodenbearbeitung den Glyphosat-Einsatz auch zu diesem Zeitpunkt signifikant gesteigert hat.

Vorerntebehandlungen mit selektiven Herbiziden können durch gezieltes Management in der Kultur vermieden werden, indem selektive Herbizidmaßnahmen gezielt mit wendender Bodenbearbeitung kombiniert werden. Dieses Vorgehen entspricht den Grundsätzen für die Durchführung der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz (BMEL, 2010).

Danksagungen

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.

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.
- ANDERT, S., J. BÜRGER und B. GEROWITT, 2016: Bestimmungsfaktoren für regionale Unterschiede in der Glyphosat-Intensität im Ackerbau Norddeutschlands. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 263-269.
- AOUADI, 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.
- BENBROCK, C.M., 2016: Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Science Europe* **28**, 1-15.

28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig

- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL), 2010: Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz. Bundesanzeiger Nr. **76a**.
- 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.
- BVL - BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 2014: Zulassungsstand von glyphosathaltigen Pflanzenschutzmitteln und die weitere Entwicklung im Zulassungsverfahren. <http://www.bfr.bund.de/cm/343/zulassungsstand-von-glyphosathaltigen-pflanzenschutzmitteln-und-die-weitere-entwicklung-im-zulassungsverfahren.pdf>
- CARVER, B.F., 2009: *Wheat: Science and Trade*. Wiley Online Library, Iowa, USA. ISBN: 978-0-8138-2024-8.
- 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* **21**, 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.
- HILLOCKS, R.J., 2012: Farming with fewer pesticides: EU pesticide review and resulting challenges for UK agriculture. *Crop Protection* **31**, 85–93.
- JABRAN, K., K. MAHMOOD, B. MELANDER, A.A. BAJWA und P. KUDSK, 2017: Weed Dynamics and Management in Wheat. *Advances in Agronomy* **145**, 97-166.
- 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.
- MYERS, S., M.N. ANTONIOU, B. BLUMBERG, L. CARROLL, T. COLBORN, L.G. EVERETT, M. HANSEN, P.J. LANDRIGAN, B.P. LANPHEAR, R. MESNAGE, L.N. VANDENBERG, F.S. VOM SAAL, W.V. WELSHONS und C.M. BENBROOK, 2016: Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: a consensus statement. *Environmental Health* **15**, 19.
- 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 und 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/>.
- ROBBERG, 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) - Agrarstrukturhebung - Fachserie **3** Reihe 2.1.2.
- STEEL, R., J. TORRI und D. DICKEY, 1997: *Principles and Procedures of Statistics a Biometrical Approach*, third ed., p. 178.
- STEINMANN, H.H., M. DICKEDUISBERG und L. THEUVSEN, 2012: Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. *Crop Protection* **42**, 164-169.
- 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.
- WIESE, A., M. SCHULTE, L. THEUVSEN und H.H. STEINMANN, 2017: Interactions of glyphosate use with farm characteristics and cropping patterns in Central Europe. *Pest Management Science*. DOI: 10.1002/ps.4542.
- WYNN, S.C., S.K. COOK und J.H. CLARKE, 2014: Glyphosate Use on Combinable Crops in Europe. Implications for Agriculture and the Environment. *Outlook Pest Management* **25**, 327–331.

Beschreibung von Glyphosat-Anwendungsmustern im norddeutschen Ackerbau - Vergleich zweier unterschiedlicher Ansätze.

Describing glyphosate use pattern in north German arable farming - Comparison of two different approaches

Jan-Erik Mutz^{1*}, Sabine Andert¹, Armin Wiese², Horst-Henning Steinmann², Bärbel Gerowitt¹

¹Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Satower Straße 48, 18051 Rostock

²Georg-August-Universität Göttingen, Zentrum für Biodiversität und nachhaltige Landnutzung, Grisebachstr. 6, 37077 Göttingen

*Korrespondierender Autor, jan-erik.mutz@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.035



Zusammenfassung

Glyphosat ist der meistgenutzte Herbizidwirkstoff in Deutschland. In den vergangenen Jahren haben zahlreiche Studien die Anwendungsmuster glyphosathaltiger Herbizide untersucht. Der vorliegende Beitrag fasst zwei unterschiedliche empirische Untersuchungen zum Einsatz von Glyphosat in Norddeutschland zusammen. Ziel der Studie ist es, durch die gemeinsame Analyse unterschiedlich erhobener Anwendungsdaten weitergehende Erkenntnisse zu den Applikationsmustern glyphosathaltiger Herbizide im Ackerbau zu gewinnen. Der Beitrag besitzt innovativen Charakter, es werden schlagspezifische Anwendungsdaten und betriebliche Fragebogenerhebungen zum Glyphosateinsatz aus fünf Regionen Norddeutschlands (Diepholz, Uelzen, Rostock, Fläming und Oder-Spree) zusammengeführt.

Die Ergebnisse belegen, dass die feldspezifischen Applikationsmuster glyphosathaltiger Herbizide im Ackerbau die Einschätzungen der Landwirte in der Befragung stützen, die Übereinstimmung jedoch mit zunehmender Detailtiefe abnimmt.

Hinsichtlich der Anwendungsmuster glyphosathaltiger Herbizide weisen die Ergebnisse darauf hin, dass Landwirte für eine Unterscheidung der Anwendungsgebiete Vorsaatanwendung und Stoppelbehandlung noch nicht ausreichend sensibilisiert sind. Für die zukünftige Diskussion um den Wirkstoff Glyphosat wäre eine einheitliche und von allen Beteiligten verwendete Definition der Anwendungsabgrenzungen wünschenswert, um eine lösungsorientierte Diskussion zu ermöglichen.

Stichwörter: Betriebsmerkmale, Datenursprung, Schlagkartei, Umfrage

Abstract

Glyphosate is the most used herbicide active ingredient in Germany. Numerous studies have been carried out in recent years to analyze Glyphosate use patterns arable farming. Two different empirical studies about the use of glyphosate in North Germany were combined for this paper. A combination of differently collected data sets allows an additional gain of knowledge about glyphosate use-pattern in German arable farming. Field records and questionnaire based survey data of farms in five North German districts (Diepholz, Uelzen, Rostock, Fläming and Oder-Spree) from both data sets were analyzed in detail. This is a new and innovative approach in agricultural science.

Questionnaire based surveys among farmers correspond predominantly with actual records. However, correspondence decreased as the detail of analysis increased.

In view of GBH use patterns, the study indicates that many farmers are not sensitized enough for the differentiation between the application purposes stubble treatment and pre-sowing applications. With regard to a possible future accompanying stewardship of glyphosate after re-evaluation, a consistent definition and awareness of application purposes would be preferable for all stakeholders in order to enable a solution-oriented debate.

Keywords: Data origin, farm characteristics, field records, survey

Einleitung

Glyphosat ist der meistgenutzte Herbizidwirkstoff weltweit (BENBROOK, 2016). Seit der Markteinführung 1974 unter dem Produktnamen Roundup® (Monsanto) wird der Wirkstoff in der Landwirtschaft zur nicht selektiven Unkrautkontrolle eingesetzt. In Kombination mit den seit 1996 eingeführten genetisch modifizierten, Glyphosat-resistenten Nutzpflanzen werden

glyphosathaltige Herbizide weltweit eingesetzt, um selektive Herbizide zu ersetzen und vereinfachen damit das Unkrautmanagement (DENTZMAN et al., 2016). Landwirten in der Europäischen Union (EU) steht diese Anwendungsmöglichkeit nicht zur Verfügung, da genetisch modifizierte Pflanzen in der EU nicht zugelassen sind. Trotzdem werden glyphosathaltige Herbizide in Deutschland sehr häufig eingesetzt, etwa 5000 t Wirkstoff wurden pro Jahr verkauft und 39 % der Ackerfläche mit Glyphosat behandelt (STEINMANN et al., 2012). Seit 2015 ist der Absatz rückläufig und betrug 2016 weniger als 4000 t Wirkstoff (BVL, 2016). Neben der Substitution selektiver Herbizide bietet Glyphosat den Landwirten die Möglichkeit auf intensive Bodenbearbeitung zu verzichten und Kosten für Energie, Arbeit und Maschinen zu reduzieren. (GIANESSI, 2013; WYNN et al., 2014). Durch eine Stoppelbehandlung mit Glyphosat können perennierende Unkräuter und Ausfallpflanzen bekämpft und intensive mechanische Maßnahmen ersetzt werden (HEAP, 2014). Das Abtöten der Pflanzen, die Wirte für Krankheiten und Schädlinge sein können, fördert zudem die allgemeine Pflanzengesundheit (STEINMANN et al., 2012). Die Vorsaatanwendung gilt als wichtiger Baustein der reduzierten Bodenbearbeitung (BAYLIS, 2000). Neben ökonomischen Vorteilen, gibt es Argumente die aus Sicht des Umweltschutzes für den Einsatz von Glyphosat sprechen. Die Substitution intensiver Bodenbearbeitung vermindert die Erosionsgefahr, Nährstoffauswaschung und Energieverbrauch, und damit den Ausstoß von Treibhausgasen (SCHULTE und THEUVSEN, 2015). Darüber hinaus trägt Glyphosat zur Herbiziddiversität bei (DICKE et al., 2017). Als zusätzliche Wirkstoffklasse kann Glyphosat einen Beitrag zur verzögerten Entwicklung herbizidresistenter Unkräuter leisten (GEHRING et al., 2012). Es wird angenommen, dass eine Vorsaatanwendung mit Glyphosat zu einem geringeren Einsatz selektiver Herbizide in der folgenden Kultur führt (COOK et al., 2010; WYNN et al., 2014).

Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Frage, aufgrund welcher Faktoren Landwirte sich für oder gegen den Einsatz von Glyphosat entscheiden. Die Anwendungsintensität von Glyphosat variiert zwischen ähnlichen Betrieben der gleichen Region (SEFZAT, 2016). ANDERT et al. (2015) analysierten Schlagdaten von Betrieben aus vier Regionen in Norddeutschland und identifizierten die Betriebsorganisation als wesentlichen Bestimmungsfaktor der Anwendungsintensität von Glyphosat. Steigende Betriebsgrößen und geringer Arbeitskräftebesatz gehen mit einer verstärkten Anwendung von Glyphosat und reduzierter Bodenbearbeitung einher (ANDERT et al., 2015). Kleine Betriebe mit hohem Arbeitskräftebesatz greifen häufiger auf den Pflug zurück. Die Fruchtfolge ist ein weiterer Faktor, der die Anwendungsintensität von Herbiziden im Ackerbau beeinflusst (ANDERT et al., 2016). Zu Winterfrüchten wird am häufigsten Glyphosat eingesetzt (KEHLENBECK et al., 2016), zu Zuckerrüben erfolgt der intensivste Glyphosateinsatz (VASEL et al., 2012). Weitere Auswertung von Schlagdaten (ANDERT et al., in Vorbereitung) zeigen, dass Landwirte in Norddeutschland mit Glyphosat eher den Pflug ersetzen, der Einsatz selektiver Herbizide in der nachfolgenden Frucht jedoch nicht beeinflusst wird.

WIESE et al. (2017) führten bundesweit eine glyphosatbezogene Umfrage unter Landwirten durch. Mit Bezug auf das Erntejahr 2013/2014 wurden Betriebseigenschaften, Anwendungsmuster und Einstellungen der Landwirte zu Glyphosat erfasst. Ähnlich wie die Auswertung der Schlagdaten, zeigte die bundesweite Umfrage eine hohe Diversität in den Glyphosat-Anwendungsmustern und einen Einfluss der Betriebsorganisation auf den Einsatz von Glyphosat.

Der vorliegende Beitrag fasst zwei unterschiedliche empirische Untersuchungen (ANDERT et al., 2015; WIESE et al., 2016) zum Einsatz von Glyphosat in Norddeutschland zusammen. Ziel der Studie ist es, durch die gemeinsame Analyse unterschiedlich erhobener Anwendungsdaten weitergehende Erkenntnisse zu den Applikationsmustern glyphosathaltiger Herbizide im Ackerbau zu gewinnen.

Material und Methoden

Datenerhebung

Die Anwendungsdaten setzen sich aus Ergebnissen der Umfrage und Schlagdaten zusammen. Schlagdaten sind Daten der Schlaghistorie der Jahre 2005 bis 2014 von konventionellen Betrieben aus den norddeutschen Regionen Diepholz, Uelzen, Rostock, Fläming und Oder-Spree (ANDERT et al., 2015; KONING et al., 2016). Die Regionen unterscheiden sich hinsichtlich Klima, Bodenqualität und Produktionsstruktur. Das Klima in der nordöstlichen Region Rostock ähnelt dem der beiden westlichen Regionen Diepholz und Uelzen. Die Produktionsstrukturen in der Region Rostock ähnelt, mit großen spezialisierten Betrieben, den östlichen Regionen Fläming und Oder-Spree.

Die fragebogenbasierte Umfrage wurde bundesweit und anonym unter konventionell wirtschaftenden Landwirten durchgeführt (WIESE et al., 2016). Erfragt wurden Informationen zu Betriebsorganisation, Anwendung von Glyphosat und die Meinung des Landwirts zu Themen, die im Zusammenhang mit Glyphosat stehen. Das Erntejahr 2013/2014 war dabei als Referenz vorgegeben.

Datenzusammenführung und -anpassung

Aus den oben genannten Regionen wurden Umfragedaten von Betrieben anhand der Postleitzahl ausgewählt. Um die Vergleichbarkeit beider Datensätze zu gewährleisten, erfolgte eine Anpassung der Datensätze. Es wurden nur Betriebsmerkmale und die Glyphosat-Anwendung betrachtet. Unter der Annahme, dass Teilnehmer einer Umfrage eher zu generellen Antworten neigen, wurde das Referenzjahr der Umfrage (Erntejahr 2013/2014) nicht als strikte Vorgabe, sondern als Orientierung für die Teilnehmer betrachtet. Aus diesem Grund wurden neben den Schlagdaten aus den Erntejahren 2013/2014 auch Schlagdaten aus 2012/2013 in die Analyse mit einbezogen. Lagen Schlagdaten für beide Erntejahre vor, wurden diese gemittelt. Die Daten aus der Umfrage beziehen sich auf die Ackerfläche des jeweiligen Betriebes, während sich Angaben aus den Schlagdaten auf die in den Schlagdaten erfasste Fläche beziehen. Wurde weniger als 33 % der Ackerfläche eines Betriebs erfasst, wurden diese Betriebe von der Untersuchung ausgeschlossen. Darüber hinaus wurde zwischen zwei Betriebsarten unterschieden, Ackerbau- und Gemischtbetriebe. Die sechs wichtigsten Fruchtarten in Norddeutschland, die Winterfrüchte Winterweizen, Winterrap, Wintergerste und Winterroggen, sowie die Sommerungen Mais und Zuckerrübe wurden genauer betrachtet. Zu den Betriebsmerkmalen zählen die Größe der Ackerfläche, mittlere Bodenqualität (in BP), Betriebsart, Anteil der gepflügten Fläche, Anteil der Winterfrüchte und jeweiliger Anteil der sechs wichtigsten Fruchtarten.

Die Zuordnung einer Glyphosatanwendung zu einer Anwendungsabgrenzung ist abhängig vom Zeitpunkt der Anwendung und dem Saattermin. Fehlende Saattermine wurden durch mittlere Saattermine für die jeweilige Region im jeweiligen Jahr ersetzt. Anwendungen, die innerhalb von 21 Tagen vor Aussaat durchgeführt wurden, werden in beiden Datensätzen als Vorsaatanwendung betrachtet. Anwendungen vor der Ernte gelten in beiden Datensätzen als Vorernteanwendung. Während in der Umfrage die Stoppelbehandlung der vorangegangenen Frucht zugeordnet wurde, zählt sie in den Schlagdaten zur folgenden Frucht. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten wurden Stoppelbehandlungen in den Schlagdaten nachträglich der vorangegangenen Frucht zugeordnet. In manchen Fällen war dies aufgrund nicht nachvollziehbarer Feldteilungen oder fehlender Daten für die vorangegangene Saison nicht möglich. Es wurde nur der Anteil Glyphosat-behandelten Fläche betrachtet, da Angaben zur Dosis nicht Bestandteil der Umfrage waren.

Statistische Auswertungen

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Statistikprogramm R und dem darin enthaltenen Paket „stats“ (R CORE TEAM, 2015). Mittelwertvergleiche für alle zu prüfenden Variablen

der Betriebseigenschaften, Anteile der betrachteten Fruchtarten und Glyphosatanwendung wurden mit dem Wilcoxon-Test (BAUER, 1972) durchgeführt.

Ergebnisse

Betriebsmerkmale

Die Auswertung der Betriebsmerkmale hat ergeben, dass der Anteil der Winterfrüchte in der Umfrage signifikant höher ist als in den Schlagdaten. Der Anteil der Ackerbaubetriebe ist in der Umfrage höher und der Anteil der gepflügten Fläche geringer als in den Schlagdaten, wenn auch nicht signifikant. Die übrigen Betriebsmerkmale unterscheiden sich ebenfalls nicht signifikant voneinander (Tab. 1).

Tab. 1 Mittelwerte der Betriebsmerkmale in Schlagdaten und Umfragedaten. In Klammern die Bandbreite der Werte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, getestet mit Wilcoxon-Test, $p < 0,05$.

Tab. 1 Mean major farm characteristics in field record data and survey data. Range of values in brackets. Different letters indicate significant differences. Tested with Wilcoxon-test, $p < 0.05$.

	Schlagdaten	Umfrage
Ackerfläche	721 ha ^a (35 – 3220 ha)	726 ha ^a (38 – 3810 ha)
Bodenpunkte	36 ^a (21 – 65)	40 ^a (20 – 85)
Arbeitskräftebesatz / 100 ha	1,04 ^a (0.3 – 3)	1,22 ^a (0.3 – 4.34)
Gepflügte Fläche	45 % ^a (0 – 100 %)	38 % ^a (0 – 100 %)
Anteil Winterfrüchte	61 % ^a (0 – 100 %)	73 % ^b (29 – 100 %)
Betriebsart: Ackerbaubetrieb	48 % ^a	60 % ^a

Auch die Anteile der einzelnen Fruchtarten in Schlagdaten und Umfrage sind nicht signifikant verschieden (Abb. 1).

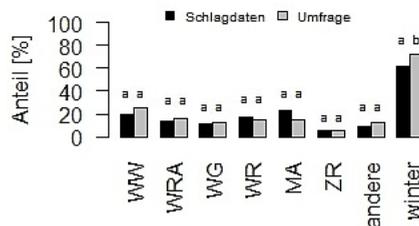


Abb. 1 Mittlere Anteile einzelner Fruchtarten. Schwarze Balken = Schlagdaten, graue Balken = Umfragedaten. WW = Winterweizen, WRA = Winterraps, WG = Wintergerste, WR = Winterroggen, MA = Mais, ZR = Zuckerrübe, andere = übrige Fruchtarten, winter = Winterfrüchte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, getestet mit Wilcoxon-Test, $p < 0,05$.

Fig. 1 Mean proportion of crops in the field record data and survey data. WW = winter wheat, WRA = winter oilseed rape, WG = winter barley, WR = winter rye, MA = maize, ZR = sugar beet, andere = other crops, winter = winter crops. Different letters indicate significant differences. Tested with Wilcoxon-test, $p < 0.05$.

Glyphosat-Anwendungsmuster

Nicht-Anwender stellen 27 % der Schlagdaten dar, verglichen mit 9 % in der Umfrage. Anwender die mehr als 100 % ihrer Ackerfläche mit Glyphosat behandeln (d.h. ein Teil ihrer Schläge mehr als einmal) waren nur in der Umfrage zu finden und machten 2 % aus (Abb. 2).

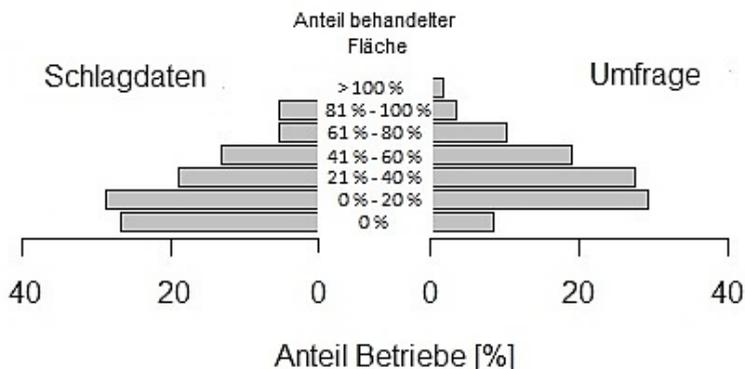


Abb. 2 Verteilung der Glyphosat-Nutzungsintensität in Schlagdaten und Umfrage.

Fig. 2 Distribution of glyphosate-use in the field record data and survey data.

Der mittlere Anteil der Flächen, auf denen eine Stoppelbehandlung durchgeführt wurde, war in der Umfrage signifikant höher als in den Schlagdaten. Die mittleren Anteile der insgesamt behandelten Fläche, der Fläche mit Vorerntebehandlung und der Fläche mit Vorsaatbehandlung unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Tab. 2).

Tab. 2 Mittlerer Anteil der behandelten Fläche und der behandelten Fläche je Anwendungsabgrenzung in den Schlagdaten und der Umfrage. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, getestet mit Wilcoxon-Test, $p < 0,05$.

Tab. 2 Mean proportion of glyphosate treated areas for different application purposes. Different letters indicate significant differences. Tested with Wilcoxon-test, $p < 0.05$.

	Schlagdaten	Umfrage
Total	26 % ^a	32 % ^a
Vorsaatbehandlung	13 % ^a	11 % ^a
Vorerntebehandlung	3 % ^a	2 % ^a
Stoppelanwendung	10 % ^a	19 % ^b

Der mittlere Anteil der Stoppelbehandlung nach Winterraps war in der Umfrage signifikant höher als in den Schlagdaten. Der mittlere Anteil der Vorsaatbehandlungen vor Winterraps, Wintergerste und Winterroggen war in den Schlagdaten signifikant höher als in der Umfrage (Tab. 3).

Tab. 3 Mittlerer Anteil der mit Glyphosat behandelten Fläche je Anwendungsabgrenzung und Frucht. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, getestet mit Wilcoxon-Test, $p < 0,05$.

Tab. 3 Mean proportion of glyphosate treated areas for each application purpose per crop. Different letters indicate significant differences. WW = winter wheat, WRA = winter oilseed rape, WG = winter barley, WR = winter rye, MA = maize, ZR = sugar beet. Tested with Wilcoxon-test, $p < 0.05$. * Stubble treatment in maize and sugar beet was not queried in the survey.

Frucht	Vorsaat-anwendung		Vorernt-anwendung		Stoppelanwendung	
	Schlagdaten	Umfrage	Schlagdaten	Umfrage	Schlagdaten	Umfrage
WW	8 % ^a	6 % ^a	4 % ^a	5 % ^a	8 % ^a	10 % ^a
WRA	9 % ^a	3 % ^b	2 % ^a	4 % ^a	15 % ^a	42 % ^b
WG	9 % ^a	1 % ^b	12 % ^a	4 % ^a	3 % ^a	10 % ^a
WR	6 % ^a	1 % ^b	1 % ^a	0 % ^a	6 % ^a	7 % ^a
MA	5 % ^a	13 % ^a	0 % ^a	0 % ^a	3 % ^{a*}	0 % ^{b*}
ZR	16 % ^a	22 % ^a	0 % ^a	0 % ^a	1 % ^{a*}	0 % ^{a*}

* Stoppelanwendung in Mais und Zuckerrübe war nicht Bestandteil des Fragebogens

Diskussion

Obwohl beide Datensätze Betriebseigenschaften und Glyphosat-Anwendungsmuster erfassen, folgen sie unterschiedlichen Herangehensweisen. Die Umfrage adressiert Landwirte um grundsätzliche Informationen über die Nutzung von Glyphosat zu erhalten, während Schlagdaten Aufzeichnungen über tatsächliche Anwendungen enthalten. Vergleichbar mit einer Verbraucherumfrage vor einem Supermarkt, mit anschließender Auswertung von Kassenbelegen, werden beide Ansätze in dieser Arbeit kombiniert. Mit dieser, in den Agrarwissenschaften neuartigen und innovativen Methode, können Erkenntnisse zu Glyphosat-Anwendungsmustern im Ackerbau besser eingeordnet werden.

Beschreibung der Betriebe

Anhand der Betriebsmerkmale wurde gezeigt, dass mit der Umfrage ähnliche Betriebe erreicht wurden, wie mit der Analyse der Schlagdaten. Der höhere Anteil an Winterfrüchten in der Umfrage lässt sich mit dem ebenfalls höheren Anteil der Ackerbaubetriebe in der Umfrage in Verbindung bringen. Ackerbaubetriebe neigen dazu ihre Fruchtfolgen durch einen hohen Anteil Winterfrüchte zu vereinfachen (GEHRING et al., 2012). Darüber hinaus kommt reduzierte Bodenbearbeitung häufiger in Ackerbaubetrieben zum Einsatz. Insbesondere große Betrieben mit vergleichsweise geringem Arbeitskräftebesatz substituieren öfter intensive Bodenbearbeitung mit Glyphosat (NAIL et al., 2007; GIANESSI, 2013), so dass Glyphosat für diese Betriebe eine große Bedeutung hat. Das Thema und die Art der Fragestellung einer Umfrage können die Teilnehmer einer Umfrage beeinflussen (BOGNER und LANDROCK, 2015). Es ist daher vorstellbar, dass eine Umfrage mit dem Thema „Glyphosat“ eher Landwirte anspricht, für die dieses Thema relevant ist. Der deutlich höhere Anteil an Nicht-Anwendern in den Schlagdaten legt nahe, dass eine glyphosatbezogene Umfrage vor allem Glyphosatanwender zu einer Teilnahme motiviert. Andererseits ist die Schlagdatenauswertung auf besonders kooperative Landwirte angewiesen, so dass auch hier keine rein zufällige Betriebsauswahl vorliegt.

Glyphosat-Nutzungsintensität

Die Glyphosatnutzung unterschied sich teilweise zwischen den Schlagdaten und der Umfrage. Insgesamt war die behandelte Fläche in der Umfrage höher als in den Schlagdaten, jedoch lag die insgesamt behandelte Fläche in beiden Datensätzen unter dem nationalen Durchschnitt von 2011 (STEINMANN et al., 2012) und dem Durchschnitt der gesamten bundesweiten Umfrage (WIESE et al., 2016). Während sich die Vorsaat-anwendungen in beiden Datensätzen nicht unterscheidet, ist der höhere Anteil der Vorernt-anwendung in den Schlagdaten mit der Zusammenlegung der Erntejahre 2012/2013 und 2013/2014 zu erklären. Starke Einschränkungen für die Vorernt-anwendung traten im Erntejahr 2013/2014 in Kraft. Obwohl das Erntejahr 2013/2014 in

der Umfrage als Orientierung dient und daher eher generelle Antworten der Teilnehmer erwartet wurden, wird diese Regulierung den Landwirten bei der Beantwortung des Fragebogens sicherlich bewusst gewesen sein. Es liegt daher nahe, dass sich die (generelle) Angaben der Landwirte zur Vorernteanwendung in der Umfrage auf das Erntejahr 2013/2014 und die folgenden Jahre beziehen.

Eine Erklärung für den signifikant höheren Anteil der Stoppelbehandlung in der Umfrage ergibt sich bei einer genaueren Betrachtung der Anwendungsgebiete je Fruchtart. Stoppelbehandlungen im Winterraps gelten als eines der wichtigsten Anwendungsgebiete für Glyphosat (STEINMANN et al., 2012). Der Anteil der Stoppelbehandlung nach Winterraps ist in der Umfrage signifikant höher als in den Schlagdaten. Gleichzeitig fällt auf, dass die Vorsaatanwendung in den Schlagdaten vor Winterraps und insbesondere die Vorsaatanwendung vor Wintergerste und Winterroggen signifikant höher ist als in der Umfrage. Vermutlich stimmt die Unterscheidung zwischen Vorsaatanwendung und Stoppelbehandlung in Abhängigkeit vom Saattermin nicht mit der Wahrnehmung der Landwirte überein. SCHMITZ und GAVERT (2012) schlussfolgern aus Experteninterviews, dass bundesweit auf 18 % der Winterrapsfläche eine Vorsaatanwendung durchgeführt wurde. Der Anteil an Vorsaatanwendungen zu Winterraps in den Schlagdaten belegt, dass Vorsaatanwendungen zu Winterraps durchgeführt werden. Wohingegen der signifikant niedrigere Anteil der Vorsaatanwendung zu Raps in der Umfrage nahelegt, dass die Maßnahmen von den Landwirten nicht als Vorsaatanwendung wahrgenommen wurden. Der signifikant höhere Anteil der Vorsaatanwendung zu Winterraps in den Schlagdaten geht mit einem, im Vergleich zur Umfrage, geringeren Anteil in der Stoppelbehandlung nach Wintergerste einher. Winterraps wird in der Fruchtfolge häufig nach Wintergerste angebaut (STEINMANN und DOBERS, 2013). Ein weiterer Hinweis darauf, dass die Vorsaatanwendung von Landwirten als Stoppelbehandlung wahrgenommen wird. So lassen sich auch der signifikant höheren Anteile der Vorsaatanwendungen zu Wintergerste und Winterroggen in den Schlagdaten erklären, die in der Umfrage kaum zu finden sind. STEINMANN et al. (2012) stießen in einer 2011 durchgeführten Umfrage auf Aussagen von Landwirten, die nicht mit der zeitlichen Differenzierung von Vorsaatanwendung und Stoppelbehandlung übereinstimmen. Möglicherweise ist die Definition, dass eine Anwendung innerhalb von 21 Tagen vor der Aussaat als Vorsaatanwendung gilt, nicht praxisnah genug und wird daher von vielen Landwirten nicht wahrgenommen. Eine engere, aber gleichwohl klar definierte Zeitspanne für die Vorsaatanwendung könnte hier für mehr Praxisnähe sorgen. Auch für die Abgrenzung von Anwendungsgebieten ist die klare Trennung von Stoppel- und Vorsaatanwendungen sinnvoll.

Bei der Markteinführung von Glyphosat in Deutschland war die Stoppelbehandlung das wesentliche Anwendungsgebiet in der Landwirtschaft. Im Gegensatz dazu ist die Vorsaatanwendung noch ein relativ neues Anwendungsgebiet, das erst mit der aufkommenden reduzierten Bodenbearbeitung und als Beitrag zur Herbiziddiversität mit dem Auftreten herbizidresistenter Unkrautpopulationen an Bedeutung gewonnen hat (DICKE et al., 2017). In den hier untersuchten Regionen sind bisher keine Probleme mit resistenten Unkräutern bekannt. Möglicherweise sind Landwirte aus diesen Region deshalb nicht für die Unterscheidung zwischen Stoppelbehandlung und Vorsaatanwendung sensibilisiert.

Dank

Die Daten wurden im Projekt "Nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland (NaLaMa-nT)" Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie im Projekt „Best Management Praktiken und Nachhaltige Anwendung von Glyphosatprodukten“ Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und gefördert. Besonderer Dank gilt allen Landwirten die Betriebsdaten bereitgestellt haben oder sich an der Umfrage beteiligt haben.

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.

28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig

- ANDERT, S., J. BÜRGER, J.-E. MUTZ und B. GEROWITT, (in preparation): The role of glyphosate in weed management of farms in Northern Germany. *Pest Management Science*, submitted.
- ANDERT, S., J. BÜRGER, S. STEIN und B. GEROWITT, 2016: The influence of crop sequence on fungicide and herbicide use intensities in North German arable farming. *European Journal of Agronomy* **77**, 81-89.
- BAUER, D.F., 1972: Constructing confidence sets using rank statistics. *Journal of the American Statistical Association* **67**, 687-690.
- BAYLIS, A.D., 2000: Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. *Pest Management Science* **56**, 299-308.
- BENBROOK, C.M., 2016: Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe* **28**, 3.
- BOGNER, K. und U. LANDROCK, 2015: Antworttendenzen in standardisierten Umfragen. Hg. v. GESIS - Leibniz Institute for the Social Sciences.
- BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (21.05.2014): Inlandsabsatz und Export von Pflanzenschutzmitteln - Jahresbericht 2016.
http://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/06_Fachmeldungen/2017/2017_09_29_Fa_Inlandabsatz_Ausfuhr_Bericht_2016.html?nn=1400938.
- COOK, S.K.W., C. SARAH und J. H. CLARKE, 2010: How Valuable is Glyphosate to UK Agriculture and the Environment? *Outlooks on Pest Management* **6**, 280- 285.
- DENTZMAN, K., R. GUNDERSON und R. JUSSAUME, 2016: Techno-optimism as a barrier to overcoming herbicide resistance. Comparing farmer perceptions of the future potential of herbicides. *Journal of Rural Studies* **48**, 22-32.
- DICKE, D., R. DITTRICH, R. FORSTER, K. GEHRING, R. GÖTZ, K. HÜSGEN et al., 2017: Handlungsempfehlung der Bund-Länder-Expertengruppe zur Anwendung von Glyphosat im Ackerbau und in der Grünlandbewirtschaftung.
- GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT und C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2012: Principles of resistance management for the control of *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* in the view of the official plant protection service. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 89-101.
- GIANESSI, L.P., 2013: The increasing importance of herbicides in worldwide crop production. *Pest Management Science* **69**, 1099-1105.
- HEAP, I., 2014: Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest Management Science* **70**, 1306-1315.
- KEHLENBECK, H., J. SALTZMANN, J. SCHWARZ, P. ZWARGER und H. NORDMEYER, 2016: Economic assessment of alternatives for glyphosate application in arable farming. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 279-289.
- KONING, L.A., D. SEFZAT und B. GEROWITT 2016: Exploring the effects of glyphosate products on weed composition. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 270-278.
- NAIL, E., D. YOUNG und W. SCHILLINGER, 2007: Diesel and glyphosate price changes benefit the economics of conservation tillage versus traditional tillage. *Soil and Tillage Research* **94**, 321-327.
- R CORE TEAM, 2015: R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>.
- SCHMITZ, M.P. und H. GAVERT, 2012: Agro Economic Analysis of the use of Glyphosate in Germany. *Journal für Kulturpflanzen* **64**, 150-162.
- SCHULTE, M. und L. THEUVSEN, 2015: The economic benefit of herbicides in arable farming - with a special focus on glyphosate. *Journal für Kulturpflanzen* **67**, 269-279.
- SEFZAT, D., 2016: Zum Einsatz von Glyphosat im Ackerbau. eine Auswertung von Aufzeichnungen ausgewählter landwirtschaftlicher Betriebe in der Region Rostock. Masterthesis, 09.05.2016.
- 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. und 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. *J. Plant Dis. Prot.* **120**, 85-94.
- 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**, 112-115.
- WIESE, A., M. SCHULTE, L. THEUVSEN und H.H. STEINMANN, 2016: Uses of glyphosate in German arable farming - operational aspects. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 255-262.
- WIESE, A., M. SCHULTE, L. THEUVSEN und H.H. STEINMANN, 2017: Interactions of glyphosate use with farm characteristics and cropping patterns in Central Europe. *Pest Management Science* (in press).
- WYNN, S.C., S.K. COOK und J.H. CLARKE, 2014: Glyphosate Use on Combinable Crops in Europe. Implications for Agriculture and the Environment. *Outlook Pest Man.* **25**, 327-331.

Zum künftigen Umgang mit Glyphosat im Ackerbau - Ein Diskussionsbeitrag

On the future use of glyphosate in arable farming systems - a discussion statement

Horst-Henning Steinmann^{1*}, Ludwig Theuvsen², Bärbel Gerowitt³

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

³Universität Rostock, Arbeitsgebiet Phytomedizin, Satower Str. 48, 1851 Rostock

*Korrespondierender Autor, hsteinm@gwdg.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.036



Zusammenfassung

Über die EU-Wirkstoffgenehmigung von Glyphosat war bis zum Redaktionsschluss noch keine Entscheidung gefallen. Sollte es zu einer Wiedezulassung von Glyphosat basierten Herbiziden (GBH) kommen, so sind Einschränkungen zu erwarten. Es ist damit zu rechnen, dass Beeinträchtigungen der biologischen Vielfalt reduziert werden müssen. Weiterhin besteht eine Debatte über eine Reduktion der Gesamtmenge von GBH. Der Beitrag gibt einen Überblick über den Stand der Diskussion und erläutert Pro und Contra verschiedener Reduktions- und Kompensationsinstrumente.

Stichwörter: Anwendungsgebiete, Biodiversität, Herbizide, Pflanzenschutz, Pflanzenschutzmittelabgabe

Abstract

The European re-approval of glyphosate was not decided when this text was going to press. In case of a re-approval of glyphosate based herbicides (GBH), restrictions for users are expected. Negative impact on wildlife and biodiversity has to be taken into account. Furthermore, a debate on the necessity of a use reduction of GBH is on the way. This contribution gives an overview of the current discussion and the pros and cons of measures to reduce glyphosate amount and compensate for impact on biodiversity.

Keywords: Biodiversity, herbicides, pesticide tax, pesticide use, plant protection

Einleitung

Die Zulassung von Glyphosat und den Glyphosat basierten Herbiziden (GBH) befindet sich derzeit in der Schwebe (Stand Oktober 2017). Das europäische Genehmigungsverfahren dauert seit ca. 2012 an. Noch ist nicht absehbar, ob der Wirkstoff die letzten erforderlichen Abstimmungen passieren wird. Weiterhin ist unklar, mit welchen Auflagen und Einschränkungen GBHs nach einer erteilten Wirkstoffgenehmigung in den Ländern zugelassen werden.

Die Gründe für diesen lang andauernden Prozess sind vielschichtig. Wichtige Punkte waren und sind die Kontroversen über die krebserregende Wirkung von Glyphosat sowie die Debatte über die nachteiligen Wirkungen von Breitbandherbiziden auf die biologische Vielfalt.

Im Fall einer erneuten Genehmigung des Wirkstoffs werden voraussichtlich Einschränkungen vorgenommen werden. Dies deutet sich an angesichts der bisherigen Diskussion und der Entscheidungsvorlagen der EU-Kommission zu den Gremienabstimmungen. Die Anwendungen im privaten Bereich, die Vorernteanwendungen sowie zu ergreifende Maßnahmen zum Schutz der biologischen Vielfalt sind kritische Punkte, die einer Beschränkung bzw. vertieften Ausgestaltung bedürfen.

Neu ist, dass in der Glyphosatdebatte auch die Frage nach einer Mengenreduktion gestellt wird. Bisher war der Absatz von regulär zugelassenen Pflanzenschutzmitteln dem Wirken des Marktes überlassen. Produkte bzw. Wirkstoffe mit einem breiten Spektrum von Anwendungsgebieten (besonders in den „großen“ flächenstarken Kulturen) und überzeugenden Wirkungseigenschaften wurden über Jahre mit hohen Absatzmengen verkauft und angewendet. Andere brachten es nur zu Nischenanwendungen.

Glyphosat ist deutschland- und weltweit der Wirkstoff mit der größten Absatzmenge. Nach Zeiten des Absatzbooms zeigt sich in Deutschland eine Stabilisierung auf hohem Niveau und in den USA,

als einem der größten Absatzmärkte, ein anhaltender Anstieg. Dort kommt Glyphosat aufgrund großflächiger Resistenzvorkommen an seine Grenzen (DAVIS und FRISVOLD, 2017). In Deutschland herrschen – verglichen mit den USA – andere Anwendungspraktiken. Hier wird die große Absatzmenge vor allem hinsichtlich der Uniformität der Landnutzung und damit einhergehendem Verlust von Vielfalt (auch der Biodiversität) diskutiert. Präventive Überlegungen hinsichtlich einer Vermeidung von Glyphosatresistenzen bei Unkrautpopulationen sowie einer Verringerung von Glyphosatfrachten in die Umwelt kommen hinzu.

Die Mengenreduktion steht somit für das Bestreben, bei bestehender Zulassung nicht die potenziell mögliche Absatzmenge auszureizen, sondern eine Beschränkung auf freiwilliger oder regulatorischer Basis zu finden. Es handelt sich dabei um eine (Selbst-)Beschränkung, die unter dem ackerbaulich Möglichen bleibt. Betrachtet man Glyphosat als eine Ressource, die es nachhaltig zu nutzen gilt, so geht es darum, eine Übernutzung zu vermeiden („overuse“, siehe hierzu auch DAVIS und FRISVOLD, 2017).

Dieser Beitrag fasst den Stand der Diskussion zusammen und schildert Ideen und Konzepte, die einen künftigen Einsatz von Glyphosat begleiten könnten.

Material und Methoden

Dieser Beitrag basiert auf den Arbeiten im Rahmen des Projektes „Best-Management-Praktiken und nachhaltige Anwendung von Glyphosatprodukten“, gefördert durch das BMEL und umgesetzt durch den Projektträger BLE. Mit Hilfe einer Umfrage unter ca. 2000 Landwirten wurden Anwendungsmuster bei der Ausbringung von Glyphosat im Ackerbau identifiziert (WIESE et al., 2016; WIESE et al., 2017). Anhand von Szenarienanalysen wurden betriebswirtschaftliche Auswirkungen eines Glyphosatverzichtes kalkuliert (SCHULTE et al., 2016). Feldversuche und Monitorings wurden durchgeführt, um Auswirkungen wiederholter Glyphosatanwendungen auf die Unkrautflora zu erfassen.

Im Rahmen des Projekts wurden flankierend Expertengespräche sowie ein Projektworkshop (Mai 2016) durchgeführt. Die Ergebnisse der Gespräche und des Workshops sind in diesen Beitrag eingeflossen.

Folgende Themen wurden behandelt:

- Mengenreduktion
- Ackerbau ohne Glyphosat
- Ökonomische Anreize zur Mengensteuerung (Pflanzenschutzsteuer)
- Essentielle bzw. entbehrliche Anwendungsgebiete
- Kompensationsmaßnahmen zur Verbesserung der Biodiversität

Die Autoren sind bemüht, den Stand der Ergebnisse, Gespräche und Diskussionen qualitativ zusammenzufassen. Dabei wird die Breite der Diskussion wiedergegeben. Nicht alle Argumente können angesprochen werden und im Einzelfall mögen Positionen hier milder formuliert sein, als sie in der realen Debatte vorgebracht wurden und nach wie vor vorgebracht werden. Für den Text sind daher allein die Autoren verantwortlich. Eine ausführlichere, pointiertere Stellungnahme findet sich bei STEINMANN et al. (2016).

Tab. 1 Argumente für (Pro) bzw. gegen (Contra) eine Reduktion des Glyphosateinsatzes.

Tab. 1 Pros and cons about a reduction in glyphosate amounts.

Thema	Pro	Contra	Bemerkungen
Reduktionsbedarf	Viele Routineanwendungen	„Übernutzung“ des Wirkstoffes gibt es nicht	Pauschale Reduktion schwer abzustimmen mit intern. Handel und Wettbewerb Offene Fragen: Wieviel Reduktion und wie zu erreichen?
	Fehlende Diversität im Anbauverfahren	Mittel werden sinnvoll eingesetzt	
	Vermeidung von Glyphosatresistenzen		

Tab. 2 Die bedeutendsten Anwendungsgebiete von Glyphosat im Ackerbau und Gründe, die für (Pro) eine Einschränkung bzw. ein Abschaffen dieses Anwendungsgebietes oder dagegen (Contra) sprechen.

Tab. 2 Pros and cons about limitations/withdrawals of glyphosate uses.

Thema	Pro	Contra	Bemerkungen
Stoppelanwendung	Größte Mengeneffekte zu erwarten	Grundsätzlich nicht entbehrlich	Wäre eine „Kappung“ möglich?
	Viele Routineanwendungen	Daher schwierig zu reduzieren	
Vorsaatelanwendungen	Selektionsdruck auf Unkrautpopulationen	Zentrales Anwendungsgebiet wegen Erosionsschutz	Evtl. ein Erosionskataster oder Gebietskulissen erstellen
Sikkation	Am ehesten entbehrlich Anwendung ist dicht am Ernteprodukt, daher Symbolwirkung für Verbraucher	Maßnahme ist nicht mit techn. Werkzeugen ersetzbar	Strikte Deckelung angebracht. Über „Rezeptpflicht“ nachdenken?

Ergebnisse

Glyphosatkritiker drängen auf eine strikte **Reduktion der Mengen**, was nicht verwunderlich ist. Aber auch Experten aus der Agrarverwaltung, aus dem Kreis von Herbologen, Agrar- und Pflanzenwissenschaftlern und selbst zahlreiche Landwirte plädieren für einen sparsameren Umgang und damit grundsätzlich für eine Reduktion (Tab. 1). Wichtigster Grund ist, dass die Anwender zu stark auf diesen Wirkstoff setzen und dass die ohnehin schon fortgeschrittene Uniformierung der Ackerbausysteme noch weiter zunimmt. Demgegenüber steht die Ansicht, dass der Glyphosateinsatz genau dem entspricht, was ackerbaulich erforderlich ist. Landwirte könnten über das notwendige Maß genau entscheiden, da sie über die Sachkunde verfügen; zudem könne eine „Übernutzung“ gar nicht definiert werden, heißt es aus Sicht der Glyphosatbefürworter.

Insgesamt sehen die Autoren bei vielen Gesprächspartnern eine grundsätzliche Zustimmung zu einer Reduktion der Glyphosattmengen. Bisher bleibt aber völlig offen, in welcher Größenordnung die Reduktion anzustreben und mit welchen Mitteln sie zu erreichen ist.

Abgesehen von starken Glyphosatkritikern und Vertretern des Ökolandbaus sieht die überwiegende Zahl von Agrar- und Pflanzenschutzexperten Glyphosat als grundsätzlich sehr nützlich an. GBH erleichtern bzw. ermöglichen pfluglosen Ackerbau und helfen beim Vegetationsmanagement. Andererseits kann Glyphosat in fast allen Anwendungsgebieten durch intensivere Bodenbearbeitung, andere Herbizide oder andere flankierende Ackerbaumaßnahmen ersetzt werden.

Die Frage, ob im Rahmen einer Mengenreduktion auf ganze **Anwendungsgebiete** verzichtet werden soll, ist daher nicht einfach zu beantworten (Tab. 2). Vieles spricht dafür, die

Stoppelanwendungen zu reglementieren oder gar von der Zulassung auszunehmen. Dem steht gegenüber, dass dieses Anwendungsgebiet zentral für das Management perennierender Unkräuter ist, für das ja auch in den 1970er Jahren die ersten Zulassungen erteilt wurden. Aus administrativer Sicht ist ein Versagen einer Zulassung auf der Stoppel kaum zu rechtfertigen, wenn das Mittel die Zulassungskriterien ansonsten erfüllt.

Die Vorsaatanwendungen haben sich mit der Zunahme der konservierenden Bodenbearbeitung zu einem wichtigen Anwendungsgebiet entwickelt. Aus Sicht des Bodenschutzes ist daher auf diese Anwendungen nicht zu verzichten. Reduktionsmöglichkeiten bestehen dort, wo konservierende Bodenbearbeitung auf ebenen, also nicht erosionsgefährdeten Flächen betrieben wird. Eine Beschränkung von Glyphosat auf tatsächlich erosionsgefährdete Flächen (Gebietskulisse) ist denkbar, aber von rechtlichen Fragen der Zulassung her schlecht umzusetzen.

Glyphosat wird häufig auch im Voraufbau genutzt und in der Art eines Reservewirkstoffes zum Resistenzmanagement schwer bekämpfbarer Unkrautpopulationen eingesetzt. Selbst hier spricht vieles für eine Reduktion des Stoffeinsatzes, denn unter diesen Bedingungen kann auf ohnehin schon problematische Unkrautpopulationen ein weiterer Selektionsdruck durch Glyphosat ausgeübt werden (siehe auch DAVIES und NEVE, 2017).

Unter den diskutierten Anwendungsgebieten erscheint am ehesten die Sikkation verzichtbar. Hier verlangt das EU-Verfahren deutliche Einschränkungen und in Deutschland wirken bereits regulatorische Hebel, so dass die Sikkation nur noch in engen Grenzen gestattet ist. Gegen ein komplettes Abschaffen spricht allerdings, dass diese Anwendung als „Not“-maßnahme nicht mit ackerbaulichen oder technischen Methoden zu ersetzen ist. Eine „Rezeptpflicht“, also eine durch Sachverständige oder Behörden zu gewährende Erlaubnis für eine außerordentliche Vorernteanwendung, könnte den Kreis der Anwendungen klein halten.

Zusammengefasst, fällt es nicht leicht komplette Anwendungsgebiete zur Streichung vorzuschlagen, sofern nicht Gründe des Naturhaushaltes oder Verbraucherschutzes dies zwingend verlangen.

Ein Ausweg könnte eine **Kappung** (sinngemäß: Begrenzung, Deckelung) der betrieblichen Glyphosatmenge sein (Tab. 3). Bei dieser noch wenig ausgestalteten Idee würde jeder Betrieb nur eine begrenzte Menge Glyphosat zur Verfügung haben. Jeder Anwender könnte dann selber entscheiden, wo diese Menge am sinnvollsten und mit dem höchsten Nutzen eingesetzt werden könnte. Durch die Deckelung würde eine Mengenbegrenzung stattfinden. Unter pragmatischen Gesichtspunkten hätte eine solche Lösung Vorteile: Landwirte könnten unter der Restriktion weiterhin die unternehmerisch beste Einsatzmöglichkeit wählen. Als nachteilig würde sicher ein in ganz erheblichem Maße erforderlicher Verwaltungs- und Kontrollaufwand angesehen werden.

Tab. 3 Argumente, die für (Pro) oder gegen (Contra) eine Mengenbegrenzung (Kappung) der betrieblichen Glyphosatmenge sprechen.

Tab. 3 Pros and cons about a limitation of glyphosate amount per farm.

Thema	Pro	Contra	Bemerkungen
Kappung	Landwirte hätten die Möglichkeit, Glyphosat dort einzusetzen, wo es am sinnvollsten ist	Schwer zu verwalten und zu kontrollieren Webhandel und Parallelimporte sind zu berücksichtigen. Welche Menge soll zugeteilt werden?	Interessante Idee, die aber weiterer Ausgestaltung bedarf

Es dürfte auch die Entscheidung schwer fallen, bei welcher Menge die Kappung greifen soll (Tab. 3). Erfahrungen mit anderen Quotierungen lassen weitere Fragen aufkommen. So würde geregelt werden müssen, ob zugeteilte Mengen von einem Jahr ins andere oder zwischen Landwirten

verteilt werden dürfen, um nur einige Fragen zu nennen. Auch stellt sich die Frage der Möglichkeit einer wirkungsvollen Überwachung einer Mengenbegrenzung.

Die **Besteuerung** von Glyphosat bzw. von Pflanzenschutzmitteln insgesamt ist ein häufig diskutiertes Konzept, um eine Mengensteuerung zu erreichen (Tab. 4). Für Glyphosat ist eine deutliche Preiselastizität der Absatzmengen erkennbar (Abb. 1), so dass eine Verteuerung eine Mengenreduktion erwarten ließe. Ein Blick auf andere Länder, in denen bereits PSM Steuern erhoben werden, zeigt, dass solche Konzepte durchaus umgesetzt und auf Politikziele abgestimmt werden können – sie entfalten dann auch Lenkungswirkung (BÖCKER und FINGER, 2016). Dagegen ist vorzubringen, dass diese Effekte unter Umständen zu unerwarteten oder gar unerwünschten Anpassungen oder zu einem beschleunigten Strukturwandel speziell auf Grenzstandorten führen können. Auch wird die Wirksamkeit einer Pflanzenschutzsteuer zum Teil vehement bestritten (o.V., 2017). Ein nachträgliches Nachjustieren ist zwar möglich, aber aufgrund der Zeitdauer von Gesetzgebungsverfahren träger als beispielsweise das Erteilen von Anwendungsbestimmungen oder -beschränkungen.

Tab. 4 Argumente, die für (Pro) oder gegen (Contra) eine Steuer auf Glyphosat sprechen. Zahlreiche Argumente gelten auch für oder gegen eine generelle PSM-Steuer.

Tab. 4 Pros and cons about a tax on glyphosate. Many aspects also refer on pesticide tax in general.

Thema	Pro	Contra	Bemerkungen
PSM-Steuer	Verschiedene Ansätze existieren bereits Lenkungswirkung erreichbar Steuer kann auf Politikziele abgestimmt werden Glyphosat hat eine deutliche Preis-Mengen-Relation	Verwaltung und Kontrolle aufwändig Unbeabsichtigte Anpassungen möglich Träges Instrument Problem Schwarzimporte Muss mit anderen Politikinstrumenten abgestimmt werden, sonst lediglich Steuer auf Gewinn	Sehr kontrovers Lenkungswirkung z.T. bestritten

In jedem Fall muss eine Steuer genau mit anderen Politiken, z. B. Kompensationsauflagen, abgestimmt werden. Sollte die Steuer nicht nur lenken, sondern tatsächlich externe Effekte kompensieren, so fehlen derzeit ausreichende Kenntnisse über die Höhe der externen Kosten des Glyphosateinsatzes.

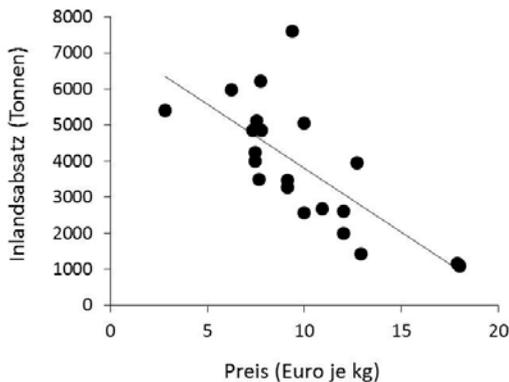


Abb. 1 Beziehung von Preis und Absatzmenge bei Glyphosat. Eigene Berechnung aufgrund der jährlichen Absatzmengen laut Zulassungsbehörde sowie Preisauskünften des Landhandels (jeweiliges Glyphosat-Premiumprodukt, mittelgroßes Gebinde) im Zeitraum 1993–2013.

Fig. 1 Relation between price and sales amount of glyphosate. Own calculation on the basis of national sales data and product prices (glyphosate premium product, mid size unit) for the period 1993–2013.

Formulierungen aus dem Bewertungsbericht sowie die Entscheidungsvorlagen für die EU-Gremien enthalten unmissverständliche Hinweise, dass bei der Zulassung von GBH Auswirkungen auf die biologische Vielfalt zu beachten bzw. zu verringern sind. Bisher fehlen konkrete Vorschläge, wie dies umgesetzt werden soll.

Ein seit einigen Jahren geäußelter Vorschlag ist die Einrichtung von **Kompensationsflächen**, die in irgendeiner Art stillzulegen sind und damit der Regeneration der biologischen Vielfalt dienen (Tab. 5). Diese Kompensationsflächen sollen dann obligatorisch sein, wenn Breitbandinsektizide und –herbizide – wozu auch Glyphosat gehören würde – angewendet werden. Es erstaunt nicht, dass dieser Vorschlag sehr kontrovers diskutiert wird. In Unkenntnis der genauen Ausgestaltung solcher Ausgleichsflächen kann die Debatte tatsächlich nur sehr holzschnitthaft ausfallen.

Tab. 5 Argumente, die für (Pro) oder gegen (Contra) obligatorische Kompensationsflächen beim Einsatz von Breitbandherbiziden sprechen.

Tab. 5 Pros and cons about mandatory compensation areas accompanying the use of broad spectrum herbicides.

Thema	Pro	Contra	Bemerkungen
Kompensationsflächen	Anhaltender Verlust von Biodiversität Breitbandherbizide reduzieren Vielfalt Bisherige Maßnahmen unzureichend wirksam Rechtlich einwandfrei, denn etliche existierende Auflagen gehen schon in diese Richtung (Gewässer- oder Runoffstreifen)	Beweislage nicht eindeutig Artenrückgang hat viele Ursachen Rechtliche Unzulässigkeit Vermischen von Politiken Kontroll- und Verwaltungsaufwand hoch	Aus Agrarsicht überwiegend Kritik/Ablehnung. Bisher keine detaillierten Vorschläge, daher noch viele Unklarheiten. Grundsätzlich sind Kompensationsflächen auch in anderen Konzepten enthalten (Greening, NAP). Daher kein exotischer Vorschlag. Anrechenbarkeit müsste möglich sein.

Ein wesentliches Argument, das für diese Kompensationsflächen spricht, ist der anhaltende Verlust der Artenvielfalt in der Agrarlandschaft, dem bisher nicht substanziell entgegengetreten werden

konnte. Genau an diesem Argument manifestiert sich aber auch Kritik, denn der anhaltende Verlust der Vielfalt ist bereits seit Jahrzehnten zu beobachten. Daher ist eher die intensive Nutzung der Agrarlandschaft durch die sich über die Jahrzehnte entwickelnden Anbausysteme als Gesamtpaket für den Verlust der Vielfalt verantwortlich zu machen als einzig das Glyphosat. Die Rechtfertigung für Kompensationsflächen ist damit nicht nur fachlich schwierig, sondern auch juristisch nicht einfach, da eine Wirkung, die auf komplexe Ursachen zurückgeht, anhand eines konkreten Eingriffs kompensiert werden soll.

Diskussion

Bei der Debatte über die künftige Nutzung von GBH kommen zwei Paradigmenwechsel zur Sprache. Erstmals wird auch von Agrarfachleuten der Bedarf einer Mengenreduktion bei einem Pflanzenschutzmittel ausgesprochen. Das würde in der Konsequenz bedeuten, dass die freie Verfügbarkeit von GBH eingeschränkt würde, obwohl zulassungskonform noch größere Mengen einsetzbar wären. Diese Einschränkung würde die Nicht- oder Weniganwender (WIESE et al., 2016) nicht treffen, wohl aber die Vielanwender; also Landwirte, die GBH routinemäßig auf großen Anteilen des Ackerlandes einsetzen. Wenn diese Reduktion nicht nur durch Überzeugung und Beratung erreicht werden kann (soll), sondern mit Hilfe von administrativen Regeln, dann gibt es derzeit kein Instrument, mit dem ein Reduktionsziel uneingeschränkt erreichbar wäre und auf das sich die Akteure weitestgehend einigen könnten.

Die Anforderung, Kompensationsflächen als Ausgleich für die Anwendung von Breitbandherbiziden anzulegen, wäre ein weiterer Paradigmenwechsel. Bisher wurden Auflagen erteilt, wenn externe Effekte zu befürchten waren. Mit der Kompensationsidee sollen Auswirkungen adressiert werden, die im Grunde dem Anwendungszweck auf der Kernackerfläche entsprechen. Die immanente Aufgabe von Herbiziden ist es ja, Unkräuter zu bekämpfen – eine Aufgabe, die sonst auch mit anderen Werkzeugen erledigt wird. Andererseits ist hinreichend belegt, dass die Felder moderner Ackerbausysteme extrem artenarme Lebensräume sind und dass zumindest die Segetalflora durch Breitbandherbizide stark dezimiert wird. Da Unkräuter als Nahrungsquelle für die Herbivoren der Agrarlandschaft eine Rolle spielen, reichen die Auswirkungen weit in die Nahrungsketten hinein. Dem Trend der fortschreitenden Artenverarmung ist bisher nicht wirksam entgegengetreten worden. Mit dem Instrument des Greening sollten unter Anderem ökologische Vorrangflächen (ÖVF) zur Verbesserung der biologischen Vielfalt geschaffen werden. Mittlerweile hat sich gezeigt, dass die Greeningverpflichtungen mit Blick auf diese ÖVF vielfach mit Zwischenfrucht- und Leguminosenanbau umgesetzt werden (PEER et al., 2016). Diese Maßnahmen sind aber für die biologische Vielfalt kaum wirksam.

Bei den bisherigen Vorschlägen zu Pflanzenschutz-Kompensationsflächen bleibt unklar, ob diese Flächen in bestehende Verpflichtungen integrierbar sein sollen, oder ob eine weitere Verpflichtung zu den bestehenden hinzukommen soll. Letzteres würde diejenigen Landwirte besonders belasten, die bereits ambitionierte Greeningmaßnahmen (z. B. Saumstrukturen und Streifen) umsetzen. Zielführender wäre daher eine Anrechenbarkeit von schon umgesetzten höherwertigen Biodiversitätsmaßnahmen, um am Ende auf ein festzusetzendes Gesamtqualitätsziel von x Prozent zu kommen. Dies würde Anreize schaffen, Maßnahmen mit einem höheren Greening-Anrechnungsfaktor zu wählen.

Ausblick

Bei Redaktionsschluss hatten sich die Gremien noch nicht mit der Entscheidung über die Wirkstoffgenehmigung befasst. Daher besteht ein Risiko, dass dieser Text zum Zeitpunkt des Erscheinens von den Ereignissen überrollt ist. Wir denken aber, dass dieses Risiko lediglich hinsichtlich der endgültigen Ablehnung im Abstimmungsprozess besteht. Im Falle einer weiteren Genehmigung wird die Diskussion aber auf absehbare Zeit noch nicht beendet sein. Zudem

müssen Umsetzung und Ausgestaltung der zulassungsbegleitenden Maßnahmen ausgearbeitet und verhandelt werden.

Es zeichnet sich bereits ab, dass der Ausgang der Debatte nicht nur von fachlichen und politischen Argumenten abhängt, sondern auch Juristen beschäftigen wird. Schließlich müssen die genannten Paradigmenwechsel in ihrer Umsetzung auch gerichtsfest sein. Die rechtlichen Implikationen können an dieser Stelle jedoch nicht diskutiert werden.

Glyphosatanwender sollten jedoch nicht nur die gerichtliche Auseinandersetzung suchen, sondern sich auch auf die fachliche Suche nach Wegen zu einem sparsamen Umgang – also einem Best-Management von Glyphosat – begeben. Der durch das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL, 2017) dokumentierte Rückgang der Inlandsabsatzmengen auf unter 4000 Tonnen Wirkstoff im Jahr 2016 ist möglicherweise ein erster Schritt.

Literatur

- BÖCKER, T. und R. FINGER, 2016: European Pesticide Tax Schemes in Comparison: An Analysis of Experiences and Developments. *Sustainability* **8**, 378.
- BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit), 2017: Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse der Meldungen gemäß § 64 Pflanzenschutzgesetz für das Jahr 2016.
- DAVIS, A. S. und G. B. FRISVOLD, 2017: Are herbicides a once in a century method of weed control? *Pest Management Science* **73**, 2209-2220.
- DAVIES, L.R. und P. NEVE, 2017: Interpopulation variability and adaptive potential for reduced glyphosate sensitivity in *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* **57**, 323-332.
- o.V., 2017: Neue Einschätzung zur Pflanzenschutzsteuer. <https://www.wochenblatt.com/landwirtschaft/nachrichten/neue-einschaetzung-zur-pflanzenschutzsteuer-12041.html> (Download: 04.10.2017).
- PE'ER, G., Y. ZINNGREBE, J. HAUCK, S. SCHINDLER, A. DITTRICH, S. ZINGG, T. TSCHARNTKE, R. OPPERMAN, L. SUTCLIFFE, C. SIRAMI, J. SCHMIDT, C. HOYER, C. SCHLEYER und S. LAKNER, 2016: Adding Some Green to the Greening: Improving the EU's Ecological Focus Areas for Biodiversity and Farmers. *Conservation Letters* **10**, 517-530.
- SCHULTE, M., L. THEUVSEN, A. WIESE und H.-H. STEINMANN, 2016: Die ökonomische Bewertung von Glyphosat im deutschen Ackerbau. Veröffentlichungen der GEWISOLA.
- STEINMANN, H.-H., L. THEUVSEN und B. GEROWITT, 2016: Rahmenbedingungen für einen künftigen Einsatz von Glyphosat. *AgraEurope*, **23/16**, 11-14.
- 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.
- WIESE, A., M. SCHULTE, L. THEUVSEN und H.-H. STEINMANN, 2017: Interactions of glyphosate use with farm characteristics and cropping patterns in Central Europe. *Pest Management Science*. DOI: 10.1002/ps.4542.

Variabilität in der Wirkung von Glyphosat gegen *Alopecurus myosuroides* HUDS. (Acker-Fuchsschwanz) in Niedersachsen

Variability in glyphosate efficacy in *Alopecurus myosuroides* HUDS. (blackgrass) in Lower Saxony

Dirk Michael Wolber*, Goßswinth Warnecke-Busch, Lisa Köhler, Malena Kregel, Markus Radziejewicz



Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Wunstorfer Landstr. 9, 30453 Hannover

*Korrespondierender Autor, dirk.wolber@lwk-niedersachsen.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.037

Zusammenfassung

Weltweit haben Herbizidresistenzen massiv zugenommen. Neben dem starken Auftreten von Resistenzen in Nord- und Südamerika und Australien, sind viele Wirkstoffgruppen mittlerweile auch in Europa von Resistenzen betroffen. Beim *Alopecurus myosuroides* HUDS. (Acker-Fuchsschwanz) wurden neben den Resistenzen gegenüber ALS-Hemmern, ACCase-Hemmern und Photosynthese-Hemmern nun erste Wirkungsminderungen oder Resistenzen gegenüber dem Wirkstoff Glyphosat aus der Wirkstoffgruppe der EPSP-Synthese-Hemmer (HRAC-Gruppe G) in Niedersachsen vermutet. Folglich könnte der Wirkstoff Glyphosat als wichtiges Instrument im Resistenzmanagement gegen *A. myosuroides* auf einzelnen Standorten wegfallen. Somit würde eine effektive Bekämpfung bei gleichzeitiger Resistenz gegen andere Wirkstoffgruppen sehr schwierig. Eine Herbizidresistenz wurde gemäß den von HEAP (2005) definierten Kriterien nicht bestätigt, sehr wohl aber Minderwirkungen von Glyphosat gegen einzelne Biotypen von *A. myosuroides* in Niedersachsen.

Stichwörter: Acker-Fuchsschwanz, Glyphosat, Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung

Abstract

Herbicide resistance has increased dramatically all over the world. Besides frequent occurrence of resistance in North America, South America and Australia, different active ingredient groups are currently affected by resistance also in Europe. In Germany, *Alopecurus myosuroides* has shown resistance to ALS-inhibitors, ACCase-inhibitors and photosynthesis-inhibitors. Recently, reduced efficacy or resistance to the EPSP-inhibitor glyphosate (HRAC group G) was suspected in *A. myosuroides* in Lower Saxony. That means that the active ingredient glyphosate might no longer be available as an effective instrument in herbicide resistance management for *A. myosuroides*. An effective control of *A. myosuroides* with additional resistance to other mode of action might become very difficult. Herbicide resistance was not confirmed according to the criteria defined by HEAP (2005), but a reduced efficacy of glyphosate on individual biotypes of *A. myosuroides* in Lower Saxony was observed.

Keywords: Blackgrass, glyphosate, grass weed control, herbicide resistance management

Einleitung

Der Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* HUDS.) gilt als eine sehr schwer zu bekämpfende Unkrautart und hat in Deutschland bereits Resistenzen gegen einige Wirkstoffgruppen (nach Herbicide Resistance Action Committee (HRAC)) Resistenzen ausgebildet. Die Resistenzen gegen ALS-Hemmer (HRAC-Gruppe B), ACCase-Hemmer (HRAC-Gruppe A) und Photosynthese-Hemmer (HRAC-Gruppe C) sind weit verbreitet. Nur noch wenige Wirkstoffgruppen können noch ausreichende Wirkung gegen *A. myosuroides* aufweisen. Der Herbizidwirkstoff Glyphosat gehört zu der HRAC-Gruppe G, den EPSP-Synthese-Hemmern. Er wird als wichtiger Baustein im Resistenzmanagement verwendet. Allerdings haben global gesehen bereits Gräser wie zum Beispiel *Lolium* spp. Resistenzen gegen Glyphosat ausgebildet. Dabei werden Biotypen mit einer natürlichen Widerstandsfähigkeit in ihrer Entwicklung begünstigt. Der Anteil resistenter Biotypen in der Population nimmt laufend zu und es entstehen zunehmend Bekämpfungsprobleme. Auch wenn in Deutschland keine gentechnisch veränderten Glyphosat-resistenten Nutzpflanzen verwendet werden, wird oft mit Glyphosat eine Vorsaatanwendung durchgeführt. Die Resistenzen gegenüber Glyphosat bei *Lolium* spp. sind seit 1996 bekannt

(PRATLEY et al., 1996). Nun werden auch erste Wirkungsminderungen oder Resistenzen bei *A. myosuroides* vermutet (DAVIES und NEVE, 2017).

Material und Methoden

Biotest

Bei dem untersuchten Samenmaterial von *A. myosuroides* handelte es sich um ein Monitoring, die Proben entstammen aus allen Teilen Niedersachsens und werden in aus den unbehandelten Varianten der Herbizidversuche aus den Jahren 2015, 2016 und 2017 gezogen. Minderwirkung oder Resistenzverdacht gegenüber Glyphosat wurden für die Proben des Monitorings unter Feldbedingungen nicht beschrieben. Zum Nachweis einer möglichen Herbizidresistenz wurde ein Biotest im Gewächshaus an Jungpflanzen von *A. myosuroides* unter definierten Temperatur- und Lichtbedingungen durchgeführt. Die ausgedroschenen und gesiebten Samenproben lagerten trocken in Papiertüten, bis sie vor der Aussaat zur Brechung der Dormanz fünf Tage bei -18°C in der Tiefkühltruhe gelagert wurden. Im Anschluss daran erfolgte unmittelbar die Aussaat der Samenproben in Biotesttöpfe (Jiffy-Rundtöpfe, 8×8 cm, geschlitzt) in vier Wiederholungen je Versuchsvariante. Die Aussaatstärke betrug 10-15 Samen pro Topf in Abhängigkeit von der Keimfähigkeit der jeweiligen Samenprobe. Die Töpfe standen in Pflanzschalen (40×60 cm) deren Boden eine Plastikfolie bedeckte, auf der ein Bewässerungsfließ passgenau ausgelegt wurde. Bei der Aussaaterde handelte es sich um einen Standardboden (lehmgiger Sand pH 6,5, Humusgehalt 1,8 %, ca. 300 g incl. Topf, sterilisiert ca. 60 % WK max.). Das zu testende Samenmaterial wurde portioniert, in die mit Erde gefüllten Töpfe gestreut und jeweils mit einer Schicht (1,0 cm) fein gesiebter Erde des Standardbodens bedeckt. Für das weitere Wachstum im Gewächshaus wurden die folgenden Parameter eingestellt: Tagphase: 20°C , 16 h Beleuchtung mit 8000 LUX (180 Watt/m^2); Nachtphase: 16°C , 8 h Dunkelheit. Die Bewässerung geschah durch bedarfsgerechtes Gießen von unten (Anstau). Der Feuchtigkeitszustand der Töpfe wurde täglich kontrolliert.

Die Applikation von Roundup Powerflex (480 g Glyphosat/l) mit 3,75 kg/ha in der einfachen Aufwandmenge und 7,5 kg/ha in der doppelten Aufwandmenge erfolgte in einer Schachtner Applikationskabine (Wasseraufwandmenge 200 l/ha, ES 90-02, mit 1,89 bar, Spritzhöhe 40 cm) im Entwicklungsstadium BBCH 11-12. Zur Ermittlung der Dosis-Wirkungs-Beziehung wurden sieben Aufwandmengen von Glyphosat (0, 225, 449, 900, 1800, 2700 und 3600 g/ha) verwendet.

Nach der Herbizidapplikation (21 Tage) wurde gemäß EPPO-Richtlinie PP1/93(3) der „Wirkungsgrad“ bonitiert. Für die Bewertung des Wirkungsgrades wurden folgende Grenzwerte zugrunde gelegt: 0-50 % = resistente Proben; 51-80 % = moderat resistente Proben; 81-100 % sensitive Proben. Da einzelne Pflanzen die Behandlungen mit Glyphosat überlebten, ist die Erfassung des Wirkungsgrades nicht ausreichend. Daher wurde zusätzlich das Merkmal „Überlebende Pflanzen %“ visuell ermittelt. Damit gemeint ist der prozentuale Anteil der Pflanzen in einem Topf, die den Biotest 21 Tage nach Applikation von Glyphosat vital überlebt haben. Die übrigen Pflanzen wurden vollständig bekämpft. Als sensitiver Standard wurde der Biotyp „Sensitiv“ (Katalog-Code 51036) der Firma Herbiseed (Berkshire, UK) verwendet.

Polymerase Chain Reaction (PCR) zum Nachweis der Target-Site-Resistenz (TSR) gegen Glyphosat an der Position 106

Diese Untersuchung wurde von der Plantalyt GmbH und dem Weed Resistance Competence Center der Bayer CropScience AG anhand ausgewählter Biotypen nach Vorselektion mit Glyphosat (1800 g/ha) durchgeführt. Im Weed Resistance Competence Center der Bayer CropScience AG wurden die zu untersuchenden Pflanzen zunächst mehrfach geklont, um genetisch identisches Material zu erstellen. Zur weiteren Untersuchung wurden die Pflanzen 10 Tage nach der Klonierung mit Glyphosat (225, 449, 900, 1800 und 3600 g/ha) nochmals behandelt und die Blätter der überlebenden Pflanzen geerntet und getrocknet. Nach Trocknung bei Raumtemperatur wurde die DNA der Pflanzen mit einem kommerziell erhältlichen Kit zur DNA-Extraktion aufbereitet. Die

DNA-Extrakte wurden als Template in einer PCR eingesetzt um den entsprechenden Abschnitt für eine polymorphe Position des EPSPS-Gens, nämlich Pro/Ser 106 zu amplifizieren. Nachfolgend sind beispielhaft Positionen für die Allele Pro106 und Ser106 dargestellt.

Tab.1 DNA-Sequenz des EPSP der sensitiven und resistenten *A. myosuroides* an der korrespondierenden Stelle 106 im Protein und abgeleitete Aminosäuren. Erläuterungen: Arg = Arginin, Pro = Prolin, Leu = Leucin, Ser = Serin; erste Zeile: DNA-Sequenz, zweite Zeile: Aminosäuresequenz im Protein, dritte Zeile: Nummer der Aminosäureposition im Protein.

Tab.1 DNA sequence of EPSP of sensitive and resistant plants at the corresponding site of 106 in the protein and derived amino acids. Explanation: Arg= Arginine, Pro= Proline, Leu= Leucine, Ser= Serine, first row: DNA sequence, second line: Amino acid sequence of the protein, third line: number of amino acid position in the protein.

Sensitive Pflanze (Pro106)	Resistente Pflanze (Ser106)
...CGG – CCA – TTG... DNA-Sequenz	...CGG – TCA – TTG... DNA-Sequenz
...Arg – Pro – Leu... Aminosäure	...Arg – Ser – Leu... Aminosäure
...105 – 106 – 107... Position im Protein EPSP	...105 – 106 – 107... Position im Protein EPSP

Vor der PCR musste das Pflanzenmaterial von *A. myosuroides* zu einem Pulver zerkleinert werden. Im Anschluss wurde die zu untersuchende DNA mithilfe eines zur DNA-Isolierung geeigneten Verfahrens extrahiert. Die PCR-Produkte wurden gereinigt mittels Elektrophorese auf Agarose-Gel und Herausschneiden der entsprechenden Banden aus dem Gel. Danach erfolgte die Sequenzierung der vorher amplifizierten DNA mithilfe der Didesoxymethode nach Sanger und einer entsprechenden Analysesoftware (Sequencher von Gene Codes Corporation). Zuletzt erfolgte die Analyse und Auswertung der erhaltenen Daten.

Nachweis von Glyphosat-Resistenzen aufgrund von erhöhter EPSPS-Genamplifikation

Zum Nachweis einer potentiellen Glyphosatresistenz aufgrund einer erhöhten EPSPS-Genamplifikation diente die Untersuchung der EPSPS-Enzymaktivität. Sie gab Hinweise darauf, ob eine erhöhte EPSPS-Genamplifikation vorliegt. Diese Untersuchung wurde im Weed Resistance Competence Center der Bayer CropScience AG durchgeführt.

Hierzu musste das zu untersuchende Pflanzenmaterial zu einem Pulver vermahlen werden und enthaltene Proteine mit einem dafür geeigneten Verfahren extrahiert werden. Danach erfolgte eine Ermittlung der Proteinkonzentration mittels eines Bradford-Tests (Bio-Rad protein assay system von Life Science Research). Die EPSPS-Enzymaktivität wurde durch eine spektrophotometrische Untersuchung mit einem EnzCheck phosphate assay kit von Invitrogen und einem Spektrophotometer (UV-3101 von Shimadzu) untersucht mit anschließender Auswertung der gewonnenen Daten.

Zusätzlich wurde die Anzahl der EPSPS-Genkopien ermittelt. Auch hier musste vor der eigentlichen Untersuchung das Pflanzenmaterial zu einem Pulver vermahlen und die zu untersuchende genomische DNA mithilfe eines zur DNA-Isolierung geeigneten Verfahrens extrahiert werden (DNeasy Plant Mini Kit, QIAGEN). Durch die Anwendung einer quantitativen Echtzeit-PCR wurde die zu vervielfältigende DNA direkt auf ihre Quantität und mittels einer anschließenden Elektrophorese in Agarose-Gel auf ihre Qualität hin untersucht. Die quantitative Echtzeit-PCR wurde mit einem MiniOpticon System von Bio-Rad durchgeführt, um die genomische DNA zu amplifizieren und die Anzahl der EPSPS-Genkopien in Relation zur Genkopie der cinnamoyl-CoA Reduktase (CCR) zu ermitteln (CFX Manager software). Zuletzt wurden die gewonnenen Daten analysiert und ausgewertet.

Ergebnisse

Der Biotest aus dem Jahr 2015 zeigte Auffälligkeiten bezüglich der Wirkung von Glyphosat bei *A. myosuroides*. Dabei überlebten einzelne Pflanzen einer Probe die Anwendung von Roundup Powerflex mit 3,75 l/ha (1800 g Glyphosat/ha) oder sogar auch die doppelte Aufwandmenge mit Roundup Powerflex 7,5 l/ha (3600 g Glyphosat/ha). Der Anteil der überlebenden Pflanzen im

Vergleich zu den aufgelaufenen Pflanzen ist der Abbildung 1 zu entnehmen, je nach Biotyp schwankt der Anteil der überlebenden Pflanzen der ursprünglich aufgelaufenen Pflanzen eines Biotyps zwischen 0 - 8 %. Anders ausgedrückt: Es wurden 92 --100 % der aufgelaufenen Pflanzen vollständig bekämpft.

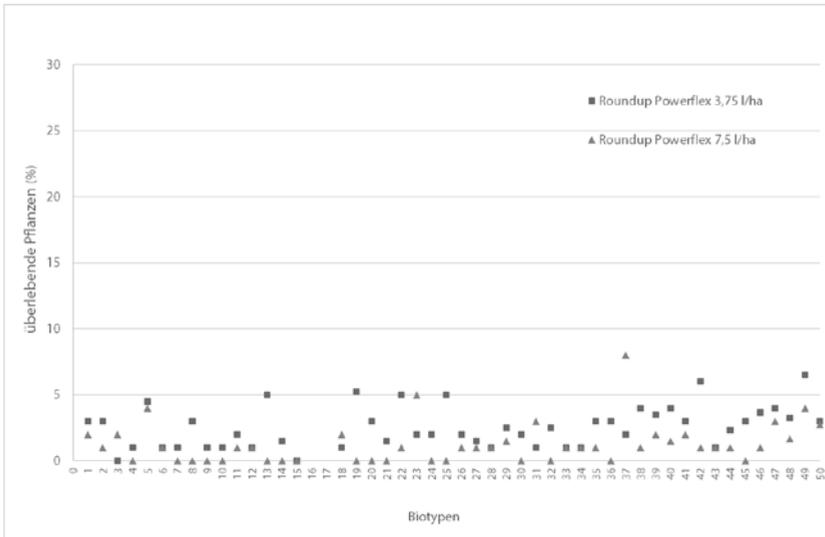


Abb. 1 Verminderte Wirksamkeit von Glyphosat gegen *A. myosuroides* aus 2015.

Fig. 1 Reduced efficacy against glyphosate in *A. myosuroides* from 2015.

Für die ausgewählten Biotypen 1, 19, 39, 42, 47, 48, 49 50 aus dem Probenahmejahr 2015 wurde im nächsten Schritt eine Dosis-Wirkungs-Kurve für sieben Wirkstoffkonzentrationen von Glyphosat (in g/ha) vorgenommen. Aus Kapazitätsgründen konnte nicht für alle auffälligen Biotypen eine Dosis-Wirkungs-Analyse durchgeführt werden. Das Ergebnis dieser Untersuchung zeigt die nachfolgende grafische Darstellung (Abb. 2) als Dosis-Wirkungs-Beziehung. Dabei ist die Wirkung in % ins Verhältnis zur applizierten Dosis von Glyphosat in g/ha gesetzt.

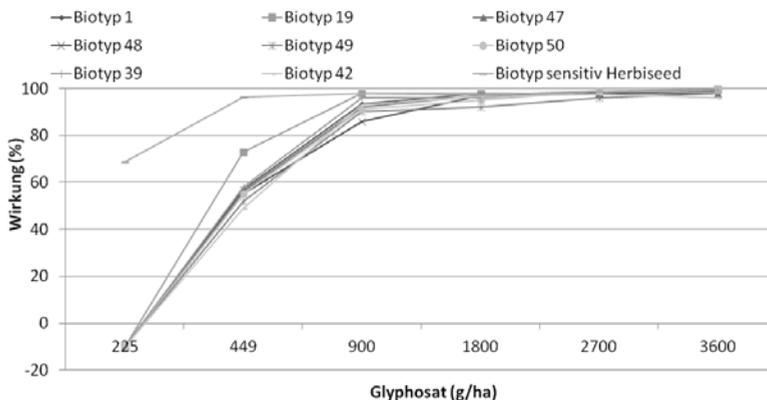


Abb. 2 Analyse der Dosis-Wirkungs-Beziehung für *A. myosuroides* aus 2015.

Fig. 2 Analysis of the dose-response relationship for *A. myosuroides* from 2015.

Alle untersuchten Biotypen zeigten bei einer Dosis von 225 g Glyphosat/ha eine Zunahme der Frischmasse im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle, dieser Effekt wird als hormetischer Effekt definiert. 21 Tage nach Applikation von 2700 g Glyphosat/ha haben der Biotyp 42 (mit 3 % überlebenden Pflanzen) und Biotyp 49 (mit 5 % überlebenden Pflanzen) den Biotest überstanden. Eine Applikation von Glyphosat mit 3600 g/ha wurde lediglich von 4 % des Biotyps 42 überlebt. Diese überlebenden Pflanzen wurden bis zur Samenreife im Gewächshaus kultiviert, allerdings konnten keine ausreichend fertilen Samen aus diesen Biotypen gewonnen werden.

Die Abbildung 3 zeigt für die einzelnen Biotypen von *A. myosuroides* aus dem Jahr 2016 eine verminderte Wirksamkeit gegenüber dem Wirkstoff Glyphosat nach Applikation von Roundup Powerflex mit den Aufwandmengen 3,75 kg/ha und 7,5 kg/ha. Der Anteil der überlebenden Pflanzen zu den aufgelaufenen Pflanzen schwankt je nach Biotyp zwischen 0 - 25 % der ursprünglich aufgelaufenen Pflanzen eines Biotyps. Die Anteile der überlebenden Pflanzen nach Anwendung von Roundup 3,75 l/ha (1800 g Glyphosat/ha) und Roundup 7,5 l/ha (3600 g Glyphosat/ha) war stärker ausgeprägt, als im Vorjahr. Der von der Firma Herbiseed als sensitiv beschriebene Biotyp wies ebenfalls 1 % überlebende Pflanzen auf.

Überlebende Pflanzen der Biotypen 4, 12, 24, 26, 28, 33, 34, 35, 50, 54, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 75, 77 und 78 wurden nach Anwendung von 1800 g Glyphosat/ha mit Hilfe einer PCR durch Plantalyt GmbH auf Mutation an der Position Pro106 untersucht. Für diese Biotypen wurde keine TSR an der Position Pro106 festgestellt. Weiterhin wurden überlebende Einzelpflanzen der Biotypen 26, 28, 29, 32, 33, 45, 54, 66, 68, 69 und 77 nach Anwendung von 1800 g Glyphosat/ha an das Weed Resistance Competence Center der Firma Bayer CropScience in Frankfurt übergeben, um weitere Untersuchungen vornehmen zu können.

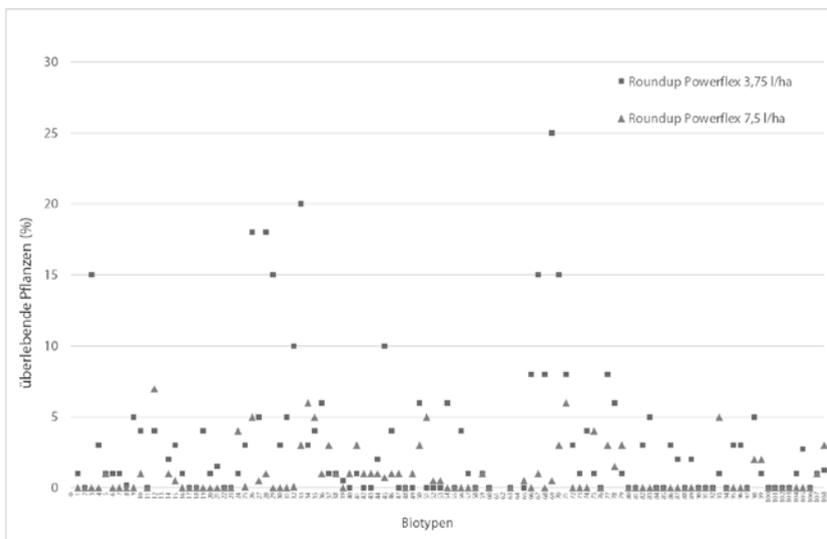


Abb. 3 Verminderte Wirksamkeit gegen von Glyphosat in *A. myosuroides* aus 2016.

Fig. 3 Reduced efficacy against glyphosate in *A. myosuroides* from 2016.

Die in der Abbildung 4 gezeigte Dosis-Wirkung der mit 1800 g/ha Glyphosat vorselektierten Klone verdeutlicht auch nach einer wiederholten Behandlung mit Glyphosat eine Wirkungsminderung bei den Test-Biotypen im Vergleich zu dem als sensitiv zu beschreibenden Biotyp 29. Besonders auffällig waren hier die Biotypen 32, 68 und 69, die nach der Vorbehandlung mit 1800 g/ha Glyphosat und der hier gezeigten Nachbehandlung bis 900 g Glyphosat/ha (in der Summe 2700 g/ha Glyphosat lediglich Wirkungsgrade von 70 -75 % erreichten. Auch bei der Nachbehandlung

mit 1800 g /ha (in der Summe 3600 g Glyphosat/ha) erreichte der Biotyp 69 nur einen Wirkungsgrad von 80 %.

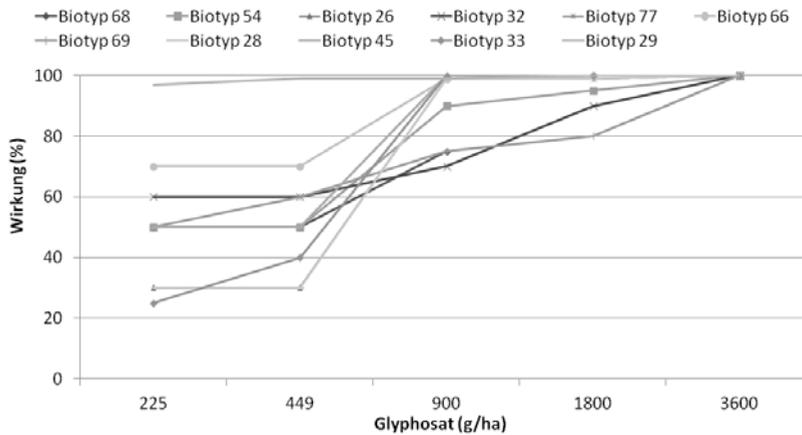


Abb. 4 Analyse der Dosis-Wirkungs-Beziehung für *A. myosuroides* aus 2016.

Fig. 4 Analysis of the dose-response relationship for *A. myosuroides* from 2016.

Im weiteren Verlauf wurden die Biotypen 26, 28, 29, 32, 33, 45, 54, 66, 68, 69 und 77 aus 2016 auf mögliche Resistenzmechanismen untersucht. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2 Übersicht der möglichen Resistenzmechanismen bei Glyphosat.

Tab. 2 Overview of possible resistance mechanisms for glyphosate.

Target Site-Resistenz		Non Target Site-Resistenz			
EPSPS Mutation an Position Pro106	EPSPS Genamplifikation	-	reduzierte Translokation in die Wurzel	Transport in die Vakuole	reduzierte Absorption
nicht nachgewiesen	nicht nachgewiesen	Ergebnisse noch ausstehend	Ergebnisse noch ausstehend	Ergebnisse noch ausstehend	Ergebnisse noch ausstehend

Eine vermutete Mutation an der Position Pro106 konnte ebenso wie die vermutete EPSPS-Genamplifikation nicht nachgewiesen werden. Weitere Resistenzmechanismen werden noch untersucht, hier liegen zum Redaktionsschluss allerdings noch keine Ergebnisse vor.

Diskussion

Aufgrund der Annahme, dass möglicherweise der gleiche Wirkungsmechanismus des Glyphosats bei *A. myosuroides* wie bei *Lolium* ssp. zum Tragen kommt, ist davon auszugehen, dass auch dieselben Resistenzmechanismen eine Rolle bei etwaigen Toleranzverschiebungen hin zu einer Minderwirkung oder gar Resistenz spielen können.

Es existieren bei *Lolium* ssp. bisher fünf nachgewiesene Resistenzmechanismen. Dazu zählen Target-Site-Resistenzmechanismen wie die Mutation im EPSPS-Gen an der Position 106, wodurch eine einzelne Aminosäuresubstitution (von Prolin zu z.B. Serin) herbeigeführt wird (WAKELIN et al., 2006; PEREZ-JONES et al., 2007; YU et al., 2007; JASINIUK et al., 2008; BOSTAMAM et al., 2012; GONZALEZ-TORRALVA et al., 2012; ADU-YEBOAH et al., 2014; FERNANDEZ et al., 2015). Weiterhin gehört die erhöhte EPSPS-Genamplifikation ebenfalls zu den TSR-Resistenzmechanismen. Sie führt zu einer erhöhten Synthese des EPSPS-Enzyms (BAERSON et al., 2002; SALAS et al., 2015). In Bezug auf die Mutation im EPSPS-Gen konnten Resistenzfaktoren von 2-6 (LD₅₀) nachgewiesen werden (WAKELIN et al., 2006; PEREZ-JONES et al., 2007; BOSTAMAM et al., 2012; ADU-YEBOAH et al., 2014). Bei der erhöhten EPSPS-Genamplifikation wurden Resistenzfaktoren von 8-15 nachgewiesen (SALAS et al., 2015).

Zu den entdeckten Non-Target-Site-Resistenzmechanismen (nTSR) bei der Resistenz bei *Lolium* spp. gegen Glyphosat zählt die reduzierte Translokation des Glyphosats aus den behandelten Blättern in die übrigen Pflanzenteile bei einhergehendem Verbleib des Wirkstoffes in den Blattspitzen (LORRAINE-COLWILL et al., 2003; WAKELIN et al., 2004; WAKELIN et al., 2006; PEREZ-JONES et al., 2007; YU et al., 2009; BOSTAMAM et al., 2012; ADU-YEBOAH et al., 2014; GHANIZADEH et al., 2014; GHANIZADEH et al., 2016). Für die reduzierte Translokation wurden Resistenzfaktoren von 2-30 nachgewiesen (WAKELIN et al., 2004; WAKELIN et al., 2006; PEREZ-JONES et al., 2007; BOSTAMAM et al., 2012; ADU-YEBOAH et al., 2014).

Weiterhin gehört der Transport des absorbierten Glyphosats in die Vakuole (GE et al., 2012) und die reduzierte Absorption von Glyphosat auf der Blattspreite (MICHITTE et al., 2007; FERNANDEZ et al., 2015) ebenfalls zu den nTSR-Resistenzmechanismen bei *Lolium* ssp. .

Es konnten darüber hinaus Biotypen von *Lolium* ssp. mit mehreren bzw. multiplen Resistenzmechanismen entdeckt werden (MICHITTE et al., 2007; YU et al., 2007; BOSTAMAM et al., 2012; GONZALEZ-TORRALVA et al., 2012; GHANIZADEH et al., 2014; FERNANDEZ et al., 2015).

Eine Entwicklung der Glyphosat-Resistenz wird bei *Lolium* ssp. besonders durch die Selektion durch zu geringe Herbizidaufwandmengen begünstigt (BUSI und POWLES, 2009). Das Ausmaß dieser Resistenzentwicklungen hängt auch von der genetischen Variation, der Häufigkeit von Genänderungen bzw. Akkumulation von Einzelgenen (die in Korrelation eine Resistenz auslösen könnten) und der Anzahl an überlebenden Pflanzen ab.

Das Reproduktionssystem (Fremd-, oder Selbstbestäuber) hat einen wesentlichen Einfluss auf die Minderwirkung bzw. Resistenzentwicklung unter niedrigen Herbiziddosen. Bei Fremdbestäubern wie *Lolium* ssp. und *A. myosuroides* kann eine Resistenz unter entsprechendem Selektionsdruck daher binnen weniger Generationen entstehen. Bei Herbizideinsatz mit geringer Dosis kann der geringe Selektionsdruck unter der Variation an Genotypen zu Überlebenden führen (BUSI und POWLES, 2009). Es ist naheliegend, dass niedrige Herbizidaufwandmengen über Generationen hinweg zu einer fortschreitenden Anreicherung von Resistenzallelen führen können. In relativ kurzer Zeit hat der massive Einsatz von Glyphosat in Round-up-ready-Kulturen zu Toleranzverschiebungen und Resistenzen bei Ungräsern geführt (DILL et al., 2008).

Resistente Biotypen von *Lolium* ssp. konnten bereits in zahlreichen Ländern wie Australien (South Australia, New South Wales), den USA (Arkansas, Kalifornien), Südafrika, Neuseeland, Chile, Frankreich und Spanien nachgewiesen werden (MICHITTE et al., 2007; YU et al., 2007; JASINIUK et al., 2008; YU et al., 2009; BOSTAMAM et al., 2012; GONZALEZ-TORRALVA et al., 2012; FERNANDEZ et al., 2015; SALAS et al., 2015; GHANIZADEH et al., 2016).

In der Studie von BUSI und POWLES (2009) wurde bewiesen, dass bereits nach zwei Selektionszyklen mit reduzierten Glyphosataufwandmengen die Nachkommen von *Lolium rigidum* erste Toleranzverschiebungen bzw. Minderwirkungen aufweisen können. Nach drei Selektionszyklen wurde sogar eine deutliche Glyphosatresistenz nachgewiesen. Die Versuche, welche Teil der Studie waren, wurden in Klimakammern, als auch unter Feldbedingungen durchgeführt und in beiden Fällen ist es zu den bereits genannten Effekten gekommen.

Unter der Annahme, dass die Erkenntnisse über *Lolium* spp. auch für *A. myosuroides* gelten, wäre es möglich, dass bei einer anfangs für Glyphosat anfälligen Population, drei bis vier Selektionszyklen mit reduzierten Glyphosataufwandmengen ausreichen könnten, um eine Toleranzverschiebung hin zu einer Minderwirkung bzw. Resistenz herbeizuführen. Dies liegt darin begründet, dass *A. myosuroides* ebenfalls ein Fremdbestäuber ist und daher eine große genetische Variabilität innerhalb einzelner Populationen aufweist, was bei Anwendung von Glyphosat nach Aufwandmengenreduktion zu Überlebenden führen kann. Bei Pollenflug kann es des Weiteren zu einem verstärkten Austausch an möglichen Resistenzallelen zwischen verschiedenen Populationen kommen (ZWERGER et al., 1994), was die Ausbreitung von Minderwirkungen oder Resistenzen gegenüber Glyphosat fördern würde.

Darüber hinaus konnten in einem zweijährigen Selektionsversuch mit Glyphosat im Gewächshaus (sechs ausgewählte von ursprünglich 40 Populationen) Toleranzverschiebungen (bzw. Wirkungsminderungen) bei fünf Biotypen von *A. myosuroides* beobachtet werden (DAVIES und NEVE, 2017). Die Autoren der Studie heben hervor, dass die aus dem Selektionsversuch hervorgegangenen Ergebnisse darauf hindeuten, dass die Variabilität in Bezug auf eine Glyphosatsensitivität auf einer vererbaren Grundlage basiert und somit ein Potential für Toleranzverschiebungen bzw. Resistenzentwicklungen bei wiederholter Selektion vorhanden ist. Gleichzeitig wird jedoch angemerkt, dass bei Selektionsversuchen in einem Gewächshaus die Möglichkeit einer Vermischung mit weniger sensitiven Individuen stark erhöht ist und sich somit eventuell in diesem Falle bei Fremdbestäubern schneller Toleranzverschiebungen zeigen könnten, als unter Feldbedingungen.

In Niedersachsen werden im Dienstgebiet der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zukünftig entsprechende Demonstrationsvorhaben entwickelt, um Landwirte künftig besser auf die Gefahren von zu niedrig dosierten Herbizidmaßnahmen mit Glyphosat zu informieren. Darüber hinaus ist es wichtig, den Landwirten ackerbauliche Maßnahmen im Sinne eines Resistenzmanagements nahezu legen. Dieses sollte eine erweiterte Fruchtfolge mit mehr Blattfrüchten oder Sommerungen (Auflaufrate von typischen Herbstkeimern wird reduziert) beinhalten. Besonders der Anbau von Sommerungen hat das Potential eine Verunkrautung mit *A. myosuroides* deutlich zu senken. In die Bodenbearbeitung sollte eine intensive Stoppelbearbeitung (mindestens zwei- bis dreimaliger Einsatz eines Grubbers) mit einbezogen werden, welche einen gleichmäßigen Aufgang von Unkrautsamen herbeiführt. Hierbei ist anzumerken, dass ein nachfolgender Einsatz einer Crosskill-Walze den Effekt einer schnelleren und gleichmäßigeren Unkrautentwicklung nochmals verbessert. Der wichtigste Baustein bei der Bodenbearbeitung ist der Pflug. Er vergräbt die Samen in tiefere Schichten und verringert eine spätere Verunkrautung. Im Weiteren sollte für eine effektive Resistenzvermeidung ein ortsüblich leicht verzögerter Saattermin von Winterungen, wie auch ein konsequenter Wirkstoffwechsel (möglichst unterschiedliche Wirkungsmechanismen) beim Herbizideinsatz in der Fruchtfolge zur Anwendung kommen.

Literatur

- ADU-YEBOAH, P., J.M. MALONE, G. GILL und C. PRESTON, 2014: Reduced Glyphosate Translocation in Two Glyphosate-Resistant Populations of Rigid Ryegrass (*Lolium rigidum*) from Fence Lines in South Australia. *Weed Science* **62**, 4-10.
- BAERSON, S., D.J. RODRIGUEZ, N.A. BIEST, M. TRAN, J. YOU, R.W. KRUEGER, G.M. DILL, J.E. PRATLEY und K.J. GRUYS, 2002: Investigating the mechanism of glyphosate resistance in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). *Weed Science* **50**, 721-730.
- BOSTAMAM, Y., J.M. MALONE, F.C. DOLMAN, P. BOUTSALIS und C. PRESTON, 2012: Rigid Ryegrass (*Lolium rigidum*) Populations containing a Target Site Mutation in EPSPS and Reduced Glyphosate Translocation are more Resistant to Glyphosate. *Weed Science* **60**, 474-479.
- BUSI, R. und S.B. POWLES, 2009: Evolution of glyphosate resistance in a *Lolium rigidum* population by glyphosate selection at sublethal doses. *Heredity* **103**, 318-325.
- DAVIES, L.R. und P. NEVE, 2017: Interpopulation variability and adaptive potential for reduced glyphosate sensitivity in *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* **57**, 323-332.
- DILL, M.D., C.A. CAJACOB und S.R. PADGETTE, 2008: Glyphosat-resistant crops: adoption, use and future considerations. *Pest Manag Sci.* **64**, 326-331.
- FERNANDEZ, P., C. GAUVRIT, F. BARRO, J. MENENDEZ und R. DE PRADO, 2015: First case of glyphosate resistance in France. *Agronomy for Sustainable Development* **35**, 1469-1476.
- GE, X., D.A. D'AVIGNON, J.J.H. ACKERMAN, A. COLLAVO, M. SATTIN, E.L. OSTRANDER, E.L. HALL, R.D. SAMMONS und C. PRESTON, 2012: Vacuolar Glyphosate-Sequestration Correlates with Glyphosate Resistance in Ryegrass (*Lolium* spp.) from Australia, South America, and Europe: A 31P NMR Investigation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **60**, 1243-1250.
- GONZALES-TORRALVA, F., J. GIL-HUMANES, F. BARRO, I. BRANTS und R. DE PRADO, 2012: Target site mutation and reduced translocation are present in a glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* Lam. Biotype from Spain. *Plant Physiology and Biochemistry* **58**, 16-22.
- GZHANIZADEH, H., K.C. HARRINGTON, T.K. JAMES, D.J. WOOLLEY und N.W. ELLISON, 2014: Mechanisms of glyphosate resistance in two perennial ryegrass (*Lolium perenne*) populations. *Society of Chemical Industry* **71**, 1617-1622.
- GZHANIZADEH, H., K.C. HARRINGTON, T.K. JAMES, D.J. WOOLLEY und N.W. ELLISON, 2016: Restricted Herbicide Translocation was found in two Glyphosate-resistant Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) Populations from New Zealand. *Journal of Agricultural Science and Technology* **18**, 1041-1051.

- HEAP, I. (2005): Criteria for Confirmation of Herbicide-Resistant Weeds. URL <http://hracglobal.com/files/Criteria-for-Confirmation-of-Herbicide-Resistant-Weeds.pdf> - Abrufdatum: 02.10.2017 – Herbicide Resistance Action Committee
- JASIENIUK, M., R. AHMAD, A.M. SHERWOOD, J.L. FIRESTONE und A. PEREZ-JONES, 2008: Glyphosate-Resistant Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum*) in California – Distribution, Response to Glyphosate, and Molecular Evidence for an Altered Target Enzyme. *Weed Science* **56**, 496-502.
- LORRAINE-COLWILL, D.F., S.B. POWLES, T.R. HAWKES, P.H. HOLLINSHEAD, S.A.J. WARNER und C. PRESTON, 2003: Investigations into the mechanism of glyphosate resistance in *Lolium rigidum*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **74**, 62-72
- MICHITTE, P., R. DE PRADO, N. ESPINOZA, J.P. RUIZ-SANTAELLA und C. GAUVRIT, 2007: Mechanisms of Resistance to Glyphosate in a Ryegrass (*Lolium multiflorum*) Biotype from Chile. *Weed Science* **55**, 435-440.
- PEREZ-JONES, A., K.W. PARK, N. POLGE, J. COLQUHOUN und C.A. MALLORY-SMITH, 2007: Investigating the mechanisms of glyphosate resistance in *Lolium multiflorum*. *Planta* **226**, 395-404.
- PRATLEY, J., P. BAINES, P. EBERBACH, M. INCERTI und J. BROSTER, 1996: Glyphosat resistance in annual ryegrass. *Proc. Eleventh Ann. Conf. Grassld. Soc. NSW* 1996, 122-123.
- SALAS, R.A., F.E. DAYAN, Z. PAN, S.B. WATSON, J.W. DICKSON, R.C. SCOTT und N.R. BURGOS, 2012: EPSPS gene amplification in glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium perenne ssp. multiflorum*) from Arkansas. *Pest Management Science* **68**, 1223-1230.
- SALAS, R.A., R.C. SCOTT, F.E. DAYAN und N.R. BURGOS, 2015: EPSPS Gene Amplification in Glyphosate-Resistant Italian Ryegrass (*Lolium perenne ssp. multiflorum*) Populations from Arkansas (United States). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **63**, 5885-5893.
- WAKELIN, A. und C. PRESTON, 2006: A target-site mutation is present in a glyphosate-resistant *Lolium rigidum* population. *Weed Research* **46**, 432-440.
- WAKELIN, A., D.F. LORRAINE-COLWILL und C. PRESTON, 2004: Glyphosate resistance in four different populations of *Lolium rigidum* is associated with reduced translocation of glyphosate to meristematic zones. *Weed Research* **44**, 453-459.
- YU, Q., A. CAIRNS und S. POWLES, 2007: Glyphosate, paraquat and ACCase multiple herbicide resistance evolved in a *Lolium rigidum* biotype. *Planta* **225**, 499-513.
- YU, Q., I. ABDALLAH, H. HAN, M. OWEN und S. POWLES, 2009: Distinct non-target site mechanisms endow resistance to glyphosate, ACCase and ALS-inhibiting herbicides in multiple herbicide-resistant *Lolium rigidum*. *Planta* **230**, 713-723.
- ZWARGER, P. und H. WALTER, 1994: Modelle zum Management herbizidresistenter Unkrautpopulationen. *Z. PflKrankh. Pfl-Schutz, Sonderh.* **XIV**, 409-420.

Reaktion einer Population von *Lolium multiflorum* var. *westerwoldicum* auf wiederholten Einsatz von Glyphosat

Reaction of a population of Lolium multiflorum var. westerwoldicum to repeated use of glyphosate

Laura Tamms, Laurie Anne Koning*, Friederike de Mol, Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Satower Straße 48,
18051 Rostock

*Korrespondierende Autorin, laurie.koning@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.038



Zusammenfassung

Der Einsatz von Glyphosat hat weltweit zugenommen. Begleitet wurde diese Entwicklung von Sensitivitätsverlusten und Resistenzentwicklungen. Eine herausragende Rolle spielen dabei *Lolium*-Arten. *Lolium multiflorum* var. *westerwoldicum* wurde in einem Freilandversuch in den Jahren 2014, 2015 und 2016 untersucht. In zwei Behandlungsvarianten wurde ein Glyphosat-basiertes Herbizid in zwei Aufwandmengen (50 % und 25 % der zugelassenen Aufwandmenge) eingesetzt, die so gewählt waren, dass Pflanzen die Behandlung überleben sollten. Die Samenbildung der überlebenden Population im Freiland wurde bestimmt. Ein Teil der Samen wurde im jeweils nächsten Jahr wieder im Freiland ausgesät. Für einen anderen Teil der Samen wurde die Dosis-Wirkungs-Beziehung ermittelt: Nach drei Jahren wurden alle Generationen (Eltern (=F0), F1, F2, F3) in einem Biotest vergleichend untersucht.

Im Feldversuch fand eine erfolgreiche Reproduktion von *L. multiflorum* nach Glyphosateinsatz statt. Die wieder ausgesäten Generationen wiesen geringere Etablierungsraten in den folgenden Jahren auf. Im Biotest deuteten sich abnehmende Sensitivitäten (ED₅₀, ED₉₀) der Folgegenerationen gegenüber Glyphosat an.

Stichwörter: Dosis-Wirkung, Resistenz, Sensitivität, Sensitivitätsverluste

Abstract

The use of glyphosate increased globally, this development is accompanied with losses in sensitivity and upcoming resistance and *Lolium* species have a pronounced role in this development. *Lolium multiflorum* var. *westerwoldicum* was sown in a field experiment in 2014, 2015 and 2016. A glyphosate-based herbicide was applied at two dosages (50%, 25% of the registered dose rate). The two treatments were selected to allow for a certain plant survival. The seed production of the surviving population was assessed in the field. Parts of the seeds were again sown in the field in the following year. Other parts of the seeds were used in a dose-response bioassay: Paternal and filial generations (parents (=F0), F1, F2, F3) were tested in a bioassay after three years.

L. multiflorum successfully reproduced under the treatments of the field experiment. The re-sown seeds of the filial generations established in the field at lower rates. The bioassays indicated a tendency for decreasing glyphosate sensitivities (ED₅₀, ED₉₀) in the filial generations

Keywords: Dose-response, resistance, sensitivity, sensitivity losses

Einleitung

Der Wirkstoff Glyphosat hat einen herausragenden Stellenwert unter den Herbiziden zur Unkrautbekämpfung. Die ausgebrachten Mengen sind in Deutschland ebenso wie global um ein Vielfaches höher als bei jedem anderen herbiziden Wirkstoff (BAYLIS, 2000; GIANESSI, 2013).

In Ackerbausystemen wird durch Herbizide ein kontinuierlicher Selektionsdruck auf die Unkrautpopulationen ausgeübt. Als Antwort auf diese Selektion sind zwei Reaktionsmuster möglich: Die Artengemeinschaft verschiebt sich, so dass die mengenmäßige Bedeutung einzelner Arten zunimmt, und/oder die Sensitivität innerhalb der Population einer Art verschiebt sich.

Auch der Wirkstoff Glyphosat ist weltweit von Sensitivitätsverlusten betroffen (HEAP, 2014). In Deutschland ist Resistenz gegenüber Glyphosat bisher nicht nachgewiesen – weltweit nimmt die Resistenz gegen Glyphosat aber stetig zu (HEAP, 2014).

Eine herausragende Rolle unter den Unkrautarten mit nachgewiesener Glyphosatresistenz spielen *Lolium*-Arten. Die Gattung *Lolium* gehört zur Familie der Süßgräser (Poaceae), sie umfasst mehrjährige und einjährige Gräser, die im Zwischenfruchtbau und in der Grünfüttererzeugung

von Bedeutung sind. Bei der Verwendung als Zwischenfrucht stellt die Wildaussaat ein Risiko dar, denn durch schnellen Samenausfall kann sich *L. multiflorum* in den nachfolgenden Kulturen als Ackerunkraut etablieren (LFL, 2017). *Lolium multiflorum* var. *westerwoldicum* ist eine einjährige Art, die nach der Aussaat im Frühjahr ohne Vernalisation die generative Phase erreicht. Die Blüte beginnt ab Juni (DÖRTER, 1977). *Lolium multiflorum* zählt zu den selbstinkompatiblen, fremdbefruchtenden *Lolium*-Arten (HAYMAN, 1992). Die rasche Jugendentwicklung macht *L. multiflorum* zu einer konkurrenzstarken Pflanze, die in der Regel eine Bekämpfung in der Kultur erforderlich macht.

Wir verwendeten *L. multiflorum*, um die Wirkung von Glyphosatapplikationen auf nachfolgende Generationen über drei Jahre zu prüfen und mögliche Sensitivitätsverluste oder phänotypische Reaktionen festzustellen. Dafür wurde ein zweifach aufgebauter Versuch entwickelt, der aus einem Freilandversuch und Biotests bestand.

Material und Methoden

Freilandversuch

Lolium multiflorum wurde mit subletalen Glyphosataufwandmengen behandelt, so dass einige überlebende Pflanzen Samen bilden konnten. Der Versuch wurde von 2014-2016 im Lehrgarten der Universität Rostock durchgeführt. Saatgutlieferant für *L. multiflorum* war der Züchter „Saatgut Steinach GmbH und Co KG“. Als Herbizid wurde Glyphos SUPREME® mit der Voraufaufzulassung in Ackerbaukulturen eingesetzt. Die zugelassene volle Aufwandmenge beträgt 1080 g Glyphosat/ha. Der Versuch war als vierfach wiederholte Blockanlage mit den Versuchsvarianten „25 % Aufwandmenge“ und „50 % Aufwandmenge“, jeweils bezogen auf die volle zugelassene Aufwandmenge angelegt. Innerhalb der Blöcke wurden an jährlich zufällig wechselnden Stellen 1,95 m² große Sub-Parzellen angelegt. Auf jeweils 1 m² dieser Sub-Parzellen wurden populationsdynamische Parameter erfasst. Eine unbehandelte Kontrollparzelle pro Block diente als Referenz.

Gesät wurde mit der Hand in einer Dichte von 1000 *L. multiflorum*-Samen/m². Aufgelaufene *Lolium*-Pflanzen wurden vor der Glyphosatbehandlung gezählt. Ab Zeitpunkt der Samenbildung wurden alle zwei bis drei Tage Ähren mit reifen Samen parzellenweise geerntet. Der Erntezeitraum betrug insgesamt 12 Wochen. Die reifen Ähren wurden abgeschnitten und in perforierten Beuteln getrocknet. Anschließend wurden die Samen aus den Ähren entfernt und gezählt. Tabelle 1 zeigt den zeitlichen Ablauf der Feldarbeiten. Die gewonnenen Samen wurden für die Aussaat im Folgejahr genutzt. Dadurch entstanden mehrere Generationen: F0 ist die Elterngeneration, F1, F2, F3 sind die im Feldversuch gewonnenen Folge-Generationen. Alle vier Generationen wurden zum Schluss in einem Gewächshaus-Biotest untersucht (s. Biotests). Bis dahin wurden die Samen kühl und trocken gelagert.

Tab. 1 Erhebungs- und Behandlungstermine im Freilandversuch.

Tab. 1 Dates of assessments and treatments in the field experiment.

Aussaat	Bonitur	Behandlung	Erntebeginn	Ernteperiode
Mitte April bis Anfang Mai	4 Wochen nach Aussaat (1-4 Bestockungs- triebe)	4-6 Wochen nach Aussaat 2 Wochen nach der Bonitur	4 Wochen nach Behandlung	12 Wochen (August bis Oktober)

Biotests

Mit den *L. multiflorum*-Samen aller Generationen (F0-F3) wurde im Frühjahr 2017 mit Glyphos SUPREME® ein Gewächshaus-Biotest durchgeführt. Die Behandlung erfolgte mit acht Herbizid-

Aufwandmengen und einer unbehandelten Kontrolle, es wurden vier Wiederholungen für jede Aufwandmenge kultiviert. Die höchste Aufwandmenge war die zugelassene (100 % \pm 1080 g Glyphosat/ha). Die weiteren Behandlungsstufen entsprachen jeweils der halben Aufwandmenge der vorherigen. Die kleinste Herbizid-Dosis betrug somit 0,78 % der zugelassenen Aufwandmenge (\pm 8,4 g Glyphosat/ha).

Die Keimlinge wurden in Töpfen mit einem Volumen von 125 ml angezogen. Die Erde (50 % lokale landwirtschaftliche Erde, 25 % Blumentopferde, 25 % Kompost) wurde zuvor gedämpft. Es wurden jeweils 28 Samen pro Topf gesät. Die Keimlinge wurden vereinzelt, sodass zur Behandlung vier Wochen nach der Saat jeweils zehn Pflanzen pro Topf vorhanden waren.

Die Töpfe wurden von unten bewässert. Im Gewächshaus wurde ein Tag-Nacht-Zyklus von 14 h zu 10 h und Temperaturen von 20°C zu 16°C simuliert. Die Luftfeuchtigkeit betrug im Durchschnitt 78 %. Die Lichteinstrahlung war Sonnenlicht, bei einer Außenhelligkeit <6 klx wurde zusätzlich künstlich beleuchtet.

Die Keimlinge wurden im 2-3 Blattstadium mit einem Kabinen-Sprüher mit Glyphosat behandelt, der mit einem Druck von 210 kPa und einer Geschwindigkeit von 1 m/s das Herbizid mit 245 l/ha besprühte.

Die Ernte erfolgte zwei Wochen nach der Behandlung der Pflanzen. Dafür wurden alle Pflanzen oberhalb des Bodens abgeschnitten und das Frischgewicht pro Topf gewogen.

Statistische Auswertung

Die Versuche wurden mit der Software R statistisch ausgewertet. Die Pakete „agricolae“ (DE MENDIBURU, 2016) und „drc“ (RITZ and STREIBIG, 2012) wurden für die Feldversuchsauswertungen bzw. für die Biotest-Auswertungen genutzt.

Im Feldversuch wurden die im Feld erfassten Parameter Anzahl aufgelaufener Pflanzen/m² (vor der Glyphosat-Behandlung) und die Anzahl neu gebildeter Samen/m² (nach der Behandlung) ausgewertet. Auflauf und Samenbildung der *L. multiflorum*-Generationen (F0 bis F2), wurden mit dem Kruskal-Wallis-Test auf signifikante Unterschiede ($\alpha = 0,05$) untersucht.

Die Sensitivität der *L. multiflorum*-Generationen (F0 bis F3) wurde anhand von ED₅₀- und ED₉₀-Werten beurteilt. Für die Versuchsfaktoren und Generationen wurden dafür separate 4-parametrische Dosis-Wirkungs-Modelle aufgestellt. Um Varianzhomogenität zu erreichen, wurden die Daten gegebenenfalls Boxcox-transformiert. Das jeweils optimale Modell (log-logistik-Modell, Weibull1- oder Weibull2-Modell) wurde anhand des Akaike-Informationskriteriums (AIC) und des Standardfehlers der Residuen gewählt.

Ergebnisse

Im Feldversuch zeigten sich sowohl im Auflauf der Pflanzen wie auch in der Samenproduktion in der unbehandelten Variante jahresbedingte Unterschiede. In der Elterngeneration vor der Glyphosatbehandlung hatte sich ein mittlerer Pflanzenbestand von 284 Pflanzen pro Quadratmeter entwickelt. Nach der erstmaligen Glyphosatbehandlung im Jahr 2014 wurden mit steigender Glyphosatmenge zunehmend weniger Samen pro Quadratmeter geerntet, bei halber zugelassener Aufwandmenge 35mal weniger als in der Kontrolle (Abb. 1). Im Folgejahr (2015) war die Auflaufrate der F1-Samen umso geringer je höher die Glyphosat-Dosierung in der Elterngeneration war. Im Vergleich zur Kontrolle war die Auflaufrate bei halber Aufwandmenge um 87 % reduziert. Im dritten Versuchsjahr war die Auflaufrate in der Variante „50 % Aufwandmenge“ im Vergleich zu den anderen beiden Varianten geringer. Das Verhältnis zwischen der Anzahl Samen/m² in der Kontrolle und in den behandelten Varianten wurde im Verlauf des Versuchs geringer: Während es 2014 noch bei 3,2 (25 % Aufwandmenge) bzw. 35,0 (50 % Aufwandmenge) lag, sank das Verhältnis 2016 auf 2,7 bzw. 1,6.

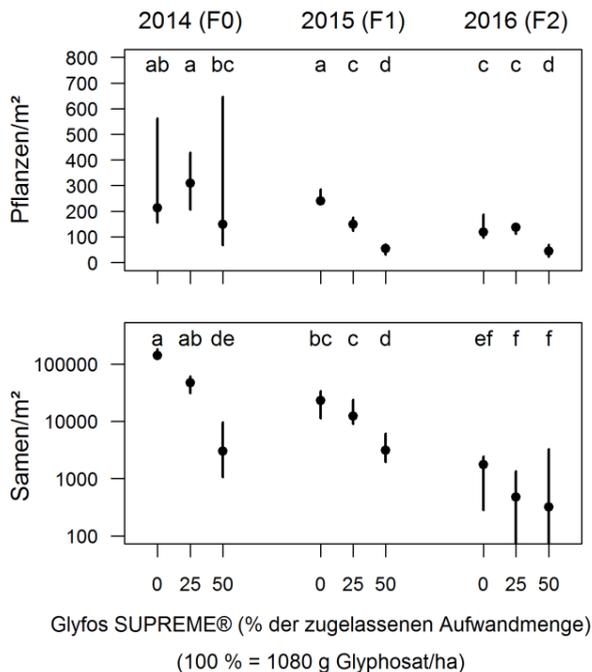


Abb. 1 Im Feld gemessene Pflanzendichte vor der Glyphosat-Behandlung (oben) und gebildete Samen nach Behandlung (unten) aufeinanderfolgender Generationen (F0, F1, F2). Median und Spannweite (n = 4). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$).

Fig. 1 In field plant densities before glyphosate treatment (top) and seeds after treatment (bottom). Median and range (n = 4). Different letters indicate significant differences (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0.05$).

Im Biotest reichten im Mittel über die Generationen F0-F3 63 g Glyphosat/ha, d.h. 6 % der zugelassenen Aufwandmenge, um die Frischmasse von Pflanzen, deren Vorfahren nicht mit Glyphosat behandelt worden waren, um 50 % zu reduzieren. Mit 157 g Glyphosat/ha (15 % der zugelassenen Aufwandmenge) wurde die Frischmasse um 90 % gesenkt. In der F1-Generation zeigten die Pflanzen der 25 %-Variante im Vergleich zu den Pflanzen der 0 %-Variante derselben Generation einen höheren ED₅₀-Wert (Tab. 2). Diese Tendenz setzte sich in den folgenden Generationen fort. Bei den ED₉₀-Werten war dieselbe Tendenz erhöhter Werte in den behandelten Varianten ab der zweiten Generation (F2 und F3) vorhanden (Tab. 2). Statistisch konnten die Unterschiede nicht abgesichert werden ($\alpha = 0,05$).

Tab. 2 Effektive Dosis ED₅₀ und ED₉₀ (Standardfehler) in g Glyphosat/ha.

Tab. 2 Effective doses ED₅₀ and ED₉₀ values of treated and untreated progeny (standard error) in g glyphosate/ha.

Kennzahl	Variante	F0	F1	F2	F3
ED ₅₀	unbehandelt	57 (18,5)	69 (26,7)	74 (6,9)	53 (8,9)
	25 % Aufwandmenge		90 (14,0)	123 (22,5)	98 (11,4)
	50 % Aufwandmenge		85 (8,9)	53 (11,9)	65 (11,6)
ED ₉₀	unbehandelt	168 (31,9)	176 (32,6)	141 (20,0)	144 (33,3)
	25 % Aufwandmenge		164 (17,5)	193 (23,0)	170 (39,5)
	50 % Aufwandmenge		128 (9,9)	148 (47,2)	163 (19,3)

Diskussion

Ziel der Feldversuche war es, die Entwicklung der Glyphosat-Sensitivität einer *L. multiflorum* Population nach wiederholten subletalen Behandlungen mit Glyphosat nachzuzeichnen. Die *Lolium*-Pflanzen reagierten im ersten Versuchsjahr sensitiv auf den Glyphosateinsatz mit den reduzierten Aufwandmengen, erkennbar am starken Rückgang der Samenbildung pro Quadratmeter. Jedoch überlebten in allen Glyphosat-behandelten Parzellen nicht nur einige Pflanzen, sondern diese konnten sich sogar erfolgreich reproduzieren: In allen Parzellen wurden mehr Samen gebildet als durch Keimung dem Bodensamenvorrat verloren gingen. Das bedeutet, dass sogar bei Glyphosateinsatz mit halber zugelassener Aufwandmenge die Population wachsen würde, wenn nicht andere Verluste hinzukämen, wie z.B. Samenalterung, Prädation oder andere Managementmaßnahmen. Aus populationsdynamischer Sicht heißt das zunächst einmal, dass es ein Potential zur Selektion gibt.

Eine entscheidende Erkenntnis dieses Versuchs, sichtbar besonders in der F1-Generation, ist die sinkende Auflaufrate von Samen, deren Mutterpflanzen im Vorjahr mit Glyphosat behandelt wurden. Ein indirekter Einfluss des Glyphosats ist möglich: Durch die Behandlung erfahren überlebende Pflanzen eine Schädigung, die sich in einer Entwicklungsverzögerung auswirkt. Reifende Samen von behandelten Pflanzen erfahren also eine deutlich andere Witterungs-Umwelt als unbehandelte. Das kann zu einem höheren Anteil leichter Samen mit geringen Nährstoffreserven oder auch nicht vollständig ausgereifter Samen in der Ähre führen, bei denen die Keimfähigkeit verringert sein kann. Unterschiedliche Witterung bei der Abreife könnte auch unterschiedliche Dormanz induziert haben. Fitness-Verluste wie auch Dormanz können im nächsten Jahr zu verringertem Auflauf führen. Befanden sich die Pflanzen zum Zeitpunkt der Behandlung bereits in einem späteren Bestockungsstadium, so waren Ähren schon angelegt. Spekuliert werden kann deshalb auch, dass es überlebende Ährenanlagen mit geschädigtem Meristem gab, aus dem Samen geringerer Vitalität erwachsen. Für *Lolium perenne* zeigten YANNICCARI et al. (2016), dass Glyphosat-Resistenz mit Fitness-Verlusten einherging. Auch wenn bei den hier untersuchten Populationen keine Resistenz vorlag, sollte bei Sensitivitätsverlusten gegenüber Glyphosat die Fitnesskosten für die Pflanzen mit bedacht werden.

Ein Sensitivitätsverlust wird im Biotest anhand des ED₅₀-Wertes in der 25 %-Variante im Vergleich zur Kontrolle bereits nach der ersten Selektion und dann in jeder weiteren Generation sichtbar. Ähnliche Ergebnisse fanden BUSI et al. (2009) für den selektierenden Einfluss von Glyphosat auf *Lolium rigidum*. Überraschenderweise ist für Samen der 50 %-Variante, für die der höhere Selektionsdruck erwartet würde, keine erhöhte Toleranz für Glyphosat zu sehen. Ein Erklärungsansatz liegt in der obligaten Fremdbefruchtung von *L. multiflorum*: Da sehr wenige Pflanzen die halbe Aufwandmenge überlebten, ist eine Befruchtung mit Pollen aus anderen Parzellen wahrscheinlich. Im Gegensatz dazu gab es in 25 %-Parzellen und erst recht in 0 %-Parzellen genug Pflanzen in unmittelbarer Nachbarschaft, die als Pollenspender dienen konnten. So nahm der ED₅₀-Wert für die Nachkommen unbehandelter Pflanzen bis zur dritten Generation nicht zu. Im Feldversuch ist der über die Selektionszyklen kleiner werdende Unterschied in der Samenproduktion zwischen unbehandelten und behandelten Parzellen ein Ausdruck des Sensitivitätsverlustes. Im Feld ist dieser Effekt jedoch nicht zu trennen von dem gleichsinnig wirkenden Effekt geringerer Auflaufraten von Samen Glyphosat-behandelter Pflanzen. Zudem könnte ein gegenläufig wirkender Effekt höherer Konkurrenz bei unbehandelten Pflanzen vorhanden gewesen sein.

Resistenzentwicklung von Unkrautpopulationen gegenüber Herbiziden beginnt stets mit einem Sensitivitätsverlust. Feldversuch und Biotest haben gezeigt, dass eine Selektion weniger Glyphosat-sensitiver *Lolium multiflorum* Pflanzen mit reduzierten Aufwandmengen im Feld innerhalb einer Generation möglich ist. Ob sich daraus resistente Populationen aufbauen, wird darüber hinaus von jahreszeitlichen Verschiebungen in der Ontogenese und von Fitness-Effekten bestimmt sein.

Dank

Die Daten wurden im Projekt „Best Management Praktiken und Nachhaltige Anwendung von Glyphosatprodukten“ vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und gefördert. Unser Dank gilt zahlreichen helfenden Händen: Ingolf Gliege, Rosa Minderlen, Julia Prüter, Malte Ritter, Jenny Scheel, Fabian Venohr.

Literatur

- BAYLIS, A.D., 2000: Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. *Pest Management Science* **56**, 299–308.
- BUSI, R. und S.B. POWLES, 2009: Evolution of glyphosate resistance in a *Lolium rigidum* population by glyphosate selection at sublethal doses. *Heredity* **103**, 318–325.
- DE MENDIBURU, F., 2017: agricolae: Statistical procedures for agricultural research. R package version 1.2-8. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.
- DÖRTER, K., 1977: Süßgräser, Riedgras- und Binsengewächse, Urania-Verlag Leipzig Jena Berlin, Seite 107.
- GIANESSI, L.P., 2013: The increasing importance of herbicides in worldwide crop production. *Pest Management Science* **69**, 1099–1105.
- HAYMAN, D.L., 1992: The S-Z incompatibility system. In: Chapman G.P. (Hrsg.): Grass evolution and domestication. Chapter 3: 117–137.
- HEAP, I., 2014: Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest Management Science* **70**, 1306–1315.
- LFL - BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2017. Einjähriges Weidelgras – *Lolium multiflorum*, <http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/022441/>, Aufgerufen am 01.10.2017.
- RITZ, C., F. BATY, J.C. STREIBIG and D. GERHARD, 2015: Dose-response analysis using R. *PLOS ONE* **10**, e0146021.
- YANNICARI, M., M. VILA-AIUB, C. ISTILART, H. ACCIARESÌ und A.M. CASTRO, 2016: Glyphosate resistance in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) is associated with a fitness penalty. *Weed Science* **64**, 71–79.

Control of *Heracleum sosnowskyi* in Lithuania

Bekämpfung von Heracleum sosnowskyi in Litauen

Darija Jodaugienė*, Aušra Marcinkevičienė, Aušra Sinkevičienė

Aleksandras Stulginskis University, Studentu str. 11, LT-53361 Akademija, Kaunas distr., Lithuania

*Corresponding author, darija.jodaugiene@asu.lt

DOI 10.5073/jka.2018.458.039



Abstract

Sosnovsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi*) is a dangerous perennial, invasive alien plant in Lithuania. Control of this plant is complicated due to well-developed biological properties. To achieve efficient control of the species, it is crucial to choose highly efficient herbicides and their combinations.

Field experiments, designed to compare the efficacy of different herbicides and their mixtures used to control *Heracleum sosnowskyi*, were conducted in 2016 and 2017 in Lithuania, Varnupiai (54° 29' 19.54", 23° 30' 45.9"), Marijampolė distr. The efficacy of the herbicides and their mixtures applied for Sosnovsky's hogweed control was different. The use of both lower and higher rates of glyphosate did not have the expected result, as 4-6 weeks after application new plants started to emerge. A mixture of glyphosate with triasulfuron showed better effect. The efficacy of dicamba and its mixtures with fluroxypyr and triasulfuron, fluroxypyr, triasulfuron and their mixture, fluroxypyr + clopyralid + MCPA mixture depended on the experimental years' meteorological conditions. In 2017, the effect of the above mentioned herbicides and their mixtures on Sosnovsky's hogweed stood out 4-6 weeks after application. Both the smaller and higher rates of tribenuron-methyl + metsulfuron-methyl mixture gave effective control of Sosnovsky's hogweed. The effect of fluroxypyr + metsulfuron-methyl mixture was more rapid, and 6 weeks after application only single plants remained in the plots.

Keywords: Control, efficacy, *Heracleum sosnowskyi*, herbicides

Zusammenfassung

Heracleum sosnowskyi, der Sosnovsky-Bärenklau, ist eine mehrjährige aggressiv invasive Pflanzenart, die in Litauen vorkommt. Die Komplikationen der Ausbreitungsbekämpfung von diesen Problempflanzen sind durch ihre gut entwickelten biologischen Eigenschaften verursacht. Bei den Bekämpfungsmaßnahmen ist es empfehlenswert, wirksame Herbizide und Mischungen zu erproben.

Unsere Untersuchungen wurden 2016-2017 in Varnupiai (54° 29' 19.54", 23° 30' 45.9") im Rayon Marijampole durchgeführt haben gezeigt, dass die Wirksamkeit verschiedener Herbizide und Mischungen zur Bekämpfung des Bärenklaus verschieden war. Durch den Einsatz von verschiedenen Glyphosat-Aufwandmengen wurde die erwartete Wirkung nicht erreicht, im Laufe von 4 bis 6 Wochen trieben die Pflanzen wieder aus. Eine Mischung aus Glyphosat und Triasulfuron wirkte besser. Die Wirksamkeit von Dicamba und seiner Mischungen mit Fluroxypyr und Triasulfuron, Fluroxypyr, Triasulfuron und ihre Mischungen, Fluroxypyr+Clopyralid+MCPA-Mischung hing von den meteorologischen Bedingungen des Jahres ab. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sowohl niedrigere als auch höhere Mengen einer Tribenuron-Methyl+Metsulfuron-Methyl-Mischung gegen die Ausbreitung des Bärenklaus nachhaltig wirkten. Die Wirkung von Fluroxypyr+MetsulfuronMethyl auf die Pflanzen war effizienter, und im Laufe von 6 Wochen sind nur einzelne Pflanzen übrig geblieben.

Stichwörter: Bekämpfung, Effizienz, *Heracleum sosnowskyi*, Herbizide, Pflanzendichte

Introduction

Sosnovsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi*) is a dangerous, highly invasive alien plant species of the family *Apiaceae*. At around the 1950's, the species was introduced to Europe from the Caucasus and was recommended to be grown for silage production. Before long it started to spread spontaneously in a wide range of habitats, including roadsides, areas alongside footpaths and riverbanks, scrublands, abandoned land, and rarely mowed grasslands. The species it now invading woods and arable fields (STRAVINSKIENĖ, 2016). As an alien species it is most widely distributed in the countries of Central and Eastern Europe – Poland, Belarus, Lithuania, Latvia, Estonia, Russia, Ukraine, maybe it also occurs in Germany (GUDŽINSKAS et al., 2014). It is estimated that in Lithuania the total area covered by this species is more than 10 thousand hectares (RAŠOMAVIČIUS, 2008).

One plant of *Heracleum sosnowskyi* is capable of producing up to 100 thousand seeds, which remain viable for several years (from 5–6 to up to 15 years) (NIELSEN et al., 2007; GUDŽINSKAS et al., 2014). Researchers have documented that under Lithuanian climate conditions, one plant of this species can produce from 15.4 to 16.1 thousand seeds, and the seed viability reaches 78% (BALEŽENTIENĖ and BARTKEVIČIUS, 2013; BALEŽENTIENĖ et al., 2013). The largest number of Sosnovsky's hogweed seeds (95%) is concentrated within the top 5cm of the soil layer (NIELSEN et al., 2005; DENNESS et al., 2013).

Since 2001, *Heracleum sosnowskyi* has been included in the list of harmful species of wild plants and fungi that have to be controlled in Lithuania (GAZETTE, 2001, No. 4-106). Therefore, an effective strategy for the control of this species has to be worked out.

The key objective of *Heracleum sosnowskyi* control is to minimize the abundance and density of the species and to prevent its further multiplication and spread. Various control methods are known and are presently being applied, including burning, hot water treatment, multiple cutting, herbicide application (KRAUS, 2013). The plants are recommended to be cut 3–4 times per season. Sosnovsky's hogweed can be exterminated by cutting roots from at least 10 cm depth early in spring when the first leaves start to emerge; however, this practice can be repeated in the middle of summer (NIELSEN et al., 2005; GUDŽINSKAS et al., 2014). Another practice used to control Sosnovsky's hogweed is deep ploughing up to 25 cm, from which the seeds are not able to emerge. To prevent the invasion and spread of the species in arable fields, it is vital to apply crop rotation (GUDŽINSKAS et al., 2014).

To achieve efficient control of the species, it is crucial to choose highly efficient herbicides and their combinations. Herbicidal control of Sosnovsky's hogweed has to be commenced early in spring until the plants are still short (up to 20–30 cm in height), or the plants have to be cut, and after regrowth when they have reached the above indicated height, they have to be sprayed with herbicides. It has been documented that after the plants have reached a height of about 50, herbicides may be ineffective. The most commonly recommended herbicides for the control of Sosnovsky's hogweed are glyphosate and triclopyr as they provide high efficacy and cost effectiveness. These herbicides are intended for use on individual plants and on the overgrowth of plants. Through leaves, the herbicides travel to roots and inhibit the growth of sprouts (OLUKANS et al., 2005; DOMARADZKI and BADOWSKI, 2010; KRAUS, 2013). It should be noted that, as a non-selective herbicide, glyphosate kills all vegetation, while the active ingredient of triclopyr has not been registered in Lithuania. For this reason, it is necessary to look for other, selective-type herbicides that would target specifically Sosnovsky's hogweed but not the entire vegetation. The current study was aimed to compare the efficacy of herbicides and their mixtures used for the control of *Heracleum sosnowskyi*.

Materials and Methods

Experimental design

Field experiments, designed to compare the efficacy of different herbicides and their mixtures used to control *Heracleum sosnowskyi*, Sosnovsky's hogweed, were conducted in 2016 and 2017 in Lithuania, Varnupiai (54° 29' 19.54", 23° 30' 45.9"), Marijampolė distr.

In 2016, the experiment included the following 15 treatments:

1. glyphosate 1440 g ha⁻¹,
2. glyphosate 2160 g ha⁻¹,
3. glyphosate 2880 g ha⁻¹,
4. glyphosate 3600 g ha⁻¹,
5. glyphosate 720 g ha⁻¹ + dicamba 480 g ha⁻¹,
6. glyphosate 720 g ha⁻¹ + fluroxypyr 60 g ha⁻¹ + clopyralid 30 g ha⁻¹ + MCPA 300 g ha⁻¹,
7. glyphosate 720 g ha⁻¹ + fluroxypyr 180 g ha⁻¹,
8. glyphosate 720 g ha⁻¹ + triasulfuron 4 g ha⁻¹,

9. dicamba 960 g ha⁻¹,
10. dicamba 480 g ha⁻¹ + fluroxypyr 180 g ha⁻¹,
11. dicamba 480 g ha⁻¹ + triasulfuron 4 g ha⁻¹,
12. fluroxypyr 360 g ha⁻¹,
13. triasulfuron 8 g ha⁻¹,
14. fluroxypyr 120 g ha⁻¹ + clopyralid 60 g ha⁻¹ + MCPA 600 g ha⁻¹,
15. triasulfuron 4 g ha⁻¹ + fluroxypyr 180 g ha⁻¹.

In 2017, the number of treatments was increased to 18 by adding to the ones tested in 2016 another 3 treatments:

16. tribenuron-methyl 2 g ha⁻¹ + metsulfuron-methyl 4 g ha⁻¹,
17. tribenuron-methyl 3 g ha⁻¹ + metsulfuron-methyl 6 g ha⁻¹,
18. fluroxypyr 360 g ha⁻¹ + metsulfuron-methyl 4 g ha⁻¹.

The experimental plot size was 18 m²; the experimental treatments were replicated 4 times. Plant density, height and chlorophyll index, which indicates the intensity of photosynthesis and at the same time plant viability, were estimated and measured before herbicide application and every two weeks after application, 5 times per vegetation season in 2016 and 6 times in 2017. The paper presents the variation of plant densities.

Statistical analysis

The data were estimated according to t criterion, using the statistical programme STAT from the software package STATISTICA 10. At the time of experiment establishment, the experimental plots significantly differed in plant density, therefore we did not compare herbicides and their mixtures but plant densities before herbicide application and 2, 4, 6, 8 and 10 weeks after application.

Results

The number of plants in the plots before herbicide application differed and ranged from 76.7 to 91.7 m⁻² in 2016 and from 56.7 to 80.0 m⁻² in 2017 (Tab. 1). Having sprayed the plots with different rates (1440-3600 g ha⁻¹) of glyphosate, the number of plants within 2 weeks after application decreased by 3.7-63.7% in 2016 and by 12.2-48.8% in 2017; however, significant differences were established only having applied glyphosate at a rate of 2160 g ha⁻¹ in 2016 and at a rate of 3600 g ha⁻¹ in 2017.

Tab. 1 Influence of different glyphosate doses on *Heracleum sosnowskyi* density.

Tab. 1 Einfluss verschiedener Glyphosat-Aufwandmengen auf die Pflanzendichte von *Heracleum sosnowskyi*.

Herbicides	Year	Weed density (number m ⁻²)					
		before spraying	after 2 weeks	after 4 weeks	after 6 weeks	after 8 weeks	after 10 weeks
Glyphosate 1440 g ha ⁻¹	2016	76.7a	63.3a	146.7a	168.3a	133.3a	-
	2017	68.3ab	60.0ab	78.3ab	85.0ab	90.0a	51.7b
Glyphosate 2160 g ha ⁻¹	2016	91.7cd	88.3d	210.0ab	258.3a	183.3bc	-
	2017	80.0a	46.7b	46.7b	83.3a	115.0a	68.3ab
Glyphosate 2880 g ha ⁻¹	2016	88.3a	53.3a	121.7a	146.7a	101.7a	-
	2017	56.7ab	46.7ab	36.7b	61.7ab	81.7a	50.0ab
Glyphosate 3600 g ha ⁻¹	2016	91.7ab	33.3c	86.7bc	110.0ab	130.0a	-
	2017	65.0a	33.3ab	20.0b	61.7a	53.3ab	51.7ab

In 2016, when the plant density was assessed 4 weeks after application, it was noticed that in the plots, particularly those applied with lower glyphosate rates, new plants started to grow.

A similar trend was established in 2017, only new plants started to emerge slightly later, i.e. 4-6 weeks after application. In 2017, plant density 10 weeks after application was found to be lower

than 8 weeks after application. This can be explained by the fact that the plants of Sosnovsky's hogweed started to compete and smother one another.

Glyphosate mixtures with other herbicides had different effects on the Sosnovsky's hogweed plant density (Tab. 2). The best efficacy was exhibited by a glyphosate mixture with triasulfuron. The number of plants consistently decreased. A significant reduction (3.5-4.7 times) in the number of plants was recorded 8 weeks after application compared with the number before application. Other mixtures demonstrated weaker efficacy.

Tab. 2 Influence of different glyphosate mixtures on *Heracleum sosnowskyi* density.

Tab. 2 Einfluss verschiedener Glyphosat-Mischungen auf die Pflanzendichte von *Heracleum sosnowskyi*.

Herbicides and their mixtures	Year	Weed density (number m ⁻²)					
		before spraying	after 2 weeks	after 4 weeks	after 6 weeks	after 8 weeks	after 10 weeks
Glyphosate 720 + dicamba 480 g ha ⁻¹	2016	83.3a	73.3a	98.3a	121.7a	161.7a	-
	2017	58.3a	40.0a	61.7a	66.7a	81.7a	70.0a
Glyphosate 720 + fluroxypyr 60 + clopyralid 30 + MCPA 300 g ha ⁻¹	2016	95.0ab	86.7b	176.7a	178.3a	193.3a	-
	2017	63.3ab	53.3ab	28.3b	68.3a	86.7a	46.7ab
Glyphosate 720 + fluroxypyr 180 g ha ⁻¹	2016	85.0b	61.7b	95.0ab	103.3ab	131.7a	-
	2017	95.0a	56.7ab	31.7b	36.7b	31.7b	36.7b
Glyphosate 720 + triasulfuron 4 g ha ⁻¹	2016	70.0a	51.7a	41.7ab	31.7ab	20.0b	-
	2017	70.0a	33.3ab	21.7b	16.7b	15.0b	15.0b

The effect of dicamba differed between the experimental years (Tab. 3). In 2016, the number of plants did not change within 4 weeks after application, and later new plants started to emerge.

Tab. 3 Influence of different dicamba mixtures on *Heracleum sosnowskyi* density.

Tab. 3 Einfluss verschiedener Dicamba-Mischungen auf die Pflanzendichte von *Heracleum sosnowskyi*.

Herbicides and their mixtures	Year	Weed density (number m ⁻²)					
		before spraying	after 2 weeks	after 4 weeks	after 6 weeks	after 8 weeks	after 10 weeks
Dicamba 960 g ha ⁻¹	2016	56.7b	56.7b	56.7b	75.0b	116.7a	-
	2017	51.7a	48.3a	28.3a	30.0a	48.3a	38.3a
Dicamba 480 + fluroxypyr 180 g ha ⁻¹	2016	90.0b	90.0b	95.0b	145.0b	201.7a	-
	2017	63.3a	56.7a	21.7ab	15.0b	13.3b	16.7b
Dicamba 480 + triasulfuron 4 g ha ⁻¹	2016	65.0a	48.3a	41.7a	36.7a	50.0a	-
	2017	56.7a	55.0a	21.7b	25.0b	20.0b	23.3b

For this reason, a higher number of plants was recorded: after 6 weeks 1.3 times, after 8 weeks 2.1 times, compared with the number before application. In 2017, 4 weeks after application were 1.8 times fewer plants. Later, even though new plants emerged, their number was lower than before herbicide application. The efficacy of the dicamba + fluroxypyr and dicamba + triasulfuron mixtures also differed between the experimental years – it was higher in 2017. Within 8 weeks after application, the number of Sosnovsky's hogweed plants decreased significantly by 4.8 times in the plots applied with dicamba 480 + fluroxypyr 180 g ha⁻¹ mixture and in the plots applied with dicamba 480 + triasulfuron 4 g ha⁻¹ mixture it decreased by 2.8 times.

When the plants had been sprayed with fluroxypyr, its effect became most distinct 4-6 weeks after application (Tab. 4). In 2016, the effect of triasulfuron was insignificant; however, in 2017, 4 weeks after application the number of plants was significantly (2.8 times) lower than before application. This difference remained until the end of experiments. 10 weeks after application, the number of Sosnovsky's hogweed plants was as low as 1.7 m⁻², i.e. 27.5 times lower than before the herbicide application.

In 2016, mixtures of fluroxypyr + triasulfuron and fluroxypyr + clopyralid + MCPA did not exert significant effect on Sosnovsky's hogweed, while in 2017 they significantly reduced the number of plants within 4 weeks after application.

Based on the Latvian researchers' experience of controlling the spread of *Heracleum sosnowskyi*, in 2017 we tested the efficacy of tribenuron-methyl 3 + metsulfuron-methyl 6 g ha⁻¹ mixture. In Lithuania, these active ingredients are registered at 1.5 lower rates than in Latvia. Our findings suggest that both rates of these herbicide mixtures gave good control of Sosnovsky's hogweed (Tab. 5). Application of the tribenuron-methyl 2 + metsulfuron-methyl 4 g ha⁻¹ mixture significantly reduced the number of plants within the first 2 weeks after application. 10 weeks after application, there were 33.1 times fewer plants than before the application. Similar control was given by the higher rate of these active ingredients (tribenuron-methyl 3 + metsulfuron-methyl 6 g ha⁻¹); however, significant differences stood out only after 6 weeks.

Tab. 4 Influence of different herbicide and their mixtures on *Heracleum sosnowskyi* density.

Tab. 4 Einfluss verschiedener Herbizide und ihrer Mischungen auf die Pflanzendichte von *Heracleum sosnowskyi*.

Herbicides and their mixtures	Year	Weed density (number m ⁻²)					
		before spraying	after 2 weeks	after 4 weeks	after 6 weeks	after 8 weeks	after 10 weeks
Fluroxypyr 360 g ha ⁻¹	2016	73.3a	75.0a	60.0a	56.7a	100.0a	-
	2017	73.3a	78.3a	30.0b	13.3c	16.7c	13.3c
Triasulfuron 8 g ha ⁻¹	2016	96.7a	75.0a	93.3a	60.0a	81.7a	-
	2017	46.7a	55.0a	16.7b	5.0c	2.9c	1.7c
Triasulfuron 4 + fluroxypyr 180 g ha ⁻¹	2016	81.7a	76.7a	66.7a	118.3a	113.3a	-
	2017	88.3a	86.7a	26.7b	11.7b	15.0b	15.0b
Fluroxypyr 120 + clopyralid 60 + MCPA 600 g ha ⁻¹	2016	143.3ab	143.3ab	128.3b	160.0a	141.7ab	-
	2017	93.3a	81.7a	56.7b	11.7c	11.7c	10.0c

Tab. 5 Influence of different herbicide mixtures on *Heracleum sosnowskyi* density.

Tab. 5 Einfluss verschiedener Herbizid-Mischungen auf die Pflanzendichte von *Heracleum sosnowskyi*.

Herbicides mixtures	Weed density (number m ⁻²)					
	before spraying	after 2 weeks	after 4 weeks	after 6 weeks	after 8 weeks	after 10 weeks
Tribenuron-methyl 2 + metsulfuron-methyl 4 g ha ⁻¹	88.3a	58.3b	51.7b	8.3c	5.0c	2.7c
Tribenuron-methyl 3 + metsulfuron-methyl 6 g ha ⁻¹	61.7a	51.7ab	38.3ab	16.7bc	3.2c	1.9c
Fluroxypyr 360 + metsulfuron-methyl 4 g ha ⁻¹	48.3a	46.7a	10.0b	0.3c	0.3c	0.2c

Even better results were obtained in the treatments applied with the fluroxypyr + metsulfuron-methyl mixture. A significantly lower number (4.8 times) of plants was recorded 4 weeks after application. 6 weeks after application, the plots contained only single plants, whose density totalled 0.25 m⁻².

Discussion

Our experimental findings suggest that the efficacy of the herbicides and their mixtures applied for *Heracleum sosnowskyi* control was different. The use of both lower and higher rates of glyphosate did not yield the expected result, as 4-6 weeks after application new plants started to emerge. A mixture of glyphosate with triasulfuron showed better effect. The efficacy of dicamba and its mixtures with fluroxypyr and triasulfuron, fluroxypyr, triasulfuron and their mixture, fluroxypyr + clopyralid + MCPA mixture depended on the experimental years' meteorological

conditions. In 2017, the effect of the above mentioned herbicides and their mixtures on Sosnovsky's hogweed stood out 4-6 weeks after application. Polish researchers have reported that the best result was achieved (90–95% control) by using mixtures of triclopyr and other herbicides: triclopyr + fluroxypyr + clopyralid, propoxycarbazone sodium + iodosulfuron methylsodium + amidosulfuron and triclopyr + fluroxypyr + clopyralid + propoxycarbazone sodium + iodosulfuron methylsodium + amidosulfuron (DOMARADZKI and BADOWSKI, 2010). Belarus researchers (YAKIMOVICH and IVASHKEVICH, 2013) have indicated that the highest efficacy in controlling Sosnovsky's hogweed was achieved by using sulfometuron-methyl acid, imazapyr and their mixtures with glyphosate. The USA researchers recommend controlling Sosnovsky's hogweed with a mixture of triclopyr and chlorothalonil or 2,3,6-trichlorobenzoic acid and MCPA in April–June (BHOWMIK and CHANDRAN, 2015). Latvian researchers suggest controlling it by applying glyphosate, triclopyr and imazapyr in March–May (OLUKANS et al., 2005). Many authors point out that integrated approach provides the most effective control of Sosnovsky's hogweed. Our study evidenced that both the smaller and higher rates of the tribenuron-methyl + metsulfuron-methyl mixture gave effective control of Sosnovsky's hogweed. The effect of the fluroxypyr + metsulfuron-methyl mixture was more rapid, and 6 weeks after application only single plants remained in the plots.

References

- BALEŽENTIENĖ, L., A. STANKEVIČIENĖ and V. SNIŠKIENĖ, 2013: *Heracleum sosnowskyi* (Apiaceae) seed productivity and establishment in different habitats of central Lithuania. *Ecology* **59** (3), 123-133.
- BALEŽENTIENĖ, L. and E. BARTKEVIČIUS, 2013: Invasion of *Heracleum sosnowskyi* (Apiaceae) at habitat scale in Lithuania. *J. Food Agric. Environ.* **11** (2), 1370-1375.
- BHOWMIK, P.C. and R.S. CHANDRAN, 2015: Biology, ecology, distribution and current status of *Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier. *Journal of Crop and Weed* **11** (1), 1-17.
- DENNESS, A., J.D. ARMITAGE and A.A. CULHAM, 2013: Contribution towards the identification of the giant hogweed species (*Heracleum*, Apiaceae) naturalised in the British Isles with comments concerning their furanocoumarin content. *Journal of the Botanical Society of Britain and Ireland* **3** (3), 183-196.
- DOMARADZKI, K. and M. BADOWSKI, 2010: *Heracleum sosnowskyi* Manden. – Possibilities of chemical control on ruderal habitats in Poland conditions. Poland. http://www.google.lt/url?url=http://www.slf.ch/epub/ewrs/sessions/download%3Fp%3D1074/4-150-final-Domaradzki_Badowski_Heracleum_sosnowskyi_chemical_control.doc%26o%3DDomaradzki_Badowski_Heracleum_sosnowskyi_chemical_control.doc%26sid%3D13713730616805636699796514467&rc=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ved=0ahUKewj8vJ-BifvPAhXHX0xQKHbHDDNEQFggYMAA&usg=AFQjCNG4tWeUjwKNzWgq4dhtJmVhP-zwg.
- EUROPEAN and MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION: *Heracleum mantegazzianum*, *Heracleum sosnowskyi* and *Heracleum persicum*: 2009: EPPO Bulletin. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2338.2009.02313.x/full>.
- GUDŽINSKAS, Z., M. KAZLAUSKAS, D. PILATE, M. BALALAIKINS, M. PILATS, A. ŠAULYS, I. ŠAULIENĖ and L. ŠUKIENĖ, 2014: Invasive organisms of the border region of Lithuania and Latvia. Vilnius, BMK Press. 181 p.
- KRAUS, N., 2013: Giant hogweed control methods. http://www.dec.ny.gov/docs/lands_forests_pdf/ghcontrol.pdf.
- NIELSEN, C., H.P. RAVN, W. NENTWING and M. WADE, 2005: The giant hogweed best practice manual guidelines for the management and control of an invasive weed in Europe. Forest and Landscape. Denmark, Hoersholm. http://www.giant-alien.dk/pdf/Giant_alien_uk.pdf.
- NIELSEN, C., I. VANAGA, O. TRECALE and J. PRIECULE, 2007: Mechanical and chemical control of *Heracleum mantegazzianum* and *H. sosnowskyi*. In: Ecology and management of giant hogweed (*Heracleum mantegazzianum*).
- OLUKANS, A., A. BERZINS, D. LAPINS, A. LEJINS and A. SPRINCINA, 2005: Studies on hogweed (*Heracleum*) restriction in Latvia in 2002-2004. Latvia. http://agris.fao.org/agris-search/search.do?sessionId=C5FBED620A2FECE1638730D74251A996?request_locale=ru&recordID=LV2006000044&query=&sourceQuery=&sortField=&sortOrder=&agrovocString=&advQuery=¢erString=&enableField=.
- RAŠOMAVIČIUS, V., 2008: Investigations of the dynamics and spread of invasive plant species populations: research work report. Vilnius. http://gamta.lt/files/2007m_invazinui_rusiu_tyrimu_rezultatu_analizes_ataskaita.pdf.
- STRAVINSKIENĖ, V., 2016: Lithuania's alien plants. Kaunas, New Bow Press. 280 p.
- GAZETTE, 2001-01-12, Nr. **4-106**, 2001: List of harmful and destructive list of wild plants or fungi species, individual wild crops, harmful to humans, animals and valuable wild crops. <http://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.7462A5AD5051>.
- YAKIMOVICH, O.A. and E.A. IVASHKEVICH, 2013: Efficiency of selective action herbicides against *Heracleum* L. Belarus. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BY2016000820>.

Sektion 5: Unkrautmanagement ohne Herbizide

Session 5: Weed management without herbicides

Der Einfluss der Fruchtfolge auf die Beikrautflora im ökologischen Landbau

The effect of crop rotation on weeds in organic arable fields

Franziska Mayer*, Gisbert Kuhn, Peer Urbatzka, Adelheid Castell

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Lange Point 12, 85354 Freising

*Korrespondierende Autorin, franziska.mayer@lfl.bayern.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.040



Zusammenfassung

Im ökologischen Landbau ist die Fruchtfolge ein wichtiges Element in der Unkrautregulierung. Fünf verschiedene Fruchtfolgevarianten wurden in einem Parzellenversuch in Oberbayern auf ihre Wirkung auf den Beikrautbesatz untersucht. Dafür wurde in den Jahren 2013-2016 die Beikrautvegetation (alle Arten und ihre Deckung) auf den Versuchspartellen erfasst. Insgesamt wurden in den 120 Aufnahmen 93 Pflanzenarten registriert; im Mittel 26 Arten pro 40 m². Für die Kartoffeln ergab sich lediglich ein Unterschied in der Kulturdeckung, die in der Fruchtfolge mit Gülledüngung und zweijährigem Klee gras höher war als in den anderen beiden Kartoffel-Fruchtfolgen. Die Beikrautvegetation unterschied sich kaum zwischen den Fruchtfolgen. In der Sommer-Gerste konnte durch eine einjährige Klee grasphase im Vergleich zur Ackerbohnenkultur die Beikrautdeckung geringer gehalten werden, u. a. durch einen geringeren Besatz mit Wurzelunkräutern wie *Sonchus arvensis* oder eine niedrigere Deckung von *Avena fatua*. Ähnliches zeigte sich auch im Winterweizen. Die Fruchtfolgevariante ohne Kartoffeln und Klee gras bot sowohl Wurzel- als auch Samenunkräutern eine bessere Etablierungschance, so dass auch die gesamte Wildkrautdeckung hier höher war.

Stichwörter: Ackerwildkraut, Fruchtfolge, Klee gras, Ökolandbau

Abstract

Crop rotation is an essential element in organic farming weed management. The effect of five different crop rotation systems on the abundance of arable weeds was investigated. Therefore, a vegetation survey was carried out on the study plots from 2013 to 2016. 93 different weed species were recorded in 120 observations. Weed species number and composition in potatoes hardly differed between the crop rotation systems. Only crop cover was higher on plots with manuring and with a biennial grass-clover. In summer barley weed abundance was lower when there was grass-clover included in the crop rotation instead of field bean. Especially the dominance of the perennial *Sonchus arvensis* and of *Avena fatua* was reduced. Similar results were observed in the winter wheat. The crop rotation without potatoes and grass-clover was more susceptible both for annuals and perennials so that weed abundance in general was higher.

Keywords: Arable weed, crop rotation, organic farming

Einleitung

Die Aufgaben der Fruchtfolge sind nicht nur der Erhalt und die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und der Nährstoffversorgung, sondern auch die Regulierung des Krankheits- und Unkrautdrucks. Da im ökologischen Landbau alle Möglichkeiten zur Beikrautregulierung ausgeschöpft werden sollten, sind Erkenntnisse über die Auswirkungen verschiedener Fruchtfolgen auf das Vorkommen von Ackerwildkräutern - sowohl quantitativ als auch qualitativ - wichtig. Ziel der vorgestellten Untersuchungen war es, einen möglichen Einfluss verschiedener Fruchtfolgen auf Artenzusammensetzung und Deckung der Beikräuter aufzuzeigen.

Material und Methoden

Der hier vorgestellte Fruchtfolgeversuch wird nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet. Er läuft seit Ernte 1998 in Oberbayern ca. 30 km nordwestlich von München im

Tertiärhügelland. Der sandige Lehm, auf dem der Versuch liegt, hat eine Bodenzahl von 64. Es handelt sich um einen Parzellenversuch in einer einfaktoriellen Blockanlage mit drei Wiederholungen und einer Parzellengröße von je 150 m². Dabei wurden fünf verschiedene Fruchtfolgen getestet. Jedes Fruchtfolgeglied war in jedem Jahr vorhanden.

Tab. 1 Untersuchte Fruchtfolgevarianten (FF: Fruchtfolge).

Tab. 1 Investigated crop rotations (FF: crop rotation).

Viehhaltend (20-25 m ³ Gülle)		Viehlos (ohne Gülle)		
mit Klee gras		ohne Klee gras		
2-jährig	1-jährig			
gemäht	gemulcht			
mit Kartoffeln		ohne Kartoffeln		
FF1	FF2	FF4	FF5	FF6
Klee gras	Klee gras	Klee gras	Klee gras	Ackerbohne
Klee gras	Kartoffeln	Kartoffeln	Winterweizen	Winterweizen
Kartoffeln	Winterweizen	Winterweizen	Sommergerste	Sommergerste
Winterweizen				
Winterroggen				

Die Beikrautregulierung im Getreide erfolgte durch bedarfsgerechtes Striegeln. Bei besonders hohem Besatz an *Cirsium arvense*, *Rumex obtusifolius* oder *Chenopodium album* wurde Einzelpflanzenbekämpfung per Hand durchgeführt. Deshalb konnten diese Arten bei den Auswertungen nicht berücksichtigt werden.

In den Jahren 2013-2016 wurde der Versuch vegetationskundlich begleitet. Dabei wurde die Beikrautvegetation im Winterweizen und in der Sommergerste Mitte Juli und in den Kartoffeln Ende Juli bis Anfang August aufgenommen. Jedes Jahr wurden 15 Weizen-, neun Kartoffel- und sechs Gerstenparzellen untersucht. Dabei wurde auf Streifen von 2,5 x 16 m² die Deckung aller Gefäßpflanzenarten in % geschätzt (ergänzt in Anlehnung an die Schätzskala von BRAUN-BLANQUET (1964) um „+“ für <1 % Deckung und „r“ für 1-3 Exemplare), zusätzlich die Gesamtdeckung und die Deckungen der Kultur und der Beikräuter getrennt.

Die Ordinationsdiagramme wurden mittels multivariater Auswertemethoden mit PcOrd 6 (McCUNE and MEFFOR, 2011) erstellt, Mittelwertvergleiche und Signifikanztests (Duncans multipler Spannweitentest) mit SAS-Enterprise-Guide (4.3) (Copyright © 2006 - 2010 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt wurden in den 120 Aufnahmen 93 Pflanzenarten registriert: Auf den Kartoffel- und auf den Gerstesschlägen im Mittel 29 Arten pro 40 m² und im Weizen 25 Arten – der Gesamtdurchschnitt waren 26 Arten. Innerhalb der Feldfrüchte gab es hinsichtlich der Artenzahl keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen.

Die stetigsten Arten in den verschiedenen Kulturen sind in Tabelle 2 dargestellt. Ihren Verbreitungsschwerpunkt im Wintergetreide haben *Aphanes arvensis* und *Apera spica-venti*, während *Chenopodium album* und *Galinsoga ciliata* vorwiegend in Hackfrüchten und Sommergetreide vorkommen (vgl. auch HOFMEISTER und GARVE, 2006). Insgesamt handelt es sich um Arten, die auf diesem Standort typisch sind bzw. Arten mit einer sehr weiten ökologischen Amplitude. Neben diesen noch recht häufigen und z.T. konkurrenzstarken Arten gab es auch Arten, die man immer seltener antrifft, wie *Spergula arvensis*, *Gnaphalium uliginosum*, *Silene noctiflora*, *Sherardia arvensis*, *Papaver rhoeas*, *Anagallis arvensis*, *Centaurea cyanus* und sogar eine Art der Roten Liste der gefährdeten Pflanzenarten *Legousia speculum-veneris* (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 2003), die einmal im Winterweizen vorkam.

Tab. 2 Rangfolge der sechs Arten mit der höchsten Stetigkeit in den drei Kulturen.

Tab. 2 Ranking order of the six most abundant species in the three crops.

Rang	Winterweizen	Sommergerste	Kartoffeln
1	<i>Aphanes arvensis</i>	<i>Cirsium arvense</i>	<i>Chenopodium album</i>
2	<i>Apera spica-venti</i>	<i>Fallopia convolvulus</i>	<i>Cirsium arvense</i>
3	<i>Myosotis arvensis</i>	<i>Veronica persica</i>	<i>Veronica persica</i>
4	<i>Cirsium arvense</i>	<i>Myosotis arvensis</i>	<i>Fallopia convolvulus</i>
5	<i>Fallopia convolvulus</i>	<i>Galinsoga ciliata</i>	<i>Galinsoga ciliata</i>
6	<i>Veronica persica</i>	<i>Viola arvensis</i>	<i>Stellaria media</i>

Die Diagramme in Abbildung 1 zeigen die Ähnlichkeit der Beikrautbestände in Gerste bzw. Weizen. Je näher zwei Punkte beieinander liegen, desto ähnlicher sind sich die Pflanzensamensetzungen der Bestände. Die Beikrautbestände der Gerste unterschieden sich relativ deutlich zwischen den beiden Fruchtfolgevarianten. Beim Weizen ist eine ähnlich deutliche Abgrenzung nur für die Fruchtfolgevariante FF6 (ohne Kartoffeln und Klee gras) erkennbar. Worauf diese Unterschiede beruhen, klären die Tabellen 3 (Weizen) und 4 (Gerste). Hier sind die Arten aufgelistet, für die signifikante Unterschiede in den Deckungswerten zwischen den Fruchtfolgen festgestellt wurden.

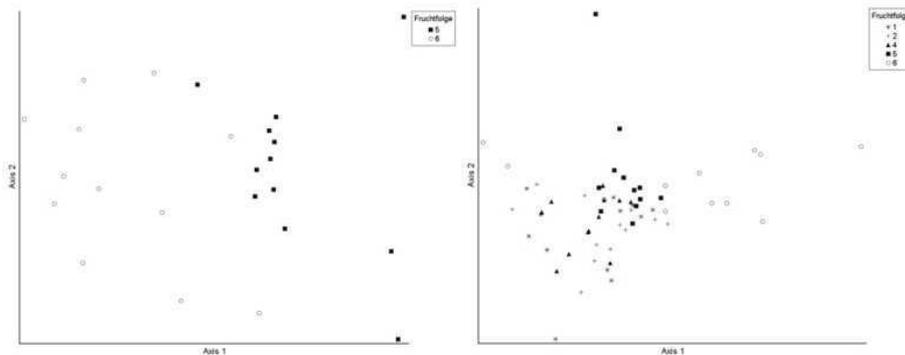


Abb. 1 Ordinationsdiagramme (DCA, Detrended correspondence Analysis) aufgrund der Artenzusammensetzungen der Vegetationsaufnahmen auf den Weizen- (rechts) und Gersten- (links) Parzellen in den verschiedenen Fruchtfolgen; Gerste: Axis 1: Eigenwert=0,45, Gradientenlänge=2,5; Axis2: Eigenwert=0,27, Gradientenlänge =2,1; Weizen: Axis 1: Eigenwert =0,48, Gradientenlänge =3,1; Axis 2: Eigenwert =0,22, Gradientenlänge =2,6.

Fig. 1 Ordination graphs (DCA, Detrended correspondence Analysis) based on the species composition on the wheat (right side) and barley (left side) plots at different crop rotations; barley: Axis 1: eigenvalue=0,45, length of gradient=2,5; Axis2: eigenvalue=0,27, length of gradient=2,1; wheat: Axis 1: eigenvalue=0,48, length of gradient=3,1; Axis 2: eigenvalue=0,22, length of gradient=2,6.

Fruchtfolgeglied Sommergerste

In Gruppe 1 (Tab. 3) sind die Arten(-gruppen) zusammengefasst, die in FF5 höhere Deckungswerte bzw. Anteile zeigten, in Gruppe 2 die in FF6 stärker vertreten waren. Dass die Gerste in FF5 (mit Klee gras) eine höhere Kulturdeckung zeigte, stimmt gut mit den höheren Erträgen (CASTELL et al., 2016), die sie hier erzielte, überein. Die höhere Leguminosen- und Rotklee-Deckung resultiert aus der Klee grasphase in FF5. *Poa annua* und *Galeopsis tetrahit* sind Arten mit einer langlebigen Samenbank, die die Klee grasphase gut überstehen und dadurch in dieser Variante möglicherweise einen Vorteil gegenüber anderen Arten hatten. Die Gerste in FF6 (ohne Klee gras) zeigte generell eine höhere Wildkrautdeckung, die sich auch in einer höheren Gräserdeckung zeigte. Zudem waren hier die ausdauernden Arten stärker vertreten und die mittlere Konkurrenzzahl der Beikräuter (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005) war höher, was durch die deutlich stärkeren

Vorkommen von *Sonchus arvensis* (Konkurrenzzahl 3-4) und *Avena fatua* (Konkurrenzzahl 5) in FF6 erklärbar ist. Auch für die Gräserdeckung war in erster Linie *Avena fatua* verantwortlich, der in FF5 durch die Klee grasphase wenigstens ein Jahr an der Bildung neuer Samen gehindert wird. Ähnlich verhält sich *Spergula arvensis*, der wie der Flugafer typischerweise im Sommergetreide vorkommt (ARLT et al., 1991). Die wichtigsten Wurzelunkräuter, die durch die mehrmalige Mahd des Klee grasses in FF5 geschwächt wurden, sich in FF6 dagegen jedes Jahr etablieren konnten, waren *Equisetum arvense* und *Sonchus arvensis*, letztere eine typische Art der Sommerfrüchte (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005).

Tab. 3 Die Ackerwildkräuter und Artengruppen in Sommer-Gerste, die sich zwischen den Fruchtfolgen signifikant unterschieden ($p=0,05$); mittlere Deckungswerte (%), außer bei *. In den Gruppen sind die Arten(gruppen) zusammengefasst, deren (Deckungs-)Werte sich bezogen auf die Fruchtfolgen ähnlich verhalten.

Tab. 3 Weed species and groups in summer barley with a significant difference in mean ground cover (%) between the crop rotations ($p=0.05$). "Gruppe" pools species with similar behavior according to the crop rotation.

	Fruchtfolge		Gruppe
	FF5	FF6	
<i>Galeopsis tetrahit</i>	3,17	0,58	1
<i>Cerastium glomeratum</i>	0,29	0,04	1
<i>Poa annua</i>	0,29	0,04	1
<i>Trifolium pratense</i>	0,17	0,00	1
Kulturdeckung %	39,17	23,92	1
Leguminosenanteil %	0,63	0,17	1
<i>Avena fatua</i>	0,67	8,75	2
<i>Sonchus arvensis</i>	1,13	8,58	2
<i>Equisetum arvense</i>	0,21	1,46	2
<i>Lapsana communis</i>	0,08	0,58	2
<i>Spergula arvensis</i>	0,04	0,42	2
ΣBeikrautdeckung gesamt %	27,72	43,50	2
ΣWurzelunkrautdeckung %	4,67	11,71	2
Gräseranteil %	2,67	9,88	2
Konkurrenzzahl*	2,84	3,21	2

*nach HOLZNER und GLAUNINGER, 2005

Fruchtfolglied Winterweizen

Betrachtet man das Fruchtfolglied Winterweizen (Tab. 4) ergibt sich eine erste Gruppe von Arten aus *Fallopia convolvulus* und *Galeopsis tetrahit*, die beide in FF1 mit zweijährigem Klee gras und Kartoffeln stärker vertreten waren als in FF6 ohne Klee gras und Kartoffeln; beides sommer-einjährige Arten mit einer langlebigen Samenbank (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005). Möglicherweise hatten sie durch ihre langlebigen Samen in der beikrautunterdrückenden FF1 einen Vorteil anderen Arten gegenüber – z. B. Wurzelunkräutern gegenüber -, den sie in FF6 nicht nutzen konnten.

Dass in den Fruchtfolgen FF2 und FF6 der Gräseranteil höher war als in anderen Fruchtfolgen, lag an der höheren Deckung von *Apera spica-venti* und in FF2 zusätzlich an höheren Anteilen an *Elymus repens* und *Phleum pratense*. Warum *Apera spica-venti* gerade in FF4 mit so geringen Deckungen auftrat, ist schwer zu erklären – liegt doch der Unterschied zu FF2 lediglich in der Düngung bzw. der Behandlung des Klee grasses. Der Windhalm ist ein an Wintergetreide angepasstes Beikraut mit sehr kurzlebigen Samen. Laut ARLT et al. (1991) würde eine längere Anbaupause zwischen Winterfrüchten die Keimfähigkeit kurzlebiger Unkrautsamen vermindern. Das ist aber bei FF4 gegenüber anderen Fruchtfolgen nicht gegeben. Überhaupt ist das verstärkte Auftreten der Artengruppe 2 in Fruchtfolge FF2 schwer nachvollziehbar, z. B. von den beiden Wurzelunkräutern *Elymus repens* und *Equisetum arvense*. Allerdings handelt es sich hier um sehr

geringe Deckungswerte. Zudem muss bedacht werden, dass nicht nur die Bewirtschaftung das Vorkommen der Beikräuter beeinflusst, sondern dass sich auch die Beikräuter selbst gegenseitig Konkurrenz machen. So ist auch vorstellbar, dass bestimmte Arten stärker auftreten, weil die Konkurrenz fehlt. Wie auch in der Gerste wurden im Weizen in FF6 ohne Klee gras und Kartoffeln Samenunkräuter wie *Avena fatua*, *Galinsoga ciliata*, *Lapsana communis*, *Matricaria discoidea*, *Sonchus asper*, *Tripleurospermum perforatum* und *Veronica arvensis* gefördert, was sich in einer insgesamt höheren Samenunkrautdeckung zeigte. Das in FF6 erhöhte Vorkommen an Wurzelunkräutern gegenüber FF1 basiert unter anderem auf der höheren *Sonchus arvensis*-Deckung.

Tab. 4 Die Ackerwildkräuter und Artengruppen in Winter-Weizen, die sich zwischen den Fruchtfolgen signifikant unterscheiden ($p=0,05$); mittlere Deckungswerte (%); die Buchstaben a-c zeigen signifikante Unterschiede an. In den Gruppen sind die Arten(gruppen) zusammengefasst, deren (Deckungs-)Werte sich bezogen auf die Fruchtfolgen ähnlich verhalten.

Tab. 4 Weed species and groups in winter wheat with a significant difference in mean ground cover (%) between the crop rotations ($p=0.05$); the letters a-c indicate significant differences. "Gruppe" pools species with similar behavior according to the crop rotation.

	Fruchtfolge					Gruppe
	FF1	FF2	FF4	FF5	FF6	
<i>Fallopia convolvulus</i>	2,08	a 0,88	1,46	0,63	b 0,46	b 1
<i>Galeopsis tetrahit</i>	2,00	a 1,17	1,79	a 0,54	0,21	b 1
<i>Elymus repens</i>	0,29	b 0,88	a 0,38	b 0,33	b 0,08	b 2
<i>Equisetum arvense</i>	0,08	b 1,08	a 0,42	0,13	b 0,92	2
<i>Phleum pratense</i>	0,21	bc 0,54	a 0,38	ba 0,25	0,00	c 2
<i>Polygonum aviculare</i>	0,58	0,67	a 0,46	0,42	0,33	b 2
<i>Apera spica-venti</i>	2,33	2,79	a 0,75	b 1,88	3,46	a 2
Gräseranteil %	4,21	6,42	a 3,21	b 4,25	5,83	a 2
<i>Matricaria discoidea</i>	0,21	b 0,33	0,34	0,25	b 0,50	a 3
<i>Veronica arvensis</i>	0,25	b 0,21	b 0,25	b 0,33	b 0,63	a 3
<i>Tripleurospermum perforatum</i>	0,25	b 0,21	b 0,21	b 0,33	0,58	a 3
<i>Galinsoga ciliata</i>	0,08	b 0,08	b 0,25	a 0,13	b 0,38	a 3
<i>Sonchus asper</i>	0,13	b 0,50	b 0,38	b 0,08	b 3,46	a 3
<i>Sonchus arvensis</i>	0,00	b 0,00	b 0,08	b 0,04	b 4,00	a 3
<i>Avena fatua</i>	0,00	b 0,08	b 0,04	b 0,04	b 0,67	a 3
<i>Lapsana communis</i>	0,04	b 0,04	b 0,00	b 0,00	b 0,25	a 3
ΣWurzelunkrautdeckung %	3,08	b 6,38	6,29	4,50	7,63	a 3
Konkurrenzzahl*	2,58	2,54	2,49	2,35	b 2,70	a 3
ΣBeikrautdeckung gesamt %	19,30	19,34	15,02	b 17,46	b 24,72	a 3
ΣSamenunkrautdeckung %	17,84	16,00	11,87	b 15,38	19,17	a 3
<i>Plantago major</i>	0,13	0,13	0,25	a 0,04	b 0,04	b 4
<i>Ranunculus repens</i>	0,29	0,21	b 0,50	a 0,42	0,42	4
<i>Papaver rhoeas</i>	0,08	b 0,04	b 0,00	b 0,29	a 0,08	b 5
<i>Stellaria media</i>	0,17	b 0,17	b 0,38	b 2,08	a 0,58	5

*nach HOLZNER und GLAUNINGER, 2005

Offensichtlich fehlt es FF6 erheblich an Potential, Beikräuter zu unterdrücken. Die Kartoffel dämmt Unkräuter durch häufige mechanische Pflegemaßnahmen und ihren dichten Bestand ein. Zweijähriges Klee gras kann gegenüber Fruchtfolgen ohne Klee gras die Unkrautindividuen/m² auf die Hälfte bis ein Viertel reduzieren (ARLT et al.). Auch MOHLER (2009) bestätigt die Reduktion sowohl von Annuellen als auch von Wurzelunkräutern wie *Cirsium arvense* durch eine Klee grasphase in der Fruchtfolge.

Die Konkurrenzzahl unterschied sich wie bei der Gerste auch beim Weizen zwischen FF5 und FF6. Mit Konkurrenzzahlen von 3 bzw. 3-4 (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005) wirkten sich hier die deutlich stärkeren Vorkommen von *Apera spica-venti*, *Sonchus asper* und *S. arvensis* in FF6 aus.

Die beiden ausdauernden Arten *Plantago major* und *Ranunculus repens* traten verstärkt in FF4 auf (Gruppe 4). Beide weisen auf Bodenverdichtung hin. Die letzte Gruppe (5) bilden zwei Arten, die in FF5 (mit gemulchtem Klee gras, ohne Kartoffeln) ihre Hauptverbreitung haben: die annuellen *Papaver rhoeas* und *Stellaria media*.

Die insgesamt geringsten Beikraut- und Samenunkrautdeckungen waren in Fruchtfolge FF4 zu beobachten. Diese Fruchtfolge verfügt einerseits mit Klee gras und Kartoffeln über zwei beikrautunterdrückende Fruchtfolgeglieder. Andererseits fehlt hier gegenüber der sonst fast identischen FF2 der Einfluss der Gülledüngung. Da laut CASTELL (2014) die Düngewirkung der Gülle gegenüber gemulchtem Klee gras vergleichbar war und laut MAYER (2000) das Samenausbreitungspotential der Gülleausbringung im Vergleich zum Samenpotential der Pflanzen auf dem Feld sehr gering ist, kann der Unterschied nicht durch die fehlende Düngung erklärt werden.

Fruchtfolgeglied Kartoffeln

Im Vergleich zwischen den Fruchtfolgen ergab sich für die Kartoffeln lediglich ein Unterschied in der Kulturdeckung, die in der Fruchtfolge mit Gülledüngung und zweijährigem Klee gras höher war als in den anderen Fruchtfolgevarianten. Tatsächlich erzielte diese Fruchtfolge auch einen höheren Ertrag (CASTELL et al., 2014). Die Beikrautvegetation unterschied sich kaum zwischen den drei Fruchtfolgen.

Literatur

- ARLT, K., W. HILBIG und H. ILLIG, 1991: Ackerunkräuter – Ackerwildkräuter. Ziemsen Verlag, Wittenberg. 160 S.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1964: Pflanzensoziologie. Springer-Verlag, Wien, New York. 865 S.
- CASTELL, A., T. ECKL, M. SCHMIDT, R. BECK, E. HEILES, G. SALZEDER und P. URBATZKA, 2014: Fruchtfolgen im ökologischen Landbau – Pflanzenbaulicher Systemvergleich in Viehhausen und Puch. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 9, 90 S.
- HOFMEISTER, H. und E. GARVE, 2006: Lebensraum Acker. 2. Aufl. Verlag Kessel, Remagen. 327 S.
- HOLZNER, W. und J. GLAUNINGER, 2005: Ackerunkräuter – Bestimmung, Biologie, landwirtschaftliche Bedeutung. Leopold Stocker Verlag, Graz-Stuttgart. 264 S.
- LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 2003: Rote Liste gefährdeter Gefäßpflanzen Bayerns mit regionalisierter Florenliste. Schriftenreihe des Bayerische Landesamtes für Umweltschutz. 374 S.
- MAYER, F., 2000: Long distance dispersal of weed diaspores in agricultural landscapes – The Scheyern approach. FAM-Bericht 47. Shaker Verlag, Aachen. 205 S.
- MCCUNE, B. and M.J. MEFFOR, 2011: PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 6.19. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- MOHLER, C.L., 2014: The role of crop rotation in weed management. In MOHLER, C.L. und S.E. JOHNSON (Hrsg.): Crop rotation on organic farms – a planning manual. Plant and Life Science Publishing, New York, S. 44-46.

The regional weed vegetation in organic spring-sown cereals as shaped by local management, crop diversity and site

Eine regionale Analyse der Unkrautvegetation von Sommergetreideflächen auf Öko-Betrieben unter dem Einfluss von Unkrautbekämpfung, Kulturvielfalt und Standort

Merel A.J. Hofmeijer*, Bärbel Gerowitt

University of Rostock, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences - Crop Health,
18051 Rostock, Germany

*Corresponding author, merel.hofmeijer@uni-rostock.de.

DOI 10.5073/jka.2018.458.041



Abstract

Mecklenburg Vorpommern has one of the highest percentages of organic arable production nationwide. Weeds remain to be the main challenge within this agricultural system. There is also an increase in the national support of agrobiodiversity. Weeds should therefore be continuously kept within manageable limits, while on the other side encourage a specie rich weed flora. Our objective is to investigate to which extent these two aspects can be addressed through the use of diversified crop management. In order to research this objective, weed and management data of spring sown cereal crops were obtained from organic farms in the region over the course of two years (2015-2016). The impact of the local environment and management factors on the occurring weed communities was studied in multivariate analysis approaches, followed by the separate crop diversity effects. We found a fundamental difference between the workings of the short-term management, the long-term crop diversification strategies and the more continuous site variables on the weed vegetation. Weed densities were mostly affected by direct management, while weed diversity and communities were altered through the application of crop diversity variables.

Keywords: Canonical correspondence analysis, weed communities, weed survey

Zusammenfassung

Bundesweit hat Mecklenburg Vorpommern einen sehr hohen Anteil an Ökologischer Landwirtschaft. Nach wie vor sind Unkräuter eine Herausforderung in diesen Agrarsystemen. Agrobiodiversität zu fördern, hat in Deutschland einen zunehmenden Stellenwert. Vor diesem Hintergrund sollten Unkräuter einerseits in langfristig handhabbaren Größenordnungen bleiben, andererseits aber auch eine artenreiche Flora bilden. Unser Ziel ist es, zu untersuchen, ob diese beiden Aspekte durch ein vielseitiges Management der Kulturpflanzen unterstützt werden können. Dafür wurden Unkraut und Management Daten von Sommergetreideflächen ökologisch wirtschaftender Betriebe in Mecklenburg-Vorpommern über zwei Jahre (2015-2016) erfasst. Die Auswirkungen von lokalen Umwelt- und Management-Faktoren auf die Unkrautgemeinschaften wurden multivariat analysiert und im Anschluss wurden Effekte der Variablen zur Kulturvielfalt separat untersucht. Wir fanden grundlegende Unterschiede in den Einflüssen des kurzfristigen Anbaumanagements, der langfristigen Kulturvielfaltsstrategien und den eher beständigen Standortfaktoren. Während Unkrautdichten vor allem durch direktes Management beeinflusst werden, verändern sich Unkrautartenvielfalt und -gemeinschaften, wenn Maßnahmen der Kulturvielfalt angewendet werden.

Stichwörter: Kanonische Korrespondenzanalyse, Unkrauterfassung, Unkrautgemeinschaften

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). Despite many non-herbicide reduction strategies available and utilized, a total eradication of the weed flora is not to be expected. Nevertheless, a diverse weed community within arable fields increases the ecosystem services of arable fields (MARSHALL et al., 2003). The maintenance of a higher crop diversity prevents the development 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 strategies 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). The PRODIVA project (HOFMEIJER et al., 2016) aims to study the effects of crop diversification strategies to improve weed management

and still maintain a diverse weed flora. This study was conducted within the PRODIVA framework and specifically aimed to research the possible effects of crop diversity strategies on weed communities on farms, thus in practice. We do see that there are many factors of influence on weed communities, such as crop and environment (FRIED et al., 2008; ANDREASEN and SKOVGAARD, 2009; HANZLIK and GEROWITT, 2011) therefore we aim to investigate a multitude of factors, both in management and site, including crop diversity strategies.

This was performed in the German region of Mecklenburg-Vorpommern, with the highest percentage of area under organic production nationwide (BMEL, 2016), which primarily produces organic cereal and beef (LFA, 2017). Like in any other organic arable system, weeds are a perpetual challenge, especially in a region with crop rotations dominated by cereals and grass clover leys.

Our objectives were to: (I) compile an up-to-date list of weed species in organic farming in Mecklenburg-Vorpommern (II) test influence of site and management factors on: total weed density, species and diversity (III) investigate to which extent density and diversity can be influenced through diversified crop management.

Materials and Methods

A weed survey took place on organic farms in the region of Mecklenburg-Vorpommern in Germany. During the two years of this study (2015-2016) 42 spring sown cereal fields were surveyed at the flowering stage of the crop (Stage 61-69 of BBCH scale), after all weed management measures were finished.

Weed data

Fields were sampled for weed densities and –diversity. This was done by estimating the individual density of all weed species found in a subplot of 100 m², with a triple replication in each field. These subplots were located randomly in the field, keeping at least 10 meter distance from the field boundary to avoid edge effects. The density estimation was based on a classification scale, which included 10 density classes, exponentially increasing from 0.2 individuals per m² up to over 200 individuals per m². Each fields was surveyed once, the following year another spring sown cereal field on the same farm was surveyed. Some individuals could only be identified on genus level and therefore are recorded as such. Latin names are based on the Flora Europaea (EURO+MED, 2006) and in the ordination graphs displayed with EPPO-codes (EPPO, 2017).

Explanatory variables

Farmers were questioned on their overall farm management and the management of the surveyed fields. Information was taken on the current crop, preceding crops for the minimum of 5 years back in the rotation, weed management and yield. Soil type and soil quality ('Ackerzahl') were also inquired and subsequently soil samples were taken from the first 25 cm of the surveyed fields to determine nutrient balances. This was done in the summer of 2016. The soil samples were tested for pH, P₂O₅, K₂O, Mg, S and the CN-ratio. Tillage was not considered, due to similar regimes between farms involved.

The explanatory variables, as shown in Table 1 include: 'Crop Present' which were spring sown cereals including barley, bare or under sown with white clover or peas, oats, bare or under sown with white clover or peas or rye-grass mix, summer rye, triticale and summer wheat. 'Preceding crop' included barley, winter barley, rye, bare or under sown with white clover, spelt, alfalfa, triticale, field beans, cabbage, oats, sunflower, winter wheat, grass clover ley mixtures and maize. 'Other Crops' meaning all other crops then cereals and grass clover ley. Rotation diversity was based on the presence and mixture of 'Grass clover', 'Cereal' and 'Other crops' for the previous 5 years in the rotation.

Statistical Analysis: R, Linear Models, Multivariate Models

Firstly, we calculated the total weed density, weed species numbers and Shannon indices of all fields. Then we conducted linear models to the data set, to find relationships between each of the explanatory variables and these total weed and diversity data.

This was followed by a canonical correspondence analysis (CCA) (TER BRAAK, 1986) on the whole data set (42 sampled fields, 94 weed species observed and 25 explanatory variables). Separate CCA's with a single explanatory variable were used to test the Gross Effects of which the significances were tested by permutation test (n=1000). This was followed by the ordination graph from this CCA. For the site conditions a separate dataset was used for the CCA, because from two sites soil nutrient data was missing. Thus, a separate ordination graph expresses these data.

All analyses were carried out using the program R 3.4.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013), making use of the package Vegan.

Tab. 1 Explanatory variables used in linear models and canonical correspondence analysis.

Tab. 1 Erklärungsvariablen im Linearen Model und in der Kanonischen Korrespondenzanalyse.

Variable type	Explanatory variables	Categorical variable - Label	Continuous variable - Unit
Farm	Survey year	2015, 2016	
	Farm type	'Mixed', 'Arable'	
	Organic since	Years under organic management	
Management	Crop present	10 classes	
	Preceding crop	15 classes	
	Seasonal crop sequencing	Dominated by winter or summer crops	
	Yield		tons/ha
	Harrowing	number of	kg/ha
Crop diversity	Seed density		
	Undersown	frequency in 5 years	
	Crop mixtures	frequency in 5 years	
	Catch crop	frequency in 5 years	
	Grass clover	frequency in 5 years	
	Cereals	frequency in 5 years	
	Other crops	frequency in 5 years	
	Rotation diversity	'Low', 'Medium', 'High'	
Site conditions	Soil quality		points
	Sand percentage		%
	Soil pH		
	P205		mg/100g dry matter
	K20		mg/100g dry matter
	Mg		mg/100g dry matter
	N		mg/100g dry matter
	C		mg/100g dry matter
	S		mg/100g dry matter
	CN-ratio		%

Results

Weed species

A total of 94 weed species were found, of which 62% belonged to the group of annuals, 26% to the perennials. 12 species and/or individuals could only be determined on genus level such as hard to identify species like *Vicia* spp and *Rumex* spp or species that were rare such as *Stachys* spp or *Silene* spp. The majority belonged to the dicotyledonous (81%) with the most frequently found

species being: *Myosotis arvensis* (98%), *Capsella bursa-pastoris*, *Chenopodium album*, *Fallopia convolvulus* (all 95%), *Vicia* spp (93%) and *Centaurea cyanus* (90%). The most frequently present monocotyledons were: *Elytrigia repens* (58%), *Equisetum arvense* (53%) and *Apera spica-venti* (38%). Of all annual species 40% were known as spring- and 14% whole year germinating species, and 29% autumn germinators.

Tab. 2 Estimates \pm Standard Error of the effects of the explanatory variables on weed density, species numbers, and Shannon Index. Last column shows the CCA gross effects of the variables on the weed composition. Only significant results are shown.

Tab. 2 Schätzwerte \pm Standardfehler für die Effekte der Erklärungsvariablen auf Unkrautdichte, Artenzahl und Shannon Index. Brutto-Effekte dieser Variablen in der Unkrautartengemeinschaft (CCA-Effekt). Nur signifikante Ergebnisse werden gezeigt.

Explanatory variables	Weed densities	Species numbers	Shannon index	CCA effect
Farm				
Survey year		-3.2 \pm 1.6		
Organic since		0.3 \pm 0.2*		0.036**
Management				
Crop present	(B+Cl) 6239 \pm 3148 (Trit) 3687 \pm 1707* (M) 8295 \pm 2995*	(SR) -13.1 \pm 5.3*	(SR) -0.93 \pm 0.43*	
Preceding crop				
Seasonal crop seq.		(W) 4.2 \pm 1.5**		
Harrowing	-1399 \pm 649*		0.22 \pm 0.08*	
Crop diversity				
Catch crop			0.18 \pm 0.10	0.037*
Grass clover				0.026
Other crops		-2.0 \pm 0.9*	-0.13 \pm 0.08	0.027**
Site conditions				
Soil pH				0.035*
P2O5				
K2O	145 \pm 76		-0.03 \pm 0.01**	0.027*
Mg	-299 \pm 134*		0.04 \pm 0.02*	
S		24.0 \pm 14.1		

P-values associate with linear models outputs. Gross effect was calculated using separate CCAs each with one explanatory variable. P-values associate with permutation tests. *P<0.1, **P<0.05, ***P<0.01. B+Cl = Barley with clover undersown, Trit. = Summer Triticale, M. = Maize, SR = Summer Rye, W = Winter.

Weed density, species numbers and Shannon index

The influences of the explanatory variables were tested individually on weed densities, species numbers and Shannon index of the surveyed weed flora using Linear Models (Table 2). We found that weed densities were positively influenced by Experience, certain crops like barley, triticale and maize in the previous year, and increased concentrations of potassium. However, repeated mechanical weed management and magnesium concentrations brought densities down.

In species numbers we encountered a time effect. They also increased under organic management, adding a new species every three years. A winter crop dominated rotation increases the species numbers in the field as well as increased sulfur concentrations. Summer rye as the present crop and a higher frequency of other crops in the rotation bring species numbers down.

Like species numbers Shannon indices, were negatively affected by the presence of summer rye and other crops and like weed densities, by potassium and magnesium concentrations. However, Shannon indices were positively affected by repeated harrowing and the presence of catch crops in the rotation which both increased weed diversity.

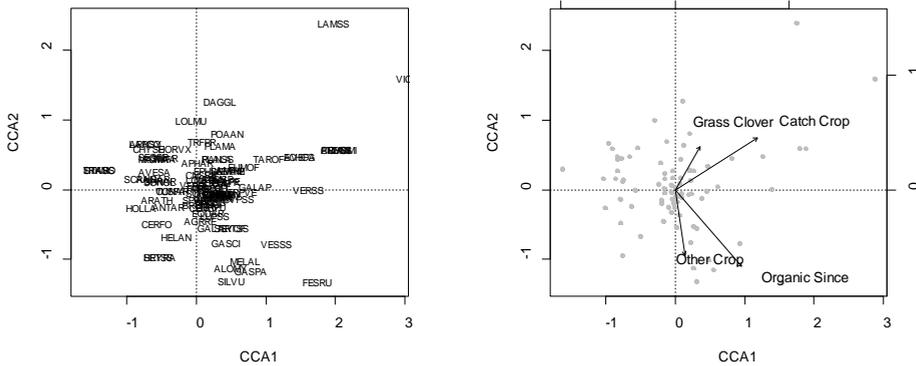


Fig. 1 Ordination plots showing the results of the CCA investigation the impact of the crop diversity variables with significant (<0.1) effects on weed communities; "grass clover frequency", "catch crop frequency", "other crop frequency" and "organic since". In the species ordination, names refer to EPPO codes.

Abb. 1 Ordinationen der Ergebnisse der CCA und die Auswirkungen von Variablen zur Kulturvielfalt mit signifikanten (<0,1) Effekten auf die Unkrautgemeinschaften; „Klee gras-Häufigkeit“, „Zwischenfrucht-Häufigkeit“, „Häufigkeit anderer Feldfrüchte“ und „Ökologisch seit“. Artenamen in der Ordination der Unkrautarten basieren auf EPPO-Codes.

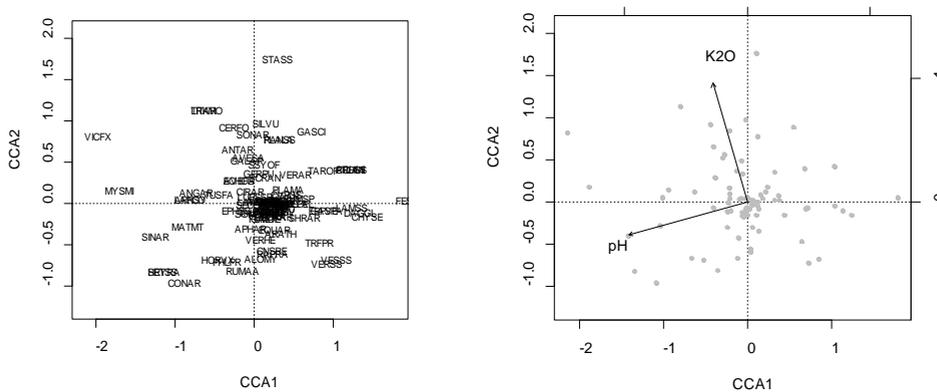


Fig. 2 Ordination plots showing the results of the CCA investigation the impact of the Site conditions variables with significant (<0.1) effects on weed communities; soil pH and K2O. In the species ordination, names refer to EPPO codes.

Abb. 2 Ordinationen der Ergebnisse der CCA und die Auswirkungen von Variablen zu Standortbedingungen mit signifikanten (<0,1) Effekten auf die Unkrautgemeinschaften; „Boden pH“, „K2O“. Artenamen in der Ordination der Unkrautarten basieren auf EPPO-Codes.

Weed community

The permutation test found an influence of organic since, catch crops, grass clover frequency, other crop frequency, pH, and potassium content (Tab. 1). The CCA of the farm/management/crop diversity data set resulted in the ordination shown in Figure 1. The axis of 'Grass Clover' indicated the frequency of grass clover ley used in the rotation which supports monocotyledonous weed species: *Dactylis glomerata*, *Lolium multiflorum* and *Poa annua* and voluntary red clover *Trifolium pratense*. The second axis of 'Catch Crops' related to the family of *Vicia*, often used in cover crop mixtures. The third axis of 'Organic Since' shows the positive influence on species numbers by the increase of the less common weed species: *Silene latifolia* and other members of the *Silene* family. The fourth axis of 'Other Crop' shows a less clear relationship with the weed composition other than

the occurrence of voluntary crop species of “other crops” such as *Lupinus* spp and *Helianthus annuus* which do not occur in rotations that lack the cultivation of these crops. This is however a broad explanatory variable. Most common weed species clustered mostly in the center, seemingly unaffected by researched variables.

The second ordination (Fig. 2) is based on the CCA data set specifically adapted to host the site variables. Here the variables of potassium and pH had a significant effect on the weed composition. The first axis of Potassium appears to relate to species that prefer nutrient rich soils like *Stachys* spp, *Sonchus arvensis* and *Cerastium fontanum*. The second axis of 'pH' associates broadly with species that prefer a light to moderate alkaline soil such as *Sinapis arvensis*, *Matricaria discoidea* and *Setaria* spp.

Discussion

Weed species

The weed species found in the survey reflect the situation of Mecklenburg-Vorpommern and its agricultural system. The most frequent species were spring- or opportunity based emerging, typical for cereal dominated systems and adapted to the local slightly poorer sandy-loam soils. There was also the occurrence of weeds more often associated with grassland systems, such as *Taraxacum officinale*, *Plantago major* and *Rumex acetosella*, possibly because of the frequent cultivation of grass clover leys. *Centaurea cyanus* is typically associated with autumn germination and thus autumn sown cereals, it however occurred in high densities in the surveyed spring sown cereals. This species has increased in the last decade in Mecklenburg-Vorpommern and seems to have adopted a more opportunistic lifestyle.

Weed density, species numbers and Shannon index

The most interesting finding on farm level is the increase of species numbers with a longer time under organic management, reaffirming that organic management does over time indeed support species richness (HALD, 1999). Also promising is that the duration of organic management does not increase weed densities. When we look at management effects, a definite effect of crop present was found, both on densities, where some crops are linked with increased densities, and on diversity level. Here we see an effect of summer rye: although densities were not affected, species richness and diversity responded negatively. Rye crops are described to have allelopathy effects on some weed species (BARNES and PUTMAN, 1986). On the other side: the open nature and late harvest of maize as a precrop seems to increase densities the next year. Other authors also record a high impact of crop and pre-crop (FRIED et al., 2008; HANZLIK and GEROWITT, 2011). Weeding actually decreases weed densities, but stimulates diversity, an effect also reported by ARMENGOT (2013). The harrowing could weed out early dominant species and stimulate a secondary flush of emergence. Thus, direct management has impact on the densities of weeds in the field, but, a much smaller effect on the weed diversity and non on the weed community as a whole.

In contrast, crop diversity strategies had no effects, positive or negative, on densities, but did on species richness and diversity. Catch crops encouraged diversity, but additional other crops in the rotation decreased it. However, high or low rotation diversity showed no influence. This might be unusual, contradicting research (ULBER et al., 2009), but surveyed rotations also tended to be structurally similar.

Again different were the influences of site variables. The concentrations of the soil nutrients potassium, magnesium and sulfur affected both densities and diversity - reflecting the more complex and intricate effects soil nutrient availability has on densities and specific species (ANDREASEN and SKOVGAARD, 2009).

Weed community

If we then look to the CCAs it is promising to find the degree of influence the crop diversity variables have on weed communities. Winter catch crops, grass clover leys and other crops frequency in the rotation all affected the weed population significantly. This however is in stark contrast to the management variables who, with exception for organic since, do not have any effect on the weed composition. In the soil category the variables affecting are pH and potassium, reflecting the effects from the linear models. However, the more common weed species seemed the least affected by the explanatory variables. Therefore, it is of interest to study these effects on species level in future analysis.

To summarize, most fascinating are the shifted effects from densities that react to direct short-term management and diversity resp. communities that reacts to indirect long-term management. The results are both classical and intriguing and beg for further and deeper research, which will take place within the PRODIVA project.

References

- ALROE, 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.
- ANDREASEN, C. and M. SKOVGAARD, 2009: Crop and soil factors of importance for the distribution of plant species on arable fields in Denmark. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **133**(1–2), 61–67.
- ARMENGOT, L., L. JOSÉ-MARÍA, L. CHAMORRO and F.X. SANS, 2013: Weed harrowing in organically grown cereal crops avoids yield losses without reducing weed diversity. *Agronomy for Sustainable Development* **33**(2), 405–411.
- BARBERI, P., 2002: Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed research* **42**(3), 177–193.
- BARNES, J.P. and A.R. PUTMAN, 1986: Evidence for Allelopathy by Residues and Aqueous Extracts of Rye (*Secale cereale*). *Weed Science* **34**(3), 384–390.
- BMEL – BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2016: Referat 516 – Ökologische Landbau, 2016. *Ökologischer Landbau in Deutschland*. BMEL, Bonn.
- BLACKSHAW, R.E., R.L. ANDERSON and D. LEMERLE, 2007: 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.
- TER BRAAK, C.J.F., 1986: Canonical Correspondence Analysis: A New Eigenvector Technique for Multivariate Direct Gradient Analysis. *Ecological Society of America* **67**(5) 1167–1179.
- EPPO – EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION, 2017: EPPO Global Database. <https://gd.epppo.int> [June, 2017]
- Euro+Med – PLANTBASE – THE INFORMATION RESOURCE FOR EURO-MEDITERRANEAN PLANT DIVERSITY, 2006: <http://ww2.bgbm.org/EuroPlusMed> [June, 2017].
- FRIED, G., L.R. NORTON and X. REBOUDA, 2008: Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **128**(1–2), 68–76.
- 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.
- HANZLIK, K. and B. GEROWITT, 2011: The importance of climate, site and management on weed vegetation in oilseed rape in Germany. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **141**(3–4), 323–331.
- HOFMEIJER, M.A.J., B. GEROWITT, J. SALONEN, T. VERWIJST, L. ZARINA and B. MELANDER, 2016: The impact of crop diversification management on weed communities in summer cereals on organic farms in Northern Europe. An introduction to the study. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 452–456.
- LFA – LANDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FISCHEREI MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2017. <http://www.landwirtschaft-mv.de> [September 2017].
- 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.
- 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.
- ULBER, L., H.H. STEINMANN, S. KLIMEK and J. ISSELSTEIN, 2009: An on-farm approach to investigate the impact of diversified crop rotations on weed species richness and composition in winter wheat. *Weed Research* **49**(5), 534–543.

Unkrauttoleranz und Unkrautunterdrückungsvermögen der Blauen Lupine (*Lupinus angustifolius*)

*Weed tolerance and weed-suppressing ability of blue lupin (*Lupinus angustifolius*)*

Charlotte Kling, Herwart Böhm*

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau

*Korrespondierender Autor, herwart.boehm@thuenen.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.042



Zusammenfassung

Im Rahmen des Verbundprojektes LupiBreed wurden 2015 zwei Sorten der Blauen Lupine (endständig: Boruta, verzweigt: Boregine) und 2016 zusätzlich acht Pre-Breedinglinien (zwei endständig, fünf verzweigt, eine intermediär) auf ihre Konkurrenzkraft untersucht. Sortenspezifische Unkrautunterdrückung und Unkrauttoleranz wurde neben den am Standort vorkommenden Unkräutern mit einem Gemenge aus „künstlichen Unkräutern“ (Winterraps, Buchweizen, Phacelia) in zwei Saaddichten erfasst. Weiterhin wurde die Unkrautunterdrückung im Gemengeanbau mit den Partnerkulturen Sommerweizen, Hafer und Leindotter in zwei Saaddichten ermittelt. Die Feldversuche wurden am Standort Trenthorst des Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau in einer Blockanlage mit 3-facher Feldwiederholung angelegt und zur Sprossentwicklung, Blüte und Reife beprobt.

Die Unkrauttoleranz, bewertet anhand des Lupinenertrages, unterschied sich im Jahr 2016 zu allen Beprobungsterminen zwischen den Sorten bzw. Pre-Breedinglinien und war zur Reife zudem vom Unkrautaufkommen abhängig. Ein sortenspezifisches Unkrautunterdrückungsvermögen wurde erst zur Reife festgestellt. Unkrautunterdrückung und Unkrauttoleranz konnten nicht eindeutig auf einen Sortentyp zurückgeführt werden. Insgesamt zeichneten sich Pre-Breedinglinie 1-E, 4-V, 6-V und Boregine-V als konkurrenzstark aus, wobei die Sorteneffekte gering waren.

Durch den Gemengeanbau wurde die Unkraut-Sprossmasse in Abhängigkeit von der Lupinensorte bzw. -Pre-Breedinglinie im Vergleich zur Lupinenreinsaat um 15 bis 80 % verringert. Die unkrautunterdrückende Wirkung ging von der Partnerkultur aus und war in Gemengen mit Leindotter signifikant höher als mit Sommerweizen und Hafer.

Stichwörter: Gemengeanbau, ökologischer Landbau, Sorte, Unkraut, Züchtung

Abstract

In the joint research project LupiBreed in 2015 the competitiveness of two blue lupin varieties (terminated type: Boruta, branched type: Boregine) and in 2016 additionally eight pre-breedinglines (two terminated, five branched, one intermediate) was examined. Variety-specific weed-suppressing ability and weed tolerance were tested with site-specific weeds and a mixture of "artificial weeds" (rapeseed, buckwheat, phacelia) at two sowing densities. Furthermore, weed suppression in mixed cropping systems with spring wheat, oat and false flax at two sowing densities was surveyed. Field trials were carried out at Thünen-Institute of Organic Farming with 3-fold replications. Plots were sampled at stem elongation, flowering and ripeness.

Weed tolerance, measured by means of lupin yield, differed at each sampling between varieties and pre-breedinglines and was dependent on weed infestation at ripeness. Variety-specific weed suppression was only significant at ripeness. Weed tolerance and weed suppression were not distinctive between growth types. In summary, pre-breedingline 1-E, 4-V, 6-V and Boregine-V showed good competitiveness but the effect of the variety was not strong.

Mixed cropping reduced weed biomass dependent of lupin varieties and pre-breedinglines between 15 and 80 % compared to lupin sole cropping. Weed suppression was mainly influenced by partners and was significantly higher in mixed cropping with false flax than with spring wheat and oat.

Keywords: Breeding, mixed cropping, organic farming, variety, weed

Einleitung

Der Ertrag und die Ertragsstabilität von Blauen Lupinen ist bekannterweise durch die geringe Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern eingeschränkt. Dabei stellt die Wahl konkurrenzstarker Sorten eine wichtige und kostengünstige Maßnahme im vorbeugenden Pflanzenschutz dar (ANDREW et al., 2015), welche im Rahmen des Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Nutzung

von Pflanzenschutzmitteln (NAP) als wichtige Zielstellung gefordert wird. Sortenspezifische Konkurrenzskraft wird weltweit für viele Kulturarten beschrieben und diesbezüglich der Sortenwahl bereits seit den 1930er Jahren großes Potenzial zur Implementierung im vorbeugenden Pflanzenschutz zugesprochen (RADEMACHER, 1938; NIEMANN, 2000). Die Züchtung konkurrenzstarker Sorten der Blauen Lupine wurde jedoch in der Vergangenheit zugunsten der Alkaloidarmut und Frühreife vernachlässigt und zudem die genetischen Ressourcen massiv eingeschränkt (GLADSTONES, 1970; BERGER et al., 2013). Daher besteht der Bedarf, entsprechende morphologische Merkmale in die Züchtung von Blauen Lupinen zu integrieren. Wie beispielsweise für Weizen (EISELE, 1992; VERSCHWELE, 1994; LEMERLE et al., 1995) und Erbsen (MCDONALD, 2003; HARKER et al., 2008; SPIES et al., 2011; GRONLE und BÖHM, 2014) mehrfach belegt, spielt dabei der Wuchstyp eine entscheidende Rolle, der sich bei Blauen Lupinen vor allem in endständige und verzweigte Sortentypen unterscheiden lässt. Sortenspezifische Konkurrenzkraft ist zudem differenziert nach Unkrauttoleranz und Unkrautunterdrückungsvermögen zu betrachten (VERSCHWELE, 2014). Unkrauttoleranz bedeutet, dass die Kultur dem hemmenden Wuchs des Konkurrenten widerstehen kann, ohne Ertrag einzubüßen (GOLDBERG, 1990); Unkrautunterdrückung benennt die Fähigkeit einer Kultur, den Wuchs des Konkurrenten zu hemmen (HANSEN et al., 2008).

Neben der Sortenwahl kann der Gemengeanbau von Körnerleguminosen mit einer nicht-legumen Partnerkultur einen entscheidenden Beitrag zur Unkrautunterdrückung leisten (LIEBMAN und DYCK, 1993; HAUGGAARD-NIELSEN et al., 2008; ŠARUNAITĖ et al., 2010). Dieser Effekt ist im Gemengeanbau von Blauen Lupinen durch ihre geringe Konkurrenzkraft gegenüber der Partnerkultur jedoch eingeschränkt (BÖHM et al., 2008a). Daher gilt es, verloren gegangenes Erfahrungswissen in Bezug auf die Wahl der Sorten bzw. Sortentypen, der Partnerkulturen und der Saaddichte wieder zu generieren.

Material und Methoden

In 3-jährigen Feldversuchen (2015-2017) wird die Konkurrenzkraft von Blauen Lupinen gegenüber Unkräutern und Mischungspartnern im Gemengeanbau untersucht.

Im ersten Projektjahr wurde ein Prüfsystem mit zwei Sorten der Blauen Lupine, Boruta (Boruta-E, endständig, 130 keimfähige Körner (kFK) m⁻²) und Boregine (Boregine-V, verzweigt, 100 kFK m⁻²) erarbeitet (BÖHM, 2016). Dieses wird in zwei Folgejahren mit zusätzlich acht Pre-Breedinglinien (PBL) (zwei endständig (E), fünf verzweigt (V), eine intermediär (E/V), 100 kFK m⁻²) angewandt, die in einem Mutageneseprogramm des Julius Kühn-Instituts aus den Sorten Boruta und Boregine entwickelt wurden (RUDOLFF, 2011; RUGE-WEHLING et al., 2016). Die Feldversuche wurden am Standort Trenthorst des Thünen-Institut für Ökologischen Landbau (sandiger Lehm, pH 6,7, 696 mm Ø Niederschlag, 9 °C Jahresdurchschnittstemperatur) in einer Blockanlage mit 3-facher Feldwiederholung angelegt.

Zur Erfassung der sortenspezifischen Konkurrenzkraft in Bezug auf Unkrauttoleranz und Unkrautunterdrückungsvermögen wurden neben den am Standort vorkommenden Unkräutern zwei weitere Szenarien mit abgestuft höherem Unkrautauftreten durch die gezielte Etablierung von „künstlichen Unkräutern“ (KU) in den Versuchsaufbau integriert. Die KU bestanden aus einem Gemenge mit gleichen Anteilen (bezogen auf die Anzahl keimfähiger Körner m⁻²) Winterraps, Buchweizen und Phacelia in zwei unterschiedlich hohen Saaddichten (60 und 120 kFK m⁻²). Diese wurden den unkrautfreien Kontrollvarianten (ohne UN) und den Reinsaaten mit den am Standort vorkommenden Unkräutern (mit UN) gegenübergestellt. Zur Erfassung der Unkrautunterdrückung wurde die Gesamt-Unkrautprossmasse als Summe aus „künstlichen Unkräutern“ und den am Standort vorkommenden Unkräutern verrechnet.

Die Konkurrenzkraft im Gemengeanbau wurde anhand der Partnerkulturen Sommerweizen (SW), Hafer (HA) und Leindotter (LD) in zwei im Vergleich zur Reinsaat reduzierten Saaddichten (SW, HA 60 und 120 kFK m⁻², LD 200 und 400 kFK m⁻²) untersucht. Die Blauen Lupinen wurden im Gemenge in 100 % Reinsaadichte ausgebracht. Als Kontrolle dienten die Reinsaaten aller Kulturen mit den am Standort vorkommenden Unkräutern.

Die Parzellen wurden zu den Terminen Sprossentwicklung (0,5 m²), Blüte (0,5 m²) und Reife (1 m²) der Blauen Lupinen per Hand beprobt und die oberirdische Biomasse bzw. der Kornertrag getrennt nach Lupinen, Partnern bzw. KU und am Standort vorkommendem Unkraut bestimmt. Zur Beurteilung der Unkrautunterdrückung im Gemenge wurde die relative Unkrautbiomasse im Vergleich zur Lupinenreinsaat berechnet.

Zur Auswertung der Daten wurden mit dem Programm SAS (Version 9.4) zwei- bzw. dreifaktorielle Varianzanalysen (ANOVA) durchgeführt und bei signifikanten Haupt- und Wechselwirkungen ($p < 0,05$) multiple Mittelwertvergleiche (Tukey-Test, $\alpha = 5\%$) abgeschlossen.

Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die Hauptfaktoren des Untersuchungsjahres 2016 zur sortenspezifischen Konkurrenzkraft der Lupinen in Bezug auf ihr Unkrautunterdrückungsvermögen (Tab. 1) und ihre Unkrauttoleranz (Tab. 2) zu den Beprobungsterminen Sprossentwicklung, Blüte und Reife aufgeführt. Beim Lupinenkornertrag trat eine Wechselwirkung für Lupine x Unkraut auf, welche in Abbildung 1 dargestellt ist. Die Unkrautunterdrückung im Gemenge wird anhand der relativen Unkrautbiomasse zur Reife veranschaulicht (Abb. 2).

Sortenspezifische Konkurrenzkraft

Durch den Einsatz von „künstlichen Unkräutern“ konnten unterschiedliche Konkurrenzsituationen simuliert werden. Dabei nahm die Unkrautbiomasse zu allen Beprobungsterminen in den Varianten mit dem am Standort vorkommenden Unkräutern zu den Varianten mit „künstlichen Unkräutern“ in geringer Saatchichte und den Varianten mit „künstlichen Unkräutern“ in hoher Saatchichte zu (Tab. 1). Insgesamt war das natürliche Unkrautauflkommen im Untersuchungsjahr 2016 gering und unterschied sich kaum zwischen den Beprobungsterminen zur Blüte und Reife.

Ein sortenspezifisches Unkrautunterdrückungsvermögen wurde erst zur Reife festgestellt, wobei PBL 6-V, PBL 7-V und PBL 8-V am konkurrenzstärksten waren, gefolgt von der verzweigten Referenzsorte Boregine-V (Tab. 1). Dem gegenüber wiesen die endständige Referenzsorte Boruta-E sowie PBL 1-E, PBL 3-E und PBL 2-E/V eine signifikant höhere Unkrautbiomasse auf und waren somit konkurrenzschwächer. Sie unterschieden sich jedoch nicht signifikant von den zwei verzweigten Pre-Breedinglinien PBL 4-V und PBL 5-V.

Die Unkrauttoleranz unterschied sich zu allen Beprobungsterminen zwischen den Sorten bzw. Pre-Breedinglinien (Tab. 2) und stand zur Reife außerdem in Abhängigkeit zum Unkrautauflkommen (Abb. 1). Zur Sprossentwicklung und Blüte verringerte sich der oberirdische Biomasseaufwuchs der Lupinen signifikant mit steigendem Unkrautauflkommen (Tab. 2).

Zum Termin der Sprossentwicklung zeigten Boruta-E und PBL 8-V die höchsten Lupinen-Biomasseaufwüchse gefolgt von PBL 6-V, Boregine-V und die Pre-Breedinglinien PBL 1-E, PBL 2-E/V, PBL 4-V, PBL 5-V und PBL 7-V wiesen zu diesem Termin die geringsten Biomasseaufwüchse auf. Zum zweiten Beprobungstermin zeigte wiederum PBL 8-V die höchsten Biomasseaufwüchse, die nun aber auf einem Niveau mit PBL 6-V und Boregine-V lagen. PBL 4-V, aber auch PBL 7-V und PBL 1-E sowie Boruta-E wiesen zur Blüte ebenfalls höhere Biomasseaufwüchse auf. Am geringsten war die Biomasse von PBL 3-E, gefolgt von PBL 2-E/V.

Tab. 1 Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m⁻² TS] des Unkrautes zu den Beprobungsterminen Sprossentwicklung, Blüte und Reife in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine-V, Boruta-E, Pre-Breedinglinie [PBL] 1 bis 8) und Unkraut (mit natürlichem Unkraut [mit UN] sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatkichte [KU_SD1] und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saatkichte [KU_SD2]). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test, p < 0,05).

Tab. 1 Aboveground biomass [g m⁻² TS] of weeds at the sampling dates stem elongation, flowering and ripeness dependent on the factors lupin (Boregine-V, Boruta-E, pre-breedingline [PBL] 1 to 8) and weeds (with site-specific weeds [mit UN], with "artificial weeds" at lower sowing density [KU_SD1] and higher sowing density [KU_SD2]). Different letters refer to significant differences (Tukey-Test, p < 0.05).

		Unkraut-Biomasse [g m ⁻² TS] zu den Entwicklungsstadien der Lupinen					
		Sprossentwicklung		Blüte		Reife	
Lupine	Boregine-V	116,27	n.s.	130,67	n.s.	138,86	ab
	Boruta-E	110,91	n.s.	139,76	n.s.	176,70	c
	PBL 1-E	132,38	n.s.	137,09	n.s.	169,59	c
	PBL 2-E/V	121,38	n.s.	148,78	n.s.	184,98	c
	PBL 3-E	129,60	n.s.	163,31	n.s.	182,62	c
	PBL 4-V	111,29	n.s.	157,61	n.s.	165,61	bc
	PBL 5-V	119,27	n.s.	152,07	n.s.	160,49	bc
	PBL 6-V	126,96	n.s.	130,67	n.s.	116,09	a
	PBL 7-V	109,64	n.s.	129,33	n.s.	116,68	a
Unkraut	mit Unkraut	38,80	a	50,49	a	53,85	a
	KU_SD1	144,36	b	170,83	b	188,33	b
	KU_SD2	176,18	c	204,14	c	218,13	c

Tab. 2 Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m⁻² TS] der Lupinen zu den Beprobungsterminen Sprossentwicklung und Blüte sowie deren Kornertrag [g m⁻² TS] zur Reife in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine-V, Boruta-E, Pre-Breedinglinie [PBL] 1 bis 8) und Unkraut (ohne natürliches Unkraut [ohne UN], mit natürlichem Unkraut [mit UN] sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saatkichte [KU_SD1] und in hoher Saatkichte [KU_SD2]). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test, p < 0,05). 1) ausgewiesene Wechselwirkungen: dargestellt in Abb. 1.

Tab. 2 Aboveground biomass [g m⁻² TS] of lupins at the sampling dates stem elongation and flowering as well as kernel yield [g m⁻² TS] of lupins at ripeness dependent on the factors lupin (Boregine-V, Boruta-E, pre-breedingline [PBL] 1 to 8) and weeds (without site-specific weeds [ohne UN], with site-specific weeds [mit UN], with "artificial weeds" at lower sowing density [KU_SD1] and higher sowing density [KU_SD2]). Different letters refer to significant differences (Tukey-Test, p < 0.05). 1) declared interdependencies: shown in Fig. 1.

		Lupinen Oberirdischer Biomasseaufwuchs [g m ⁻² TS]				Kornertrag [g m ⁻² TS]	
		Sprossentwicklung		Blüte		Reife	
Lupine	Boregine-V	303,73	a	976,55	d	428,17	1)
	Boruta-E	343,53	c	838,38	bc	354,80	1)
	PBL 1-E	298,98	a	830,78	bc	390,55	1)
	PBL 2-E/V	286,15	a	779,00	ab	379,97	1)
	PBL 3-E	311,38	ab	721,68	a	348,42	1)
	PBL 4-V	307,47	a	873,81	c	391,33	1)
	PBL 5-V	306,55	a	789,48	abc	404,49	1)
	PBL 6-V	341,27	bc	976,10	d	382,72	1)
	PBL 7-V	308,57	a	818,70	bc	277,53	1)
Unkraut	PBL 8-V	350,93	c	1046,28	d	282,55	1)
	ohne UN	381,73	d	1011,98	d	453,76	1)
	mit UN	357,46	c	951,61	c	411,92	1)
	KU_SD1	278,75	b	785,82	b	311,41	1)
	KU_SD2	245,49	a	710,91	a	279,13	1)

Zur Reife war der Lupinenkornertag vom Unkrautauftreten abhängig, wobei die Sorten bzw. Pre-Breedinglinien unterschiedlich tolerant reagierten (Abb. 1). Im Vergleich der Unkrautvarianten innerhalb einer Sorte bzw. Pre-Breedinglinie zeigten viele Pre-Breedinglinien (PBL 1-E, PBL 2-E/V, PBL 3-E, PBL 4-V, PBL 5-V und PBL 7-V) eine signifikante Ertragsminderung zwischen den Varianten ohne und mit am Standort vorkommendem Unkraut zu den Varianten mit „künstlichem Unkraut“ unabhängig von der Saattiefe. Der Unterschied zwischen dem Lupinenkornertag in Beständen ohne und mit am Standort vorkommendem Unkraut war nur für Boruta-E und PBL 6-V signifikant, wobei für PBL 6-V keine weiteren signifikanten Ertragsunterschiede bei steigendem Unkrautauftreten festzustellen waren. Boregine-V zeigte zudem eine signifikante Ertragsminderung bei steigender Saattiefe des „künstlichen Unkraut“. Im Vergleich der Kornertäge zwischen den Sorten bzw. Pre-Breedinglinien innerhalb der Unkrautvariante ohne am Standort vorkommende Unkräuter waren Boregine-V und PBL 5-V am ertragsstärksten, unterschieden sich jedoch nur von PBL 3-E, PBL 6-V, PBL 7-V und PBL 8-V signifikant. Mit den am Standort vorkommenden Unkräutern zeigte wiederum Boregine-V die höchsten Kornertäge, gefolgt von PBL 1-E, PBL 4-V und PBL 5-V. In den Varianten mit „künstlichem Unkraut“ hingegen war PBL 6-V am ertragsstärksten, wobei die Unterschiede im Vergleich zu Boregine-V, PBL 1-E und PBL 4-V nicht signifikant waren. PBL 7-V und PBL 8-V waren in allen Unkrautvarianten am ertragschwächsten.

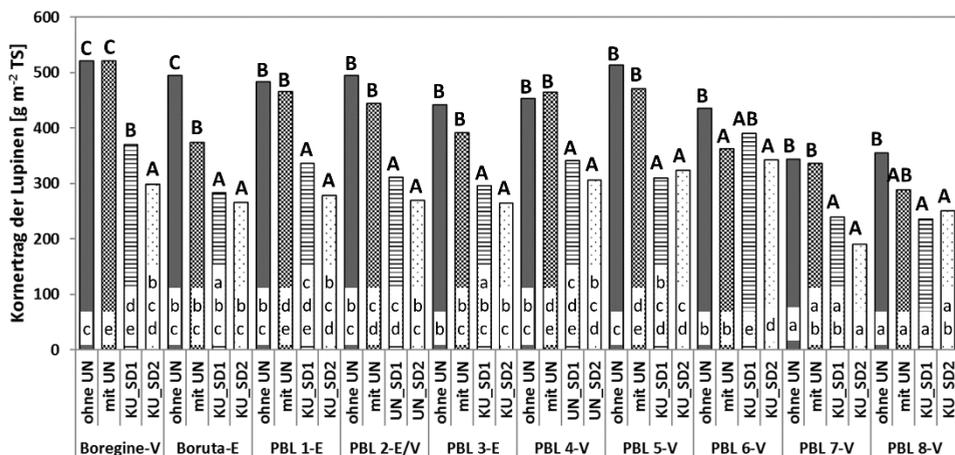


Abb. 1 Kornertag [g m^{-2} TS] der Lupinensorten bzw. Pre-Breedinglinien [PBL] zur Reife in Abhängigkeit der Unkrautvarianten ohne am Standort vorkommenden Unkräutern [ohne UN], mit am Standort vorkommenden Unkräutern [mit UN] sowie mit „künstlichem Unkraut“ in niedriger Saattiefe [KU_SD1] und mit „künstlichem Unkraut“ in hoher Saattiefe [KU_SD2]. Verschieden große Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Unkrautvarianten innerhalb der jeweiligen Lupinensorte bzw. -PBL, verschieden kleine Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der Lupinensorte bzw. -PBL innerhalb einer Unkrautvariante (Tukey-Test, $p < 0,05$).

Fig. 1 Kernel yield [g m^{-2} TS] of lupin varieties and pre-breeding lines [PBL] at ripeness dependent on weed variables without site-specific weeds [ohne UN], with site-specific weeds [mit UN], with "artificial weeds" at lower sowing density [KU_SD1] and higher sowing density [KU_SD2]. Different capital letters refer to significant differences between weed variables within the lupin varieties and PBL, different lowercase letters refer to significant differences of lupin varieties and PBL within the weed variables (Tukey-Test, $p < 0.05$).

Unkrautunterdrückung im Gemengeanbau

Der Gemengeanbau mit Lupinen zeigte in allen Varianten eine unkrautunterdrückende Wirkung im Vergleich zur Lupinenreinsaat (Abb. 2). In Abhängigkeit von der Lupinensorte bzw. -Pre-Breedinglinie wurde die Unkrautbiomasse zur Reife um 15 % (PBL 6-V) bis 80 % (Boruta-E) verringert. Die Ausprägung der Gemengewirkung war dabei nicht eindeutig auf die verzweigten

bzw. endständigen Sortentypen zurückzuführen. Da keine Wechselwirkungen auftraten, hatten alle Partnerkulturen einen gleichgerichteten Einfluss auf die Lupinensorten bzw. –Pre-Breedinglinien. Einen deutlichen Einfluss hatten die Wahl des Gemengepartners sowie die Saatkichte des Gemengepartners. In Gemengen mit Leindotter war die relative Unkrautbiomasse signifikant geringer als in Gemengen mit Sommerweizen und Hafer. Zusätzlich wurde die unkrautunterdrückende Gemengewirkung bei steigender Saatkichte der Partnerkulturen signifikant erhöht.

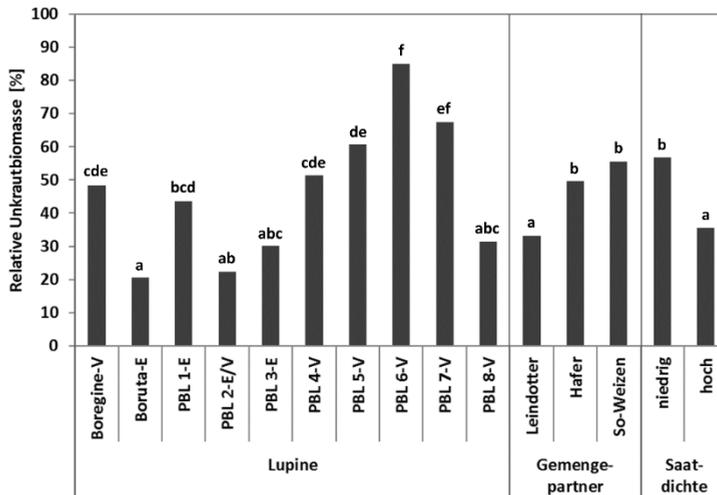


Abb. 2 Relative Unkrautbiomasse [%] der Lupinengemenge im Vergleich zur Lupinenreinsaat zur Reife in Abhängigkeit der Faktoren Lupine (Boregine-V, Boruta-E, Pre-Breedinglinie [PBL] 1 bis 8), Partner und Saatkichte. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test, $p < 0,05$).

Fig. 2 Relative weed biomass [%] of mixed cropped lupins compared to lupin sole cropping at ripeness dependent on the factors lupin (Boregine-V, Boruta-E, pre-breedingline [PBL] 1 to 8), partner and sowing density. Different letters refer to significant differences (Tukey-Test, $p < 0.05$).

Diskussion

Nach den vorliegenden Ergebnissen kann nicht eindeutig von dem Sortentyp auf das Unkrautunterdrückungsvermögen und die Unkrauttoleranz geschlossen werden, wie auch BÖHM et al. (2008b) für den Lupinenertrag von 4 endständigen und 11 verzweigten Sorten belegen. In Bezug auf die Unkrautunterdrückung beschreiben BÖHM und AULRICH (2011) hingegen eine tendenzielle Überlegenheit der verzweigten Sortentypen und betonen den Standort- und Witterungseinfluss.

Insgesamt zeigte Pre-Breedinglinie 6-V die höchste Unkrauttoleranz bei hohem Unkrautauftreten und gleichzeitig ein gutes Unkrautunterdrückungsvermögen durch starkes vegetatives Wachstum. Bei geringem Unkrautauftreten (am Standort vorkommende Unkräuter: mit UN) wurde Pre-Breedinglinie 6-V jedoch von Pre-Breedinglinie 1-E und 4-V im Kornertrag übertroffen, die wiederum ein geringeres Unkrautunterdrückungsvermögen und eine langsamere Jugendentwicklung aufwiesen. Unter den Referenzsorten fiel Boregine-V mit guten unkrautunterdrückenden Eigenschaften auf. Dabei erbrachte sie zwar die höchsten Kornerträge bei geringem Unkrautauftreten, wies jedoch auch die geringste Unkrauttoleranz bei steigendem Unkrautauftreten zur Reife auf. Zur Sprossentwicklung war der oberirdische Biomasseaufwuchs von Boregine-V allerdings im Vergleich zu Boruta-E signifikant geringer. Dies könnte auch durch die höhere Saatkichte von Boruta-E (130 kfK m^{-2}) im Vergleich zu Boregine-V (100 kfK m^{-2}) begründet sein. Im ersten Untersuchungsjahr 2015 zeigte Boregine-V jedoch höhere

Biomasseaufwüchse als Botura-E zur Sprossentwicklung und zur Blüte (BÖHM, 2016). Es bleibt daher zu untersuchen, ob Boregine-V auch bei höherem Unkrautauflkommen zur Jugendentwicklung ertragsstark ist. Zusammenfassend wurden PBL 1-E, 4-V und 6-V als konkurrenzstarke Pre-Breedinglinien identifiziert, die zur weiteren Züchtung empfohlen werden. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die Leistung der endständigen Pre-Breedinglinien (z.B. PBL 1-E) aufgrund der geringeren Saatchichten im Vergleich zur praxisüblichen Saatchichte von Boruta-E unterschätzt wurde. Insgesamt waren die Unterschiede im Unkrautunterdrückungsvermögen und Ertrag zwischen den konkurrenzstärksten Sorten und Pre-Breedinglinien gering.

Die unkrautunterdrückende Wirkung des Gemengeanbaus von Körnerleguminosen mit Getreide- und Ölsaatenpartnern ist in der Literatur vielfach belegt (LIEBMAN UND DYCK, 1993; AUFHAMMER, 1999) und konnte in den Ergebnissen entsprechend auch für Blaue Lupinen bestätigt werden. Innerhalb der Sortentypen bestanden Variationen in der Ausprägung der Gemengewirkung, was sich auch in der Ertragsleistung widerspiegelt (KLING und BÖHM, 2017). Generell hatte der Gemengeanbau geringere unkrautunterdrückende Effekte bei Sorten bzw. Pre-Breedinglinien mit einer hohen Konkurrenzskraft in Reinsaat (z.B. PBL 6-V). Im Vergleich zum ungerichteten Sorteneffekt wurde anhand der signifikanten Unterschiede zwischen den Saatchichten der Partnerkulturen deutlich, dass die unkrautunterdrückende Wirkung im Gemenge von der Partnerkultur ausgeht. Wie auch von PAULSEN et al. (2007) belegt, zeigte Leindotter ein gutes Unkrautunterdrückungsvermögen im Gemenge mit Blauer Lupine. Entsprechend könnten Lupinensorten bzw. Pre-Breedinglinien mit einer hohen Toleranz gegenüber Unkraut und den Partnerkulturen besonders für den Gemengeanbau geeignet sein.

Im Untersuchungsjahr 2016 lag das Unkrautauflkommen, insbesondere aufgrund der günstigen Witterungsverhältnisse, auf einem insgesamt geringen Niveau, weshalb die Ergebnisse im Folgejahr überprüft werden müssen.

Danksagung

Die Förderung des Vorhabens (FKZ 2814EPS007) erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie.

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 Res* **553**, 239-248.
- AUFHAMMER, W., 1999: Mischanbau von Getreide- und anderen Körnerfruchtarten: Ein Beitrag zur Nutzung von Biodiversität im Pflanzenbau. Hohenheim, Stuttgart, Ulmer.
- BERGER, J.D., J.C. CLEMENTS, M.N. NELSON, L.G. KAMPHUIS, K.B. SINGH und B. BUIRCHELL, 2013: The essential role of genetic resources in narrow-leaved lupin improvement. *Crop Pasture Science* **64**, 361-373.
- BÖHM, H., 2016: Entwicklung eines Prüfsystems zur Erfassung und Bewertung der Unkraut unterdrückenden Wirkung für Blaue Lupinen. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 464-470.
- BÖHM, H., A. BRAMM, K. AULRICH und G. RÜHL, 2008a: Effect of different sowing densities in mixed cultivation of blue lupin (*Lupinus angustifolius*) with spring crops on yield and quality. In: Palta, J.A., J.D. Berger (eds): *Lupins for Health and Wealth - Proceedings of the 12th International Lupin Conference*, Fremantle, Western Australia. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand, pp 42-46.
- BÖHM, H., A. BRAMM, K. AULRICH und G. RÜHL, 2008b: Yield and predicted feed quality of different German cultivars of blue lupins (*Lupinus angustifolius*). In: Palta, J.A. und J.D. Berger (eds): *Lupins for Health and Wealth - Proceedings of the 12th International Lupin Conference*, Fremantle, Western Australia. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand, pp 118-122.
- 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. In: Naganowska, B., P. Kachlicki P, B. Wolko (eds): "Lupin crops: an opportunity for today, a promise for the future" – *Proceedings of the 13th International Lupin Conference*, 6-10 June 2011, Poznan, Poland, pp 144-148.
- EISELE, J.-A., 1992: Sortenwahl bei Winterweizen im Organischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung der morphologisch bedingten Konkurrenzskraft gegenüber Unkräutern. Bonn, Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, Dissertation.

- GLADSTONES, J.S. 1970: Lupins as crop plants. *Field Crop Abstracts* **23**, 123-148.
- GOLDBERG, D., 1990: Components of resource competition in plant communities. In: GRACE, J.B., D. TILMAN (eds): *Perspectives in Plant Competition*. San Diego, CA, USA: Academic Press, pp 27-49.
- GRONLE, A. und H. BÖHM, 2014: Untersuchungen zur Unkrautunterdrückung in Rein- und Mischfruchtbeständen von Wintererbsen unterschiedlichen Wuchstyps. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 431-440.
- HANSEN, P.K., K. KRISTENSEN und J. WILLAS, 2008: A weed suppressive index for spring barley (*Hordeum vulgare*): varieties. *Weed Research* **48**, 225-236.
- HARKER, K.N., G.W. CLAYTON und R.E. BLACKSHAW, 2008: Comparison of leafy and semileafless pea for integrated weed management. *Weed Technology* **22**, 124-131.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., B. JØRNSGAARD, J. KINANE und E.S. JENSEN, 2008: Grain legume-cereal intercropping: the practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renew Agr Food Syst* **23**(01), 3-12.
- KLING, C. und H. BÖHM, 2017: Ertragsleistung und Unkrautunterdrückungsvermögen von Blauen Lupinen (*Lupinus angustifolius*) im Gemenge mit ausgewählten Partnern und Saaddichten. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **29**, 26-27.
- LEMERLE, D., B. VERBEEK und N. COOMBES, 1995: Losses in grain yield of winter crops from *Lolium rigidum* competition depend on crop species, cultivar and season. *Weed Research* **35**, 503-509.
- LIEBMAN, M. und E. DYCK, 1993: Crop-Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management. *Ecol Appl* **31**, 92-122.
- MCDONALD, G.K., 2003: Competitiveness against grass weeds in field pea genotypes. *Weed Research* **43**, 48-58.
- 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 Völkenrode SH* **309**, 81-95.
- RADEMACHER, B., 1938: Gedanken zur Fortentwicklung der Unkrautbekämpfung im Getreide. *Pflanzenbau* **14**, 449-465.
- RUDLOFF, E., 2011: EMS-induced mutants – a valuable genetic pool for the breeding of narrow-leafed sweet lupin (*Lupinus angustifolius* L.). In: NAGANOWSKA P., P. KACHLUICKI, B. WOLKO (eds) *Lupin crops: an opportunity for today, a promise for the future*. Proceedings of the 13th International Lupin Conference, 6 – 10 June 2011, Poznań, Poland, pp 92–98.
- RUGE-WEHLING, B., K. FISCHER, S. ROUX, R. DIETRICH, P. WINTER, B. RÖTTER und P. WEHLING, 2016: Erhöhung der Ertragsstabilität und Ertragsleistung der Süßlupine zur Sicherung der einheimischen Eiweißversorgung. In: BMEL, BLE (eds) *Kongress "Hülsenfrüchte - Wegweiser für eine nachhaltigere Landwirtschaft"*, 3. und 4. November 2016, Berlin, pp 33-34.
- ŠARŪNAITĖ, L., I. DEVEIKYTĖ und Ž. KADŽIULIENĖ, 2010: Intercropping spring wheat with grain legume for increased production in an organic crop rotation. *Žemdirbystė Agriculture* **97**, 51-58.
- SPIES, J.M., T.D. WARKENTIN und S.J. SHIRTLIFFE, 2011: Variation in Field Pea (*Pisum sativum*): Cultivars for Basal Branching and Weed Competition. *Weed Science* **59**, 218-223.
- VERSCHWELE, A., 1994: Sortenspezifische Kulturkonkurrenz bei Winterweizen als begrenzender Faktor für das Unkrautwachstum. Göttingen, Georg-August-Universität Göttingen, Dissertation.
- VERSCHWELE, A., 2014: Unkrautunterdrückung und Unkrauttoleranz bei Weizensorten - relevante Eigenschaften für den integrierten Pflanzenschutz. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 465-474.

Effect of different soil cultivation methods on the emergence of *Apera spica-venti*

Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Auflauf von Apera spica-venti

Jürgen Schwarz

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow
juergen.schwarz@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.043



Abstract

Minimum tillage, i.e. without plowing the soil, is practiced on about 40% of the arable fields in Germany. The effects on the long run of this soil cultivation are investigated in a long-term field trial. Since autumn 2007 two different soil cultivation methods are investigated in a long-term field trial, among other things, for the emergence of *Apera spica-venti* before herbicide control. The experimental fields are located in Germany, in the federal state of Brandenburg, about 50 km from Berlin. The crop rotation consists of winter oilseed rape, winter wheat, winter rye, winter barley, winter triticale, peas and maize. The plots were treated with herbicide since the start of the field trial in 1995. Weeds were counted before herbicide application in autumn or spring. For each plot 4 points with an area of 0.25 m² were investigated and both weed number and species were determined.

The results show that the median of *Apera spica-venti* plants spans from 9 (year 2013) to 55 (2010) plants per m² in cereals crop plots with plowing. For the plots without plowing the median ranges between 18 (2009) and 140 (2017) *Apera spica-venti* plants per m². In plots without plowing the numbers of emerging *Apera spica-venti* plants has been rising since the year 2007.

Keywords: *Apera spica-venti*, long-term field trial, loose silky-bentgrass, tillage

Zusammenfassung

Auf ca. 40 % der Ackerfläche in Deutschland wird die pfluglose Bodenbearbeitung angewandt. In einem Dauerfeldversuch werden die langfristigen Auswirkungen dieser nichtwendenden Bodenbearbeitung auf den Unkrautauflauf untersucht. Seit dem Herbst 2007 werden dazu die Wirkungen von zwei unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten, neben anderen Faktoren, auf den Auflauf von Windhalm (*Apera spica-venti*) in einem Langzeitversuch untersucht. Die Versuchsfelder sind in Brandenburg, ca. 50 km entfernt von Berlin, beheimatet.

Die Fruchtfolge des Versuchs besteht aus Winterraps, Winterweizen, Wintergerste, Wintertriticale, Erbsen und Mais. Die hier betrachteten Versuchspartellen wurden seit Versuchsbeginn 1995 mit Herbiziden behandelt. Der Unkrautauflauf, die Anzahl und Art, wurde vor der Herbizidbehandlung (im Herbst oder Frühjahr) in jeder Versuchspartelle an 4 Punkten mit jeweils 0,25 m² gezählt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Anzahl der Windhalmpflanzen im Median bei den Getreideversuchspartellen in den gepflügten Varianten zwischen 9 (2013) und 55 (2010) Pflanzen/m² lag. In den pfluglosen Versuchspartellen lag der Median zwischen 18 (2009) und 140 (2017) Windhalmpflanzen je m². In den pfluglosen Versuchspartellen steigt die Anzahl der keimenden *Apera spica-venti* Pflanzen seit 2007 an.

Stichwörter: *Apera spica-venti*, Bodenbearbeitung, Dauerfeldversuch, Windhalm

Introduction

Minimum tillage, i.e. mainly without plowing the soil, is practiced on about 40% of the arable fields in Germany (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011). There are some advantages of minimum tillage like the reduction of energy consumption (SCHWARZ, 2013) and with that a lower production of greenhouse gases. The risk of soil erosion is also reduced.

As always in life there are some disadvantages. Problems with animals, mice and slugs can be observed. As a main disadvantage the increase of monocotyledonous weeds is usually described (AMANN, 1991; DITTMANN, 2012). In order to answer the question whether there is an upper limit on the number of the monocotyledonous weeds, this was investigated in a long-term field trial.

Materials and Methods

The experimental fields of the Julius Kühn-Institute are located in Dahnsdorf. The experimental site is situated in southern Brandenburg (52.108494 N, 12.636338 E), so called "Hoher Fläming", near the town of Bad Belzig. The soil is a loamy sand soil with 57.9% sand, 37.5% silt and 4.6% clay; the pH is 5.8. The average annual temperature and mean annual precipitation (weather station on the field) is 9.4 °C and 597 mm (1997 – 2016); with prolonged dry periods at early summer.

The long-term field trial started in the year 1995, since autumn 2007 two different soil cultivation methods are investigated. One cultivation method is done with a plough (inversion tillage), the other with a field cultivator (non-inversion tillage).

Only the plots that were treated with herbicides since start of the field trial in 1995 are investigated for this paper. For this calculation, no distinction between the two different crop rotations (till 2007) and the two different plant protection strategies was made. The herbicide treatment for the two soil cultivation methods was the same, except for the use of Glyphosate on stubble in some years and for some crops only in plots with non-inversion tillage.

Before herbicide treatment took place, the weeds were recorded for each plot at 4 different points with an area of 0.25 m² each. Both weed number and species were determined..

To receive better results, the values for all cereals were combined. With this averaging calculation, the number of plots is increased and the reliability of the results is improved.

Results

The results for the emergence of *Apera spica-venti* are shown in Figure 1 and 2. Figure 1 shows the results for the plots with inversion tillage and Figure 2 the results with non-inversion tillage. The results are shown as box plots with the upper and lower quartiles, the mean and the median. In order to be able to compare the *Apera spica-venti* values of the different soil cultivations, the axis values were adjusted for both figures.

As shown in Figure 1, since 2011 the emergence of *Apera spica-venti* ranged between a median of 9 and 24. The upper quartiles, i.e. 75% of the values, are not above 40 plants/m². The maximum value was 189 plants/m² *Apera spica-venti*.

For the plots with non-inversion tillage (Fig. 2), there are higher values for the emergence of *Apera spica-venti*. Since 2011, the median for each year was higher than for the plough plots. Moreover, the range of *Apera spica-venti* plant numbers was distinctly wider. For 4 years, the upper quartile extended the number of 100 *Apera spica-venti* plants/m². The maximum value was 1029 plants/m².

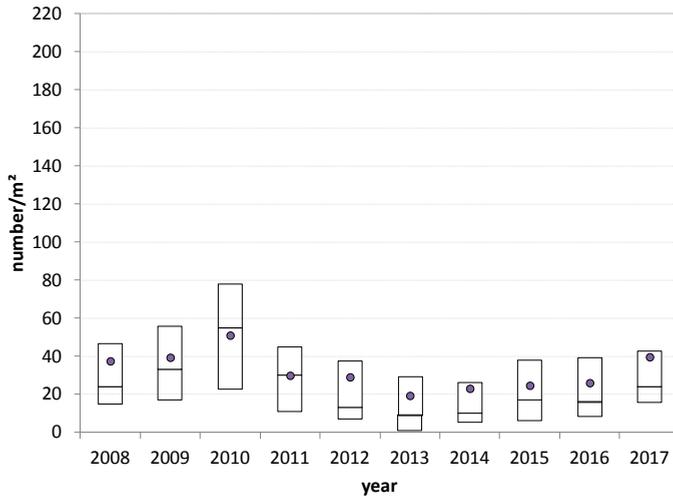


Fig. 1 Emergence of *Apera spica-venti* (number/m²) in the plots with inversion tillage, shown as box-plots with the upper and lower quartiles with the dot being the mean.

Fig. 1 Auflauf von Windhalm (Anzahl/m²) in den Parzellen mit Pflug, dargestellt als Box-Plots mit unterem und oberem Quartil, der Punkt zeigt den Mittelwert.

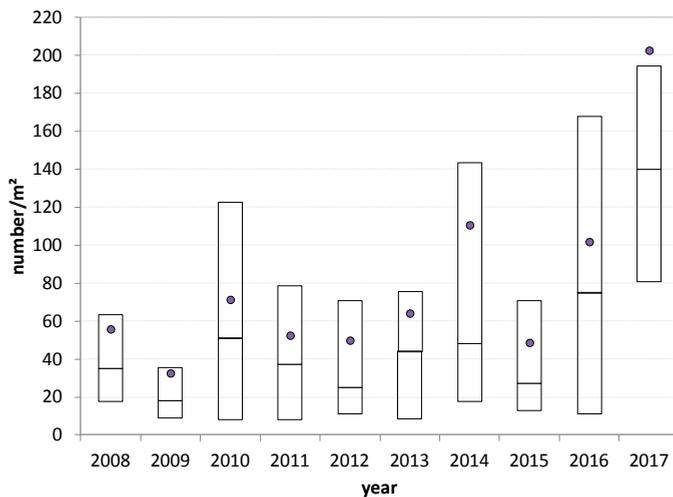


Fig. 2 Emergence of *Apera spica-venti* (number/m²) in the plots with non-inversion tillage, shown as box-plots with the upper and lower quartiles with the dot being the mean.

Fig. 2 Auflauf von Windhalm (Anzahl/m²) in den Parzellen ohne Pflug, dargestellt als Box-Plots mit unterem und oberem Quartil, der Punkt zeigt den Mittelwert.

Discussion

The widespread use of non-inversion tillage in Germany raises questions about the long-term effects on the development of weeds. In the case of *Apera spica-venti*, the weather and, in particular, the resulting soil moisture plays an important role because it emerges from a small depth. For the long-term field trial in Dahnsdorf the results showed that after 3 to 4 years of

minimum tillage, the numbers of *Apera spica-venti* increased constantly. Since 2011, in the plough plots the values for the upper quartile did not exceed 45 *Apera spica-venti* plant/m².

In the plots with non-inversion tillage, the effect of the soil conditions and the weather could have more influence on the germination of *Apera spica-venti*. This is especially true for the year 2017 with a mean of 202 *Apera spica-venti* plants/m². Locations with lighter soils and higher rainfall favored *Apera spica-venti* (MELANDER et al., 2008).

Despite that, there are also years like 2015, with a nearly comparable emergence of *Apera spica-venti* in both soil cultivation methods. One reason could be the higher mean temperature in October 2014. The average temperature in this month was 12.0 °C, which was notably higher than the average temperature in the following years (October 2015: 7.6 °C, October 2016: 8.4 °C). According to PIEPER (1912) *Apera spica-venti* germinates only near the soil surface. In warmer and dryer years, like autumn 2014, the soil may not contain sufficient moisture for the emergence of *Apera spica-venti*.

References

- 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.
- MELANDER, B., N. HOLST, P.K. JENSEN, E.M. HANSEN und J.E. OLESEN: *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.
- PIEPER, H., 1912: Der Windhalm (*Apera spica venti*). Arbeiten der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft H. 236, Berlin.
- 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**.

The influence of crop density and sowing delay on weed germination in winter wheat

Einfluss von Bestandesdichte und späterem Aussaatzeitpunkt auf die Unkrautkeimung in Winterweizen

Auskalniene Ona*, Kadziene Grazina, Jomantaite Birute

Institute of Agriculture, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Instituto aleja.

Akademija, Kedainiai district 58344, Lithuania

*Corresponding author, ona@lzi.lt

DOI 10.5073/jka.2018.458.044



Abstract

Due to changes in agronomic practices and cropping systems such as the development of reduced soil tillage systems, monocropping; changing climate conditions that result in longer warmer periods in autumn and due to other factors such as herbicide resistance approaches for integrated weed management are needed. Crop competitiveness could be one of several measures of cultural weed control, which is an important factor in integrated weed control. Delayed sowing dates or higher crop seed rates could be an integrated tool for weed management, because higher crop plant densities generally are more competitive with weeds.

Two field trials were conducted to investigate the influence of winter wheat plant density and delay of sowing date at the Institute of Agriculture, LRCAF in conventional soil tillage system over the period of 2014 –2016. Winter wheat var. 'Ada' was drilled at three different seeding rates (2, 4 and 8 million germinal seeds per hectare) at the regional recommended sowing date, three weeks later and six weeks later. Main weeds in winter wheat crops were annual dicotyledonous, common for the winter cereals stands in Lithuania such as *Thlaspi arvense*, *Viola arvensis*, *Galium aparine* and *Lamium purpureum*. Furthermore, volunteer oilseed rape and the annual monocotyledonous weed *Apera spica-venti* were presented in the field. Admittedly, meteorological conditions were favourable for cereals vegetation during the autumn.

In plots with the highest seeding rate weed biomass was significantly lower, however lodging problem, especially in early seeded plots occurred. The weed biomass in plots drilled at the end of September was significantly lower compared to early drilled plots. The lowest weed mass was recorded in plots with the latest sowing date, however a significant decrease in grain yield was recorded in these plots.

Keywords: Cultural weed control, sowing delay, sowing rate, winter wheat

Zusammenfassung

Aufgrund von Veränderungen in ackerbaulichen Anbauverfahren wie z.B. der Anwendung reduzierter Bodenbearbeitungsmaßnahmen und de m Anbau von Monokulturen, klimatischen Veränderungen, die zu längeren, wärmeren Perioden im Herbst führen können sowie aufgrund der Ausbreitung von Herbizidresistenz nimmt die Bedeutung von integrierten Lösungen zur Unkrautbekämpfung zu. Die Erhöhung der Konkurrenzkraft der Kulturpflanze ist eine von vielen ackerbaulichen Maßnahmen, die im Rahmen einer integrierten Unkrautbekämpfung angewendet werden können. Spätere Aussaattermine oder erhöhte Aussaatdichten können ebenso als effektive Maßnahmen angesehen werden, da dichtere Kulturpflanzenbestände generell eine höhere Konkurrenzkraft gegenüber den Unkräutern aufweisen können.

Zwei Feldversuche wurden in 2014-2016 am Institute of Agriculture, LRCAF, durchgeführt um den Einfluss von Bestandesdichte und späterem Aussaatzeitpunkt von Winterweizen in konventionellen Bodenbearbeitungssystemen zu untersuchen. Die Winterweizensorte 'Ada' wurden mit drei verschiedenen Bestandesdichten (2, 4 und 8 Millionen keimfähige Samen pro ha) und zu drei verschiedenen Aussaatzeitpunkten (regional empfohlener Aussaatzeitpunkt, drei Wochen später und sechs Wochen später) gedreht. Die Hauptunkrautarten in den Versuchen waren einjährige zweikeimblättrige Arten, die typisch für Wintergetreide sind, wie *Thlaspi arvense*, *Viola arvensis*, *Galium aparine* und *Lamium purpureum*. Zudem traten Ausfallraps und einjährige einkeimblättrige Arten wie *Apera spica-venti* auf.

In den Parzellen mit den höchsten Bestandesdichten war das Unkrautaukommen am niedrigsten. Allerdings traten vor allem in Parzellen mit dem früheren Aussaatzeitpunkt Verschlammungsprobleme auf. Bei späteren Aussaatterminen traten deutlich weniger Unkräuter auf als bei den früheren Aussaatzeitpunkten. Das geringste Unkrautaukommen wurde in Parzellen mit dem spätesten Aussaatzeitpunkt beobachtet, allerdings war in diesen Parzellen auch der Ertrag des Winterweizens reduziert.

Stichwörter: Aussaatverspätung, Bestandesdichte, nicht-chemische Unkrautkontrolle, Winterweizen

Introduction

Measures of weed control need to be improved because of the increasing risk of herbicide resistance. Currently, cultural weed control methods therefore increase in importance. The main goal of cultural control methods is to reduce the competition imposed by weeds through the enhancement of crop competitive ability in order to improve the ability of the crop itself to suppress weeds (LEMERLE et al., 2001; MOHLER, 2001). This could be achieved through the use of competitive crop genotypes, transplants, and appropriate sowing pattern and fertilization strategy (BARBERI, 2002). The seeding rate of the crop is an important factor in determining the biomass production of weeds and most studies show a decreasing weed biomass at higher crop densities (BLACKSHAW, 1993; DOLL, 1997; AUSKALNIENĖ and AUSKALNIS, 2008). At relatively low crop densities, crop cover early in the growing season is low, resulting in a larger amount of resources available for the weeds, thus enabling them to establish and grow quickly (LEMERLE et al., 2001). No effects of crop density on crop biomass or yield were observed, when weeds were controlled with herbicides (KRISTENSEN et al., 2008). An increase from low to high density could result in 45% less weed biomass and the proportion of weed biomass on the total biomass differed between the weed species (OLSEN et al., 2005). The results of previous investigations also suggest that the relative size of the crop and weed plants when crop–weed competition becomes intense is critical in determining the effects of crop density and pattern on weed biomass. When the crop has an initial size advantage, increasing crop density can help suppress the weeds (OLSEN et al., 2006). When weed pressure is high, reduced weed biomass translates directly into yield (CHRISTENSEN, 1995; LEMERLE et al., 1996). On the other side, manipulating plant density is an effective practice to optimize tiller and main stem competition for light, water, and nutrition, therefore enhancing wheat grain yield and nitrogen use efficiency (CHEN and NEILL, 2006). One potential problem with increased sowing density is the risk of an increase in fungal pathogens, especially in row pattern (WEINER et al., 2001).

Date of establishment of a crop may be used as a measure to reduce weed infestation. By delaying sowing in autumn, growers can avoid the peak of flush of weeds and use the soil disturbances associated with seedbed preparation and planting to eliminate this flush (KOLB and GALLANT, 2012).

The aim of the present study was to investigate the influence of sowing delay and different sowing rates on weed number and grain yield of winter wheat.

Materials and Methods

The influence of sowing density and delaying of seeding date on weed suppression was investigated in winter wheat var. 'Ada' in field trials conducted at the Lithuanian Institute of Agriculture in 2015 and 2016 in Central Lithuania (55°23'50"N and 23°51'40"E). The soil at the experimental site was endocalcary-endohypogeyic cambisol (CM-p-w-can), neutrally acid light loam, rich in phosphorus and potassium. Seeding rates were adjusted for seed weights and germination rate to achieve a population density of 200, 400 or 800 plants per m². Three sowing dates were used, namely the regional recommended sowing date (1st decade of September), three weeks later and six weeks later. Split – plot design with three replications was used, where the main factor was the sowing date. Weed germination of species was assessed in late autumn by counting of emerged weed plants. Weed number was recorded in four places of 0.25 m², in each plot of winter wheat in spring. Winter wheat was harvested at the end of July and grain yield was assessed for each plot.

Results

Main weeds in winter wheat were annual dicotyledonous such as *Thlaspi arvense* (THLAR), *Lamium purpureum* (LAMPJU), *Viola arvensis* (VIOAR) *Galium aparine* (GALAP) and *Stellaria media* (STEME). *Apera spica-venti* (APESV) was recorded as a monocotyledonous weed species. Many weed species showed a different germination in autumn dependent on the seeding treatments (Tab. 1).

At the early sowing date, seeding rate had only a low impact on germination of almost all main weeds present in the experimental winter wheat field. With increasing seeding rate, the number of VIOAR and GALAP plants decreased significantly. More important for weed germination was the sowing time – in plots with a later sowing date, weed numbers in autumn were significantly lower, especially for LAMPU and VIOAR. No weeds germinated till the spring at in plots that received the latest sowing date.

Tab. 1 Germination of different weed species under the influence of seeding rate and sowing date.

Tab. 1 Keimung verschiedener Unkrautarten in Abhängigkeit von Aussaatdichte und Aussaattermin.

Weed species	Sowing date								
	Early sowing			3 weeks later			6 weeks later		
	Sowing rate (mio seeds/ha)								
	2	4	8	2	4	8	2	4	8
THLAR	7a	4a	3a	1b	0.3b	0.3b	0b	0b	0b
GALAP	57a	47ab	28b	41ab	36ab	41ab	0c	0c	0c
VIOAR	24a	18b	19b	6d	8d	4de	0e	0e	0e
LAMPU	14a	14a	12a	4c	6c	3c	0c	0c	0c

Different results were recorded for the number of *Apera spica-venti* (APESV) plants. No influence of sowing rate on plant density of APESV was observed. Large differences were recorded for plots with different drilling dates – sowing delay had a significant influence on APESV numbers. In plots with the latest sowing date, the number of APESV plants was 3 – 5 times lower compared to the early sowing (Fig. 1).

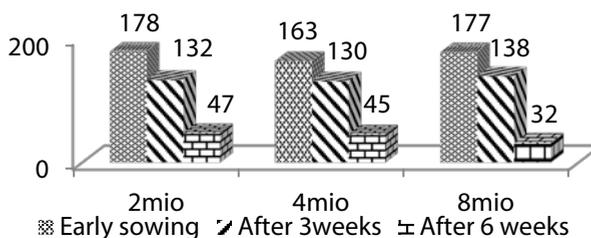


Fig. 1 Plant numbers/m² of APESV at different sowing time and winter wheat plant density.

Abb. 1 Anzahl der APESV-Pflanzen/m² zu verschiedenen Aussaatzeitpunkten und Aussaatdichten von Winterweizen.

Sowing delay could be a possible management option for non-chemical weed control, however in plots with the latest sowing time, grain yield of winter wheat was significantly lower (Tab. 2).

Tab. 2 Grain yield of winter wheat in dependence of sowing time and seeding rate.

Tab. 2 Korntrag von Winterweizen in Abhängigkeit von Aussaatdichte und Aussaattermin.

Sowing rate (wheat plants/ha)	Sowing date		
	Early	Three weeks later	Six weeks later
2 mio	5.6b	5.9ab	3.6c
4 mio	6.4ab	7.0a	4.3c
8 mio	6.5ab	7.1a	4.3c

A three-week delay of sowing date had no influence on grain yield of winter wheat compared to the early sowing date. In plots with high weed incidence it would be beneficial to sow winter wheat at the end of September.

References

- AUSKALNIENE, O. and A. AUSKALNIS, 2008: The influence of spring wheat plant density on weed suppression and grain yield. *Žemdirbystė/Agriculture* **95** (3), 5-12.
- BARBERI, P., 2002: Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Research* **42**, 176-193.
- BLACKSHAW R. E., 1993: Saflower (*Carthamus tinctorius*) density and row spacing effects on competition with green foxtail (*Setaria viridis*). *Weed Science* **41**, 403-408.
- CHEN, C. and K. NEILL, 2006: Response of Spring Wheat Yield and Protein to Row Spacing, Plant Density, and Nitrogen Application in Central Montana. *Fertilizer Facts. Montana State University Extension* **37** (January).
- CHRISTENSEN, S., 1995: Weed suppression ability of spring barley varieties. *Weed Research* **35**, 241-247.
- DOLL, H., 1997: The ability of barley to compete with weeds. *Biological Agriculture and Horticulture* **14**, 43-51.
- KOLBE, L.N. and E.R. GALLANDT, 2012: Weed management in organic cereals: advances and opportunities. *Organic Agriculture* **2**, 23-42.
- KRISTENSEN, L., J. OLSEN and J. WEINER, 2008: Crop density, sowing pattern, and nitrogen fertilization effects on weed suppression and yield in springwheat. *Weed Science* **56**, 97-102.
- LEMERLE, D., G.S. GILL, C.E. MURPHY, S.R. WALKER, R.D. COUSENS, S. MOKHTARI, S.J. PELTZER, R. COLEMAN and D.J. LUCKETT, 2001: Genetic improvement and agronomy for enhanced wheat competitiveness with weeds. *Australian Journal Agricultural Research* **52**, 527-548.
- MOHLER, C. L., 2001: Enhancing the competitive ability of crops: Ecological Management of Agricultural Weeds (ed. by LIEBMAN M., C.L. MOHLER and C.P. STAYER). Cambridge University Press, Cambridge, 231-269.
- OLSEN, J., L. KRISTENSEN and J. WEINER, 2005: Effects of density and spatial pattern of winter wheat on suppression of different weed species. *Weed Science* **53**, 690-694.
- OLSEN, J., L. KRISTENSEN and J. WEINER, 2006: Influence of sowing density and spatial pattern of spring wheat (*Triticum aestivum*) on the suppression of different weed species. *Weed Biology and Management* **6**, 165-173.
- WEINER, J., H.-W. GRIEPENTROG and L. KRISTENSEN, 2001: Suppression of weeds by spring wheat *Triticum aestivum* increases with crop density and spatial uniformity. *Journal of Applied Ecology* **38**, 784-790.

Sektion 6: Entwicklungen bei Herbiziden

Session 6: Developments in herbicides

Croupier - Ein breit wirksames Klettenlabkraut-Herbizid als innovative, flüssige Formulierung zur Anwendung in Getreide

Croupier - a broad spectrum cleaver effective herbicide as an innovative liquid formulation for the use in cereals

Lena Nicke*, Hans Glattkowski

Spiess-Urania Chemicals GmbH, Frankenstraße 18b, 20097 Hamburg

*Korrespondierende Autorin, nicke@spiess-urania.com

DOI 10.5073/jka.2018.458.045



Zusammenfassung

Das neue Herbizid Croupier enthält die beiden Wirkstoffe Fluroxypyr (225 g/l, als Mepthylester formuliert) und Metsulfuron-methyl (9 g/l) aus zwei unterschiedlichen Wirkstoffklassen, vereint in einer innovativen blattaktiven Formulierung. Mit einer Aufwandmenge von 0,67 l/ha werden im Frühjahr sowohl Klettenlabkraut (*Galium aparine*) als auch ein breites Spektrum an dikotylen Unkräutern in allen wichtigen Getreidearten, bis auf Hafer, erfolgreich bekämpft. Die Anwendung kann hierbei von BBCH 20-39 in Wintergetreide sowie von BBCH 13-39 in Sommergetreide erfolgen.

Croupier zeichnet sich durch eine sehr schnelle Wirkstoffaufnahme, ein breites Wirkungsspektrum und ein langes Anwendungsfenster aus. Neben einem frühen Applikationszeitpunkt ist auch eine Spätanwendung von Croupier möglich, da auch Wurzelunkräuter sicher erfasst werden.

Europaweit durchgeführte, mehrjährige Versuche belegen die Wirksamkeit von Croupier im Nachauflaufeinsatz z.B. gegen Klettenlabkraut, eine Vielzahl an einjährigen dikotylen Unkräutern, Kreuzblütler im Allgemeinen sowie Problemunkräuter wie Hundskerbel (*Anthriscus caucalis*), Ackerhundspetersilie (*Aethusa cynapium*) und andere Doldenblütler.

Stichwörter: Doldenblütler, *Galium aparine*, Fluroxypyr, Klettenlabkraut, Metsulfuron-methyl, Wurzelunkräuter

Abstract

The new herbicide Croupier contains the active ingredients Fluroxypyr (225 g/L, formulated as mepthylester) and metsulfuron-methyl (9 g/L) from two different classes of active ingredients, combined in a liquid leaf active formulation. With an application rate of 0.67 L/ha for the use in spring Croupier shows a high efficacy against cleavers and a broad spectrum of dicotyledonous weeds in all important cereals except oats. Croupier is characterized by a rapid absorption of the active ingredients, a broad weed spectrum and a large application window (BBCH 20-39 in winter cereals and BBCH 13-39 in spring cereals). Next to the early date of application there is also a late use of Croupier against root weeds possible.

Several years of pan-European field trials demonstrate the efficacy of Croupier e.g. against cleavers, a variety of annual dicotyledonous weeds, cruciferous plants in general as well as difficult to control weeds like beaked parsley (*Anthriscus caucalis*), fools parsley (*Aethusa cynapium*) and other umbellifers.

Keywords: Cleavers, fluroxypyr, *Galium aparine*, metsulfuron-methyl, root weeds, umbellifer

Einleitung

Unsere heutige Landwirtschaft erfordert die effiziente und sichere Bekämpfung von Schadpflanzen in der angebauten Kultur als einen der Hauptfaktoren, um hohe Erträge zu erreichen. Neben den möglichen Ertragseinbußen, die durch einen erhöhten Unkrautbesatz hervorgerufen werden können, kann auch die Ernte des Getreides durch ein starkes Aufkommen von Klettenlabkraut in der Kultur erschwert werden (NEURURER, 1968). Der in Croupier enthaltene Wirkstoff Fluroxypyr zeigt eine sehr gute Wirksamkeit gegenüber Klettenlabkraut, welches eines der bedeutendsten Unkräuter im Getreideanbau Deutschlands darstellt und den Ertrag um 30-60 % mindern kann (TAYLOR, 1999). Fluroxypyr zählt zur Gruppe der synthetischen Auxine und wird

nach HRAC in die Gruppe O klassifiziert, während der zweite enthaltene Wirkstoff, Metsulfuron-methyl, zur Gruppe der Sulfonylharnstoffe zählt und in die HRAC-Gruppe B eingestuft ist. Nach der Verteilung der Wirkstoffe in der Pflanze erfolgt die Wirkung dann sowohl über die Hemmung des Enzyms Acetolactat Synthase (ALS) durch Metsulfuron als auch durch einen Eingriff in die Eiweißbildung durch Fluroxypyr. Es kommt zum sofortigen Wachstumsstillstand der Unkräuter an Wurzel und Spross und zum anschließenden Absterbeprozess. Durch die Kombination zweier Wirkstoffe mit unterschiedlicher Wirkungsweise wird die Tendenz zu einer schnellen Resistenzbildung vermindert, da durch die Anwendung unterschiedlicher biochemischer Wirkmechanismen der Selektionsdruck auf die Unkräuter reduziert wird, wodurch die Entstehung herbizidresistenter Biotypen reduziert wird (MITTNACHT, 2008).

Die Anwendung von Croupier erfolgt im Frühjahr im Nachauflaufverfahren, wobei im Wintergetreide von BBCH 20 (keine Bestockung) bis zum Stadium BBCH 39 (Ligula-Stadium) appliziert werden kann und das Anwendungsfenster im Sommergetreide (Hafer ausgenommen) von BBCH 13 (3-Blatt-Stadium) bis zu BBCH 39 (Ligula-Stadium) reicht. Es ist eine maximale Aufwandmenge von 0,67 l/ha in Deutschland zur Zulassung beantragt, mit der sowohl Klettenlabkraut als auch weitere bedeutende Unkräuter erfolgreich bekämpft werden können. Die Anwendung kann hierbei einmal pro Saison und Kultur erfolgen.

Die außergewöhnliche Formulierung von Croupier ermöglicht einen effektiven und relativ temperaturunabhängigen Einsatz bereits unter kühleren Bedingungen. Somit ist ein früher Applikationszeitpunkt möglich, aber auch eine Spätanwendung gegen Hundskerbel und Ackerhundspetersilie sowie Ackerdistel (*Cirsium arvense*), Ackerwinde (*Convolvulus arvensis*) und andere Wurzelunkräuter kann mit Croupier erfolgen.

Material und Methoden

In den Jahren 2014-2017 wurde europaweit eine Vielzahl an Versuchen mit Croupier im Getreide durchgeführt. Die Applikation fand jeweils zu praxisüblichen Terminen statt und es wurde der Wirkungsgrad (in %) im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrolle bonitiert. In den Versuchen wurden darüber hinaus mögliche Symptome auf Phytotoxizität erfasst. Des Weiteren wurde neben der maximalen für die Zulassung beantragten Aufwandmenge von 0,67 l/ha jeweils auch die Wirkungen bei einer reduzierten Aufwandmenge von 0,5 l/ha getestet. Weitere Maßnahmen, wie z.B. Bodenbearbeitung und Düngung, wurden am jeweiligen Standort praxisüblich durchgeführt. Die Versuche wurden in einer randomisierten Blockanlage mit in der Regel vier Wiederholungen der jeweiligen Prüfglieder angelegt.

Tab. 1 Übersicht der zur Zulassung beantragten Anwendung von Croupier.

Tab. 1 Overview of the applied use of Croupier for registration.

Wirkstoffe	Wirkstoffgehalte	Aufwandmenge	Kultur	Einsatzzeitpunkt
Fluroxypyr Metsulfuron -methyl	225 g/l 9 g/l	max. 0,67 l/ha	Winterweizen	BBCH 20-39 1 Anwendung im Frühjahr
			Wintergerste	
			Winterroggen	
			Wintertriticale	
			Sommerweizen	BBCH 13-39 1 Anwendung im Frühjahr
			Sommergerste	

Ergebnisse

Wirkungsspektrum

Wie der Abbildung 1 zu entnehmen ist, weist Croupier ein sehr breites Wirkungsspektrum mit sehr guten Wirksamkeiten auf. Der Einsatz von Croupier erfolgte in den hier zusammengefassten europaweit durchgeführten Ergebnissen mit der zuzulassenden vollen Aufwandmenge von 0,67 l/ha zu einem durchschnittlichen Anwendungszeitpunkt vor BBCH 30 der Kultur und die

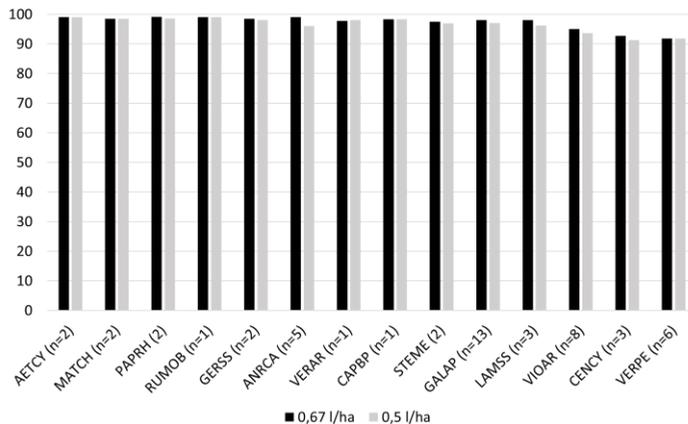


Abb. 2 Wirkungsgrade von Croupier mit einer Aufwandmenge von 0,67 und 0,5 l/ha.

Fig. 2 Efficacy of Croupier with an application rate of 0.67 and 0.5 L/ha.

Gräsersynergismus

Neben der effektiven Bekämpfung von Klettenlabkraut und dikotylen Unkräutern kann Croupier des Weiteren sehr gut in Kombination mit Graminiziden aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren ausgebracht werden, um im Frühjahr auch Ungräser effektiv bekämpfen zu können. Abbildung 3 zeigt die Wechselwirkung zwischen Croupier und einem Mesosulfuron-haltigen Gräserherbizid bei der gemeinsamen Ausbringung im Frühjahr. Die Wirkung des Graminizids konnte so bei der Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) durch die Zugabe von Croupier von 89 auf 92 % sowie bei Windhalm (*Apera spica-venti*) von 85 auf 91 % gesteigert werden. Dieser synergistische Effekt bei der gemeinsamen Applikation konnte durch eine Vielzahl an durchgeführten Versuchen in Deutschland und Österreich in den Jahren 2016 und 2017 belegt werden.

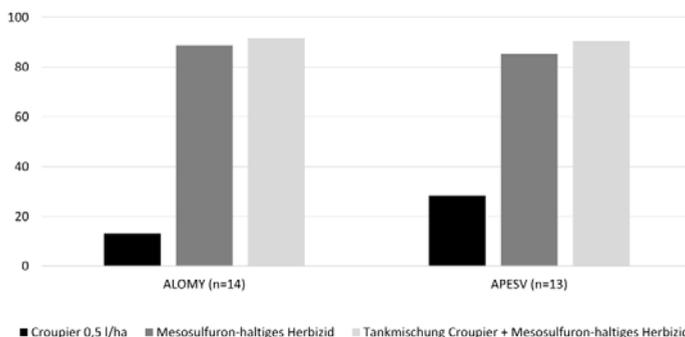


Abb. 3 Wechselwirkung zwischen Croupier und einem Mesosulfuron-haltigen Herbizid bei der gemeinsamen Applikation zur Ackerfuchsschwanz- und Windhalmbekämpfung im Frühjahr.

Fig. 3 Interaction between Croupier and a mesosulfuron-containing herbicide in the joint application for the control of black grass and silky bentgrass in spring.

Diskussion

Croupier weist bei der vollen Aufwandmenge von 0,67 l/ha ein sehr breites Wirkungsspektrum mit hohen Wirkungsgraden gegenüber dikotylen Unkräutern auf. Mehrjährige Versuche belegen die ausgezeichnete Wirksamkeit von Croupier im Nachauflaufeinsatz im Frühjahr gegenüber Klettenlabkraut, Kamille, Vogelmiere, Taubnessel, Kornblume, Mohn, Storchschnabel und vielen weiteren bedeutsamen Unkräutern. Schwer bekämpfbare Dikotyle wie Hundskerbel, Ackerhundspetersilie und andere Doldenblütler werden nach eigenen Erfahrungen effektiv und nachhaltig bekämpft. Auch eine späte Anwendung gegen Distel, Windenknöterich, Ackerwinde und andere Wurzelunkräuter kann mit Croupier erfolgen. Eine Wirkungslücke zeigt Croupier lediglich gegenüber dem Efeublättrigen Ehrenpreis. Durch die Kombination der zwei Wirkstoffe mit unterschiedlicher Wirkungsweise wird die Wirkungssicherheit noch verstärkt, das Gesamtwirkungsspektrum optimal ergänzt und die Tendenz für eine mögliche Resistenzbildung vermindert. Auch die Aufwandmengenflexibilität mit Croupier gestaltet sich sehr einfach und sicher. Bei einer Reduktion der Aufwandmenge um 25 % unter günstigen Bedingungen werden alle wichtigen Zielunkräuter noch sehr wirksam bekämpft und es tritt kein Verlust der Wirksamkeit ein. Es besteht zudem die Möglichkeit, Croupier im Frühjahr gemeinsam in Tankmischung mit Graminiziden auszubringen. Versuche zeigen, dass hier vor allem die Kombination mit Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren gut funktioniert und einen synergistischen Effekt aufweist. Die innovative flüssige Formulierung von Croupier ermöglicht generell einen effektiven und relativ temperaturunabhängigen Einsatz bereits unter kühleren Bedingungen sowie eine schnelle Aufnahme der Wirkstoffe über Wurzeln und hauptsächlich Blätter in die Pflanze. Somit steht dem Landwirt eine neue wirksame und nachhaltige Lösung zur Unkrautbekämpfung in Getreide zur Verfügung.

Literatur

- MITTNACHT, A., 2008: Moderne Anbausysteme, Neue Pflanzenschutzprobleme – Lösungsansätze Herbizidresistenz bei Ungräsern – Ursachen und Resistenzvorsorge, 55. Baden-Württembergischer Pflanzenschutztag, 13. Februar 2008 in Ilshofen, Regierungspräsidium Stuttgart.
- 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.
- TAYLOR, K., 1999: *Galium aparine* L. (= Biological Flora of the British Isles. No. 207). Journal of Ecology **87**, Nr. 4.

The herbicide Zypar™ with the new active ingredient Arylex™ as tankmix partner for graminicides for spring application in cereals

Das Herbizid Zypar™ mit dem neuen Wirkstoff Arylex™ als Tankmischpartner für Gräserherbizide in Wintergetreide im Frühjahr.

Wolfgang Dietrichs*, Marcin Dzikowski, Matthias Donner, Jörg Becker

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

*Corresponding author, wdietrichs@dow.com

DOI 10.5073/jka.2018.458.046



Abstract

Spring applied graminicides often show an insufficient efficacy against dicotyledonous weeds. Therefore tankmix partners are used to gain more control against these weeds.

Development trials were conducted in Germany, France and the United Kingdom from 2014 to 2017 to test the biological compatibility of Zypar™ herbicide and different graminicides against *Alopecurus myosuroides* (ALOMY), *Apera spica-venti* (APESV) and *Bromus sterilis* (BROST).

The herbicide Zypar™ provides a broad efficacy against dicotyledonous weeds and because of its auxinic like active ingredient and its OD-formulation it also proved to be an ideal tankmix partner for graminicides. In addition, the adjuvant (MSO-Type) incorporated in Zypar™ increases the efficacy against broadleaf weeds and grasses. No antagonisms between Zypar™ and graminicides were observed in the field trials. In some cases the mixture of Zypar™ and a graminicide even provided a higher efficacy against grasses compared to the graminicide applied alone.

The safener Cloquintocet-Mexyl which is incorporated in the formulation of Zypar™ enhances the metabolisation of Arylex™ active in the crop. In some cases the selectivity of graminicides could be significantly improved by the addition of Zypar™ even when liquid ammonium urea fertilizer was added to those mixtures.

Keywords: ALOMY, APESV, Arylex™, graminicide, tankmix, Zypar™

Zusammenfassung

Die gegen Ungräser im Frühjahr zugelassenen Herbizide haben häufig eine auf dikotyle Unkräuter unzureichende Wirksamkeit. Daher werden in der Regel Tankmischpartner genutzt, um eine breitere Wirkung auch gegen Unkräuter zu erreichen.

In den Jahren 2014-2017 wurden in Deutschland Feldversuche durchgeführt, um die biologische Kompatibilität zwischen dem Getreideherbizid Zypar™ und verschiedenen Graminiziden zur Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz, Windhalm und Taube Trespe zu überprüfen.

Das Herbizid Zypar™ zeigt nicht nur eine sehr breite Wirksamkeit gegen dikotyle Unkräuter, sondern erwies sich aufgrund seines auxin-ähnlichen Wirkstoffs und der OD-Formulierung auch als idealer Mischpartner für Graminizide. Zusätzlich unterstützt Zypar™ durch das in die Formulierung eingebaute Netzmittel (MSO-Typ) die Wirkung gegen Unkräuter und Ungräser. In den Feldversuchen wurde kein Antagonismus zwischen Zypar™ und den Graminiziden beobachtet, in mehreren Fällen konnte sogar eine verbesserte Wirkung der Graminizide auf die getesteten Ungräser nachgewiesen werden.

Durch den im Zypar™ enthaltenen Safener Cloquintocet-Mexyl wird der metabolische Abbau von Arylex™ in der Kulturpflanze unterstützt. Es konnte auch beobachtet werden, dass die Verträglichkeit von Gräserherbiziden ebenfalls verbessert wird. Hierdurch konnte in Einzelfällen, auch nach Zumischung von AHL, die Verträglichkeit der getesteten Gräserherbizide signifikant erhöht werden.

Stichwörter: ALOMY, APESV, Arylex™, Graminizid, Tankmischung, Zypar™

Introduction

Spring applied graminicides often show an insufficient efficacy against dicotyledonous weeds. Therefore tankmix partners are used to achieve more control against these weeds.

Zypar™ is a new broad-leaf herbicide which contains Arylex™ active (6 g ae/L, halauxifen-methyl) and florasulam (5 g ae/L). It controls highly efficaciously a broad spectrum of dicotyledonous weeds. Along with the OD-formulation, Zypar™ herbicide is an ideal tankmix partner for

graminicides. The incorporated adjuvant (methylated seed oil = MSO-type) in Zypar™ supports uptake of the active ingredients and thus makes the control of broad-leaf weeds more robust and also increases the efficacy of graminicides against grasses in some cases. The safener cloquintocet-mexyl, which is incorporated in the formulation of Zypar™, provides a good selectivity over a wide range of crop stages (BBCH 13-45). In addition, tankmixes of Zypar™ with graminicides were frequently more selective to the crop than the graminicide applied alone.

Furthermore, the tankmix of Zypar™ and ALS-graminicides is intended to reduce the risk of resistances to dicotyledonous weeds because Zypar™ contains the synthetic auxine Arylex™ which is an adequate alternative compared to ALS-herbicides to control several weeds.

Materials und Methods

Numerous field trials were conducted in 2014-2017 in Germany, France and the UK internally by Dow AgroSciences and by the German Plant Protection Service in accordance with GEP. The trials were set up with four replicates; the plot size was 15-30 m². Weed control was assessed 2, 4 and 8-10 weeks after application. Phytotoxic assessments of the cereal crops were started one week after application and continued until symptoms were not longer visible anymore. The weed control was rated visually as percentage control or using selectivity compared to the untreated plots.

Zypar™ was applied at 1.0 L/ha in tankmix with three different graminicides, GF-1274 (pyroxulam 75 g ai/kg), Graminicide A (iodosulfuron 6 g ai/kg + mesosulfuron 30 g ai/kg) and Graminicide B (pinoxaden 50 g ai/L). GF-1274 and Graminicide A were always applied in combination with an adjuvant.

Tab. 1 Characteristics of Zypar™.

Tab. 1 Produktprofil Zypar™.

Characteristics of Zypar™		
Active ingredients	Arylex™ 6 g ae/L +	Florasulam 5 g ai/L
Crops		Winter- and Spring cereals, not approved for the application in oats
Target dose rate	1.0 L/ha 0.75 L/ha	Winter- and Spring cereals (spring application) Winter Cereals (autumn application)
Application timing	BBCH 13-45 BBCH 13-39	Winter cereals Spring cereals
Mode of action	Auxin-like (HRAC O)	Acetolactate synthase inhibitor (ALS, HRAC B)

Results

The tankmixes of Zypar™ and graminicides were tested between crop stages BBCH 16-32 in winter cereals. Applications were carried out against *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti* and *Bromus sterilis*.

Alopecurus myosuroides (ALOMY)

For the control of *Alopecurus myosuroides* Zypar™ herbicide was applied in tankmix with two different ALS-graminicides, with Graminicide A applied at 300 or 400 g/ha or with GF-1274 applied at 250 g/ha.

Generally, there was no antagonism observed between Graminicide A and Zypar™. In the trials where graminicide A was applied straight at 300 g/ha the efficacy reached 99% control against the grass. When tank-mixed with 1.0 L/ha Zypar™ the efficacy against ALOMY showed the same level of control (Fig. 1). In other trials where graminicide A was applied at 400 g/ha, the efficacy against *Alopecurus myosuroides* reached 94%. In the mixture with Zypar™ (1.0 L/ha) and graminicide A (400 g/ha) the control of ALOMY was slightly increased (96% control) when compared to the straight application of the grasskiller (Fig. 1).

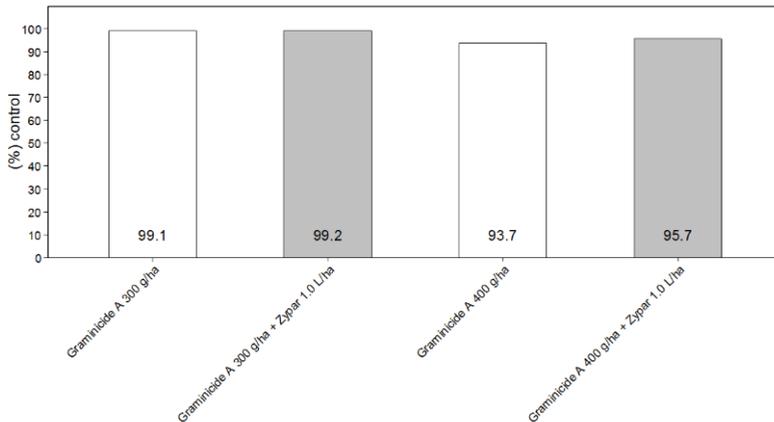


Fig. 1 Efficacy of tankmixes between Zypar™ and Graminicide A (300 and 400 g/ha+ 0.6 resp. 0.8 L/ha adjuvant) against *Alopecurus myosuroides*, assessments 8 weeks after application (n=3 trials/ Graminicide A 300 g/ha and n=3 trials/Graminicide A 400 g/ha).

Abb. 1 Wirkungsgrade der Tankmischungen von Zypar™ und Graminizid A (300 oder 400 g/ha + 0.6 bzw. 0.8 L/ha Netzmittel) *Alopecurus myosuroides*, Bonitur 8 Wochen nach Applikation (n=3 trials/ Graminicide A 300 g/ha and n=3 trials/Graminicide A 400 g/ha).

The mixture of GF-1274 and Zypar™ showed also compatibility in terms of control to ALOMY. Both, the tankmix of GF-1274 plus Zypar™ as well as GF-1274 solo provided 95% control of the grass (Fig. 2).

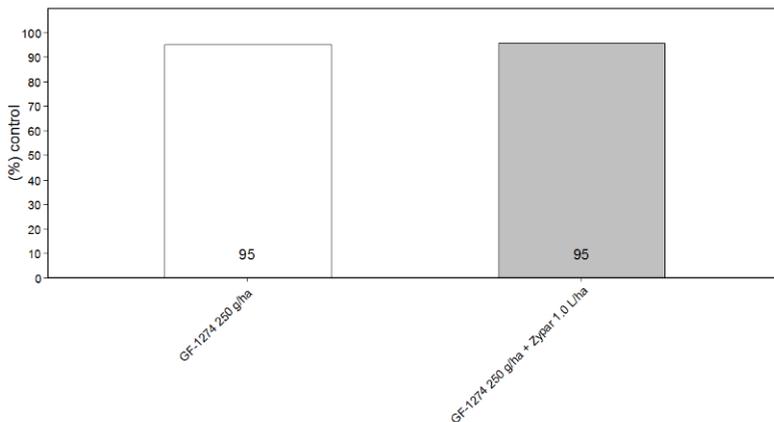


Fig. 2 Efficacy of tankmixes between Zypar™ and GF-1274 (250 g/ha + 1.0 L/ha adjuvant) against *Alopecurus myosuroides*, assessment 8 weeks after application, (n= 4 trials).

Abb. 2 Wirkungsgrade der Tankmischungen von Zypar™ und GF-1274 (250 g/ha +1,0 l/ha Netzmittel) gegen *Alopecurus myosuroides*, Bonitur 8 Wochen nach Applikation, (n=4 trials).

Apera spica-venti (APESV)

In the APESV trials Zypar™ herbicide was applied in tankmix with Graminicide A at 150 g/ha, Graminicide B at 0.9 L/ha and with GF-1274 at 120 g/ha.

All tested tankmixes did not exhibit any antagonism in controlling *Apera spica-venti* but did demonstrate a high level of efficacy: The tankmix of 150 g/ha of Graminicide A and Zypar™ as well

as Graminicide A applied straight provided 95% control against APESV. 120 g/ha of GF-1274 achieved 99% control in tankmix and when applied solo. Graminicide B provided 99% applied straight and as well 99% in combination with 1.0 L/ha Zypar™ (Fig. 3).

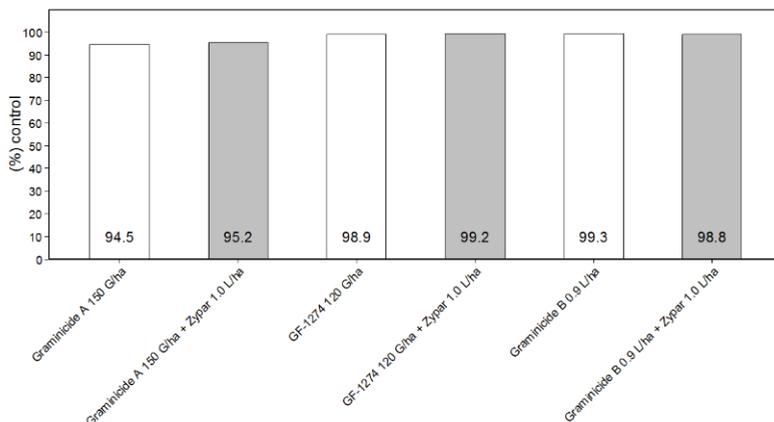


Fig. 3 Efficacy of tankmixes between Zypar™ and Graminicide A (150 g/ha + 0.6 L/ha adjuvant), Graminicide B (0.9 L/ha) and GF-1274 (250 g/ha + 1.0 L/ha adjuvant) against *Apera spica-venti*, assessment 8 weeks after application, (n=3 trials).

Abb. 3 Wirkungsgrade der Tankmischungen von Zypar™ mit Graminizid A (150 g/ha + 0,6 l/ha Netzmittel), Graminizid B (0,9 l/ha) und GF-1274 (250 g/ha + 1,0 l/ha Netzmittel) auf *Apera spica-venti*, Bonitur 8 Wochen nach Applikation, (n=3 trials).

Bromus sterilis (BROST)

In the BROST trial, Graminicide A at 500 g/ha and GF-1274 at 250 g/ha were applied straight and in mixture with 1.0 L/ha Zypar™ herbicide. It was shown that the efficacy of both graminicides against *Bromus sterilis* was improved with the addition of 1.0 L/ha of Zypar™.

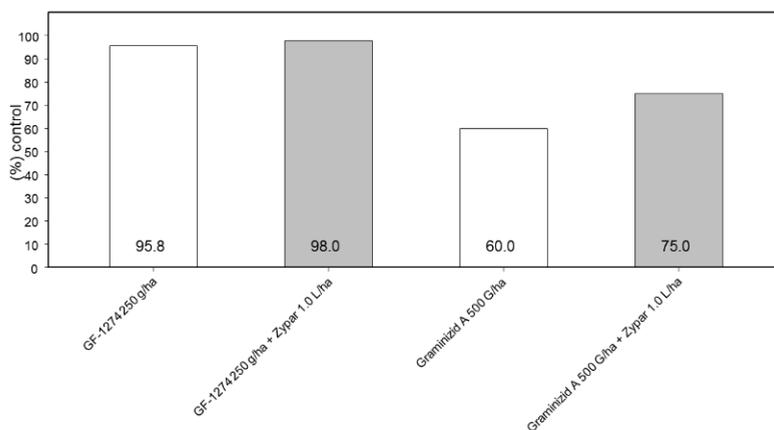


Fig. 4 Efficacy of tankmixes between Zypar™ and Graminicide A (500 g/ha + 1.0 L/ha adjuvant) and GF-1274 (250 g/ha + 1.0 L/ha adjuvant) against *Bromus sterilis*, assessment 8 weeks after application, (n=1 trial).

Abb. 4 Wirkungsgrade der Tankmischungen von Zypar™ mit Graminizid A (500 g/ha + 1,0 l/ha Netzmittel) und GF-1274 (250 g/ha + 1,0 l/ha Netzmittel) auf *Bromus sterilis*, Bonitur 8 Wochen nach Applikation, (n=41 trial).

GF-1274 applied solo achieved 95% control of BROST. The tankmix of GF-1274 with Zypar™ increased the efficacy level to 98%. Graminicide A applied straight at 500 g/ha controlled 60% of the grass. The mixture with Zypar™ improved the efficacy up to 75% (Fig. 4).

Selectivity

The selectivity of the tested graminicides applied straight or in tank-mix with Zypar™ herbicide was also assessed in all trials. The addition of Zypar™ did not negatively impact the crop when compared to the graminicide applied solo. In 6 trials the tankmix between Zypar™ and Graminicide A even improved the crop selectivity. In these cases the addition of Zypar™ resulted in less growth inhibition and necrosis compared to the straight applied graminicides.

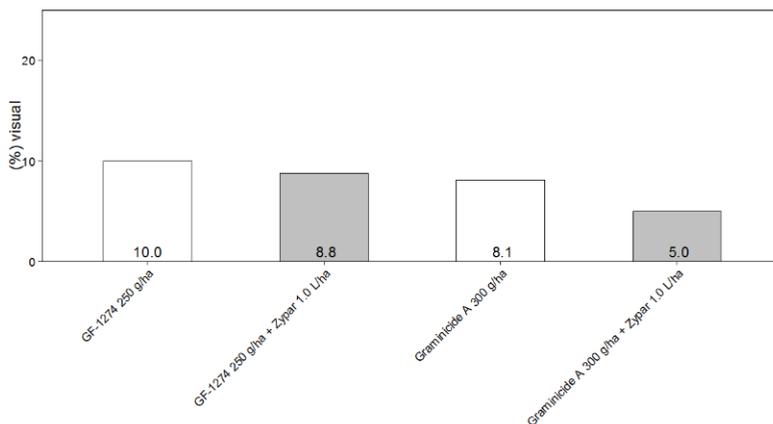


Fig. 5 Selectivity (necrosis) of Zypar™ (1.0 L/ha) in tankmix with GF-1274(250 g/ha + 1.0 L/ha adjutant) and Graminicide A (300 g/ha + 0.6 L/ha adjutant), assessment 2 weeks after application, n=2 trials.

Abb. 5 Selektivität (Nekrose) von Zypar™ (1,0 l/ha) in Tankmischung mit GF-1274 (250 g/ha + 1,0 l/ha Netzmittel) und Graminizid A (300 g/ha + 0,6 l/ha Netzmittel), Bonitur 2 Wochen nach Applikation, n=2 trials.

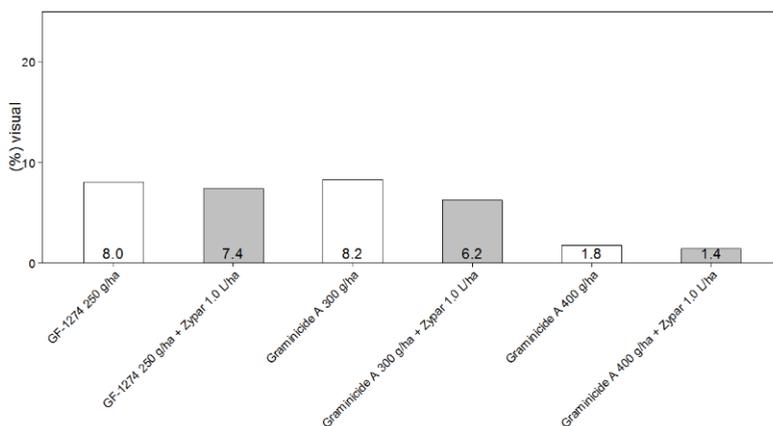


Fig. 6 Selectivity (growth inhibition) of Zypar™ (1.0 L/ha) in tankmix with GF-1274(250 g/ha + 1.0 L/ha adjutant) or Graminicide A (300 or 400 g/ha + 0.6 or 0.8 L/ha adjutant), assessment 2 weeks after application, n=4 trials.

Abb. 6 Selektivität (Wuchshemmung) von Zypar™ (1,0 l/ha) in Tankmischung mit GF-1274 (250 g/ha + 1,0 l/ha Netzmittel) oder Graminizid A (300 bzw.400 g/ha + 0,6 bzw. 0,8 l/ha Netzmittel), Bonitur 2 Wochen nach Applikation n=4 trials.

For the tankmix of 1.0 L/ha of Zypar™ and 250 g/ha of GF-1274, necrosis observed 2 weeks after application was 8.8% and thus slightly less than GF-1274 straight with 10% necrosis. A similar trend was seen in the tank-mix consisting of 300 g/ha of Graminicide A and Zypar™ with 5% necrosis while the solo applied graminicide caused 8.1% plant injuries (Fig. 5).

Plant injury assessed as growth inhibition was rated 7.4% for the tank-mix of 250 g/ha GF-1274 and 1.0 L/ha Zypar™ herbicide 2 weeks after application. The mixtures of Zypar™ with 300 or 400 g/ha of Graminicide A resulted in a growth inhibition of the crop of 6.2% and 1.4%. Tank-mixes and straight applied graminicides (8.2 and 1.8%) did exhibit similar selectivity patterns (Fig. 6). All injury symptoms were transient and completely disappeared in the course of the trial.

Discussion

Zypar™ is a new herbicide containing the active ingredients Arylex™ active and florasulam. Applied in spring, Zypar™ controls a wide spectrum of broadleaf weeds (EPP et al., 2015; DZIKOWSKI et al., 2016). Due to the fact that graminicides often show insufficient efficacy against dicotyledonous weeds, Zypar™ is an ideal tankmix partner for grasskillers.

Zypar™ can be applied safely in mixtures with graminicides. There was no visible negative impact on the crop with the addition of Zypar™. In some cases the herbicide even improved the crop selectivity in tankmixes with graminicides.

It is well known that the mixtures of broadleaf weed herbicides and graminicides often proved to be incompatible. These tankmixes can reduce graminicide efficacy and can induce higher crop damage than the graminicide applied straight. Some ALS-herbicides as well as some auxin-like herbicides can cause insufficient control rates against grasses when applied in mixture with graminicides (COBB and BARNWELL, 1994; MC ELLROY et al., 2006, BAGHESTANI et al., 2007; HASSAN et al., 2008; CHHOKAR et al., 2013).

Regarding the efficacy against ALOMY, APESV or BROST, Zypar™ did not show any negative impact when tankmixed with different graminicides. Due to the OD-formulation of Zypar™ with the adjuvant incorporated the efficacy against grasses increased in some cases. The field trials demonstrated that Zypar™ can provide a higher efficacy in tankmix with ALS-graminicides against *Alopecurus myosuroides* and *Bromus sterilis* compared to solo applied graminicides. As a consequence, Zypar™ does not only provide a broad control spectrum of dicotyledonous weeds, it also stabilizes the efficacy and selectivity of graminicides in a tank-mix.

References

- BAGHESTANIA, M.A., E. ZANDA, S. SOUFIZADEHB, C.M. BEHESHTIAND, A. HAGHIGHIE, A. BARJASTEHF, D.G. BIRGANIG and R. DEIHIMFARDB, 2008: Study on the efficacy of weed control in wheat (*Triticum aestivum* L.) with tank mixtures of grass herbicides with broadleaved herbicides. *Plant Protection* **27**, 104-111.
- CHHOKAR, R.S., R.K. SHARMA and S.C. GILL, 2013: Compatibility of herbicides against grassy weeds in wheat. *Indian Journal of Weed Science* **45**, 239-242.
- EPP, J.B., A.L. ALEXANDER, T.W. BALKO, A.M. BUYSSE, W.K. BREWSTER, K. BRYAN, J.F. DAEUBLE, S.C. FIELDS, R.E. GAST, R.A. GREEN, N.M. IRVINE, W.C. LO, C.T. LOWE, J.M. RENGHA, J.S. RICHBURG, J.M. RUIZ and N.M. SATCHIVI, 2015: The discovery of Arylex™™ active and Rinskor™™ active: Two novel auxin herbicides. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* **24**, 362-371.
- DZIKOWSKI, M., J. BECKER, D. LARELLE, B. KAMERICHS and R. GAST :Arylex™™ active - new herbicide active and base for new cereals herbicides, 2016: Zypar™™ and Pixxar™™ EC to control wide range of broadleaf weeds in cereals in Europe. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 297-304.
- HASSAN, G., I. KHAN, S. BIBI and N.H. SHAH, 2008: To investigate the efficacy of different herbicides alone or in mixtures for controlling weeds in wheat. *Pakistanian Journal of Plant Science* **14**, 59-65.
- MC ELLROY, S. and G. BREEDEN, 2006: Is tank-mixing herbicides worth it? *Field Science* **Jan 2006**, 12-15.

Avoxa - neue Wege in der Ungrasbekämpfung in Winterweichweizen, Winterroggen und Wintertriticale

Avoxa - new ways of grass weed control in winter wheat, winter rye and winter triticale

Christoph Krato*, Hans Raffel

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

*Korrespondierender Autor, christoph.krato@syngenta.com

DOI 10.5073/jka.2018.458.047



Zusammenfassung

AVOXA ist eine neues, von Syngenta Agro entwickeltes selektives Herbizid zur Bekämpfung von Ungräsern und Unkräuter in Getreide. Das Produkt ist als Emulsionskonzentrat (EC) mit 41,6 g/l Aktivsubstanz (33,3 g/l Pinoxaden, 8,3 g/l Pyroxsulam) und 8,3 g/l Cloquintocet-mexyl als Safener formuliert. Avoxa kann mit max. 1,8 l/ha in den Getreidekulturen Winterweizen, Winterroggen und Wintertriticale im Frühjahr vom BBCH-Stadium 13 bis zum BBCH-Stadium 32 eingesetzt werden. Neben den Schadgräsern Acker-Fuchsschwanz (ALOMY), Gemeiner Windhalm (APESV), Weidelgrasarten (LOLSS), Flughäfer (AVEFA) und Trespel-Arten (BROSS) werden auch eine Reihe von Unkräutern wie beispielsweise Acker-Vergissmeinnicht (MYOAR), Hirtentäschel-Kraut (CAPBP), Ackerheller-Kraut (THLAR), Vogelsternmiere (STEME) und Ausfallraps (BRSSNN) mit Wirkungsgraden über 90 % kontrolliert. Gegen Kletten-Labkraut (GALAP), Stiefmütterchen-Arten (VIOSS), Ehrenpreis-Arten (VERSS), Kamille-Arten (MATSS) und Taubnessel-Arten (LAMSS) werden durchschnittliche Wirkungsgrade zwischen 80 und 90 % erzielt.

Stichwörter: *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, Herbizid, Pinoxaden, Pyroxsulam

Abstract

AVOXA is a new selective herbicide developed by Syngenta Agro for control of grass and broadleaf weeds in cereals. The product is formulated as an emulsifiable concentrate (EC) containing 41,6 g/L of active ingredient (33.3 g/L Pinoxaden, 8.3 g/L Pyroxsulam) and 8.3 g/L of the safener Cloquintocet-mexyl. AVOXA can be applied at 1.8 L/ha in winter wheat, winter rye and winter triticale from growth stage BBCH 13 to 32. In addition to grass weed control (i.e. ALOMY, APESV, LOLSS, AVEFA, BROSS) it achieves above 90% control on a number of broadleaved weed species such as forget-me-not (MYOAR), shepherd's purse (CAPBP), field pennycress (THLAR), common chickweed (STEME) and volunteer rape (BRSSNN). On average, cleavers (GALAP), pansy species (VIOSS), speedwell species (VERSS), mayweed species (MATSS) and dead-nettle species (LAMSS) are controlled between 80 to 90%.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti*, herbicide, pinoxaden, pyroxsulam

Einleitung

Die Bekämpfung von monokotylen und dikotylen Unkräutern hat eine hohe Bedeutung im deutschen Ackerbau. Höchsterträge können nur realisiert werden, wenn die Verunkrautung effektiv ausgeschaltet wird. Je nach Region, Betriebsstruktur und ackerbaulichen Parametern findet die Ungras- und Unkrautbekämpfung in hohem Maße im Frühjahr statt. Damit werden im Bezug auf Leistungstärke, Wirkungssicherheit und Flexibilität hohe Ansprüche an die Herbizide gestellt.

Mit Avoxa steht ein neuer Baustein zur Kontrolle der wichtigen Leitungsgräser Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*), Gemeiner Windhalm (*Apera spica-venti*) und einjährigen zweikeimblättrigen Unkräutern zur Verfügung. In Avoxa sind die beiden Wirkstoffe Pinoxaden [33,3 g/l ai] und Pyroxsulam (8,3 g/l ai) sowie der Safener Cloquintocet-mexyl [8,3 g/l] in einem Emulsionskonzentrat (EC) formuliert. Avoxa kann mit einer maximalen Aufwandmenge von 1,8 l/ha in den Kulturen Winterweichweizen, Winterroggen und Wintertriticale eingesetzt werden.

Avoxa ist das erste Produkt, das 2 Wirkstoffe aus den Wirkstoffklassen der ACCase-Inhibitoren (HRAC: A) und der ALS-Inhibitoren (HRAC: B) vereint. Beide Wirkstoffe haben eine hohe Potenz gegen Ungräser und werden mit sehr robusten Wirkstoffmengen gegen die Zielungräser eingesetzt (Tab. 1). Somit kann Avoxa einen Beitrag in einem aktiven Anti-Resistenz-Management leisten, indem das Produktkonzept zur Vorbeugung bzw. Verzögerung von Resistenzen eingesetzt

wird. Die Kombination unterschiedlicher Wirkungsmechanismen kann das Auftreten von Herbizid-resistenz zeitlich stark verzögern (POWLES et al., 1997; DIGGLE et al., 2003; BECKIE und REBOUD, 2009; BAGAVATHIANNAN et al., 2014).

Die Zulassung von Avoxa wird rechtzeitig zur Anwendung in der Saison 2018 erwartet.

Tab. 1 Ausgebrachte Wirkstoffmengen in Abhängigkeit der Aufwandmenge von Avoxa und des Ziel-Ungrases.

Tab. 1 Amount of active ingredient depending on the product rate of Avoxa and the target monocotyle-donous weed.

	Feldaufwandmenge Avoxa			
	1,8 l/ha		1,35 l/ha	
Ungras	Wirkstoff 1 Pinoxaden	Wirkstoff 2 Pyroxsulam	Wirkstoff 1 Pinoxaden	Wirkstoff 2 Pyroxsulam
<i>Alopecurus myosuroides</i>	59,9 g	14,9 g	-	-
<i>Apera spica-venti</i>	-	-	45 g	11,2 g

Material und Methoden

Die Freilandversuche zur Überprüfung der Wirksamkeit, der Kulturpflanzen-Selektivität und der Nachbaueignung wurden in den Jahren 2011 bis 2017 in den Kulturen Winterweichweizen, Winterroggen und Wintertriticale durchgeführt. Alle Versuche wurden auf Praxisflächen als randomisierte Blockanlage (Parzellengröße min. 7,5 m²) mit 3 bis 4 Wiederholungen pro Prüfglied angelegt. Die Bonituren wurden visuell auf Selektivität und Wirkung gemäß den entsprechenden EPPO-Richtlinien durchgeführt. Die Bewertung erfolgte in [%] im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. In den Wirkungsversuchen wurde nach dem Ähren- bzw. Rispen schieben der Ungräser in den meisten Fällen eine zusätzliche abschließende Zählung der Ähren bzw. Rispen der Ungräser [pro m²] vorgenommen.

Parallel zu den Wirksamkeitsversuchen im Freiland wurde Avoxa seit 2014 im Rahmen des Herbizid-Resistenz-Monitorings an der Technischen Hochschule Bingen auf Wirksamkeit gegen Acker-Fuchsschwanz und Windhalm untersucht. Hierbei wurden bislang 281 Acker-Fuchsschwanz-Biotypen bzw. 171 Windhalm-Biotypen, entnommen aus landwirtschaftlichen Praxisflächen, in einem Biotest im Gewächshaus analysiert. Die Herkünfte wurden in einem gedämpften sandigen Lehm (pH 6,3, Humusgehalt 2 %) in Jiffy Pots ausgesät, unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus angezogen und durch Anstauen von unten nach Bedarf bewässert. Zu BBCH 11-12 erfolgte eine Behandlung mit Avoxa und Vergleichsmitteln in einer Spritzkabine (Schachtner). Die Herbizidwirkung wurde nach ca. 3 Wochen als Wirkungsgrad [%] im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle visuell bonitiert. Die Resistenzeinstufung erfolgte im Vergleich zu sensitiven und resistenten Referenzherkünften in 5 Klassen nach CLARKE et al. (1994).

Ergebnisse und Diskussion

Durch die Kombination der beiden Wirkstoffe Pinoxaden und Pyroxsulam besitzt Avoxa ein sehr breites Wirkungsspektrum gegen Ungräser. Die wichtigen Leitungräser im Getreidebau können sicher bekämpft werden. Bei Acker-Fuchsschwanz und der Tauben Tresse (*Bromus sterilis*) zeigt sich eine klare Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen den Aufwandmengen 1,8 l/ha und 1,35 l/ha (Tab. 2). Durch den Wirkstoff Pyroxsulam werden zusätzlich verschiedene einjährige Unkräuter erfasst. Mit der maximalen Aufwandmenge von 1,8 l/ha können z. B. Acker-Vergissmeinnicht (*Myosotis arvensis*), Hirtentäschel-Kraut (*Capsella bursa-pastoris*), Ackerheller-Kraut (*Thlaspi arvense*), Vogel-Sternmiere (*Stellaria media*) und Ausfallraps (*Brassica napus*) mit Wirkungsgraden über 90 % bekämpft werden.

Tab. 2 Wirkungsspektrum von Avoxa in Abhängigkeit der Aufwandmenge und des Ziel-Ungrases bzw. Unkrauts. Angegeben ist der Median [%] inklusive Minimum und Maximum. Versuchsjahre 2011 - 2016, abschließende Bonitur. Die Versuchsstandorte lagen in Deutschland, Frankreich, Polen, Lettland, Litauen, Estland, Tschechien, Österreich, der Schweiz und der Slowakei.

Tab. 2 Efficacy of Avoxa depending on field rate and target weed. Median [%] + min/max. Trial years 2011 - 2016, final assessment. The trial sites were located in Germany, France, Poland, Latvia, Lithuania, Estonia, Czech Republic, Austria, Switzerland and Slovakia.

Ungras / Unkraut	Anzahl n	1,8 l/ha	Streuung min - max [%]	Anzahl n	1,35 l/ha	Streuung min - max [%]
		Ø Wirkungs- grad [%]			Ø Wirkungs- grad [%]	
<i>Alopecurus myosuroides</i>	92	96	43-100	27	88	33-100
<i>Apera spica-venti</i>	18	100	96-100	131	100	64 - 100
<i>Avena fatua</i>	13	96	45-100	13	93	32-100
<i>Bromus sterilis</i>	10	98	50-100	4	87	23-98
<i>Lolium multiflorum</i>	13	99	91-100	4	98	92-98
<i>Lolium perenne</i>	7	99	63-100	6	97	47-100
<i>Poa annua</i>	2	45	15-90	9	10	0-83
<i>Poa trivialis</i>	4	92	63-99	4	82	54-98
<i>Aethusa cynapium</i>	2	81	73-88	-	-	
<i>Anthemis arvensis</i>	2	95	89-100	5	89	77-91
<i>Brassica napus</i>	5	99	93-100	5	98	92-100
<i>Brassica rapa</i>	5	100	88-100	-	-	
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	5	98	90-100	25	97	70-100
<i>Centaurea cyanus</i>	6	68	17-95	12	60	13-84
<i>Chenopodium album</i>	7	93	73-98	-	-	
<i>Descurainia sophia</i>	5	90	82-100	-	-	
<i>Fumaria officinalis</i>	2	43	0-86	-	-	
<i>Galeopsis</i> spp.	-	-		2	92	83-100
<i>Galium aparine</i>	44	94	43-100	45	88	53-100
<i>Geranium dissectum</i>	4	88	27-96	-	-	23-97
<i>Geranium</i> spp.	-	-		8	57	
<i>Lamium amplexicaule</i>	4	85	35-95	-	-	
<i>Lamium purpureum</i>	8	85	43-100	-	-	
<i>Lamium</i> spp.	-	-		14	85	80-95
<i>Matricaria chamomilla</i>	16	98	57-100	38	92	40-100
<i>Matricaria inodora</i>	6	84	60-100	11	90	73-100
<i>Matricaria</i> spp.	-	-		5	97	58-100
<i>Myosotis arvensis</i>	6	99	57-100	19	85	20-100
<i>Papaver rhoeas</i>	18	40	25-93	13	67	0-90
<i>Polygonum aviculare</i>	2	87	73-100	3	67	48-88
<i>Polygonum convolvulus</i>	6	95	92-100	9	89	30-100
<i>Polygonum persicaria</i>	-	-		1	100	
<i>Raphanus raphanistrum</i>	1	98		1	95	
<i>Senecio vulgaris</i>	-	-		2	98	97-100
<i>Sinapis arvensis</i>	-	-		1	73	
<i>Sisymbrium officinale</i>	6	96	50-100	-	-	
<i>Sisymbrium</i> spp.	-	-		5	98	50-100
<i>Stellaria media</i>	18	93	90-100	25	98	43-100
<i>Thlaspi arvense</i>	2	100	99-100	2	93	89-97
<i>Veronica agrestis</i>	2	100		3	75	73-100
<i>Veronica arvensis</i>	4	75	65-98	-	-	
<i>Veronica hederifolia</i>	13	97	20-100	20	88	20-100
<i>Veronica persica</i>	14	97	30-100	9	85	50-96
<i>Viola arvensis</i>	21	97	6-100	73	92	42-100
<i>Viola</i> spp.	-	-		4	91	72-99
<i>Viola tricolor</i>	4	94	88-99	-	-	

Die sehr solide Datengrundlage aus mehrjährigen Feld und Gewächshausversuchen (Resistenz-Monitoring TH Bingen) zeigt einen deutlichen Wirkungsvorteil der Mischung Pinoxaden + Pyroxsulam im Vergleich zu den Einzelkomponenten (Tab. 3 und 4) sowohl gegen Acker-Fuchsschwanz als auch Windhalm. Speziell die Schwankung der Wirkungsgrade wird durch die Wirkstoffkombination deutlich verringert.

Tab. 3 Wirksamkeit von Pinoxaden + Pyroxsulam (Avoxa) gegen *Alopecurus myosuroides* im Vergleich zu Pinoxaden (Axial 50) und Pyroxsulam (Vergleichsmittel). Angegeben ist der Median [%] inklusive Minimum und Maximum. DE, Versuchsjahre 2014 - 2017, Feld- und Gewächshausversuche (Resistenz-Monitoring TH Bingen).

Tab. 3 Efficacy of Pinoxaden + Pyroxsulam (Avoxa) against *Alopecurus myosuroides* compared to Pinoxaden (Axial 50) and Pyroxsulam (competitor product). Data is given as median [%] + min/max. Germany, trial years 2014 - 2017, field and glasshouse (Resistance Monitoring TH Bingen).

	Median Wirkungsgrad [%]	
	Streuung (min-max)	
	Gewächshaus n = 281	Feldversuche n = 27
Avoxa [1,8 l/ha]	95 (0-100)	97 (75-100)
Axial 50 bzw. Traxos* [1,2 l/ha]	54 (0-100)	92 (17-100)
Vergleichsmittel [0,22-0,24 kg/ha + FHS 0,6 -1,0 l/ha]	91 (0-100)	93 (35-100)

*zusätzlich Clodinafop-propargyl 25 g/l Aktivsubstanz

Die Entwicklung metabolischer Resistenz wird gemeinhin als sehr große Gefahr für die nachhaltige Wirkungsstärke von Herbiziden angesehen (DELYE et al., 2011; YU und POWLES, 2014). Basierend auf einer Studie von ROSENHAUER et al. (2013) kann die Bedeutung der metabolischen Resistenz bei Acker-Fuchsschwanz beurteilt werden. Von 653 Acker-Fuchsschwanz-Biotypen zeigten 56,7 % eine Resistenz gegen ACCase-Inhibitoren und 10,6 % eine Resistenz gegen ALS-Inhibitoren. Für die 370 ACCase-resistenten Biotypen und die 69 ALS-resistenten Biotypen konnten aber nur in 98 Fällen bzw. 2 Fällen eine Target-Site-Mutation nachgewiesen werden.

Tab. 4 Wirksamkeit von Pinoxaden + Pyroxsulam (Avoxa) gegen *Apera spica-venti* im Vergleich zu Pinoxaden (Axial 50) und Pyroxsulam (Vergleichsmittel). Angegeben ist der Median [%] inklusive Minimum und Maximum. Deutschland, Versuchsjahre 2014 - 2017, Feld- und Gewächshausversuche (Resistenz-Monitoring TH Bingen).

Tab. 4 Efficacy of Pinoxaden + Pyroxsulam (Avoxa) against *Apera spica-venti* compared to Pinoxaden (Axial 50) and Pyroxsulam (competitor product). Data is given as median [%] + min/max. Germany, trial years 2014 - 2017, field and glasshouse (Resistance Monitoring TH Bingen).

	Median Wirkungsgrad [%]	
	Streuung [min-max]	
	Gewächshaus n = 171	Feldversuche n = 35
Avoxa [1,1 - 1,35 l/ha]	100 (23-100)	100 (66-100)
Axial 50 [0,9 l/ha]	99 (10-100)	nicht geprüft
Vergleichsmittel [0,13 kg/ha + FHS 0,6 l/ha]	99 (0-100)	97 (7-100)

Aus den Ergebnissen des Syngenta-internen Windhalm-Resistenz-Monitorings geht ebenfalls hervor, dass die metabolische Resistenz beim Windhalm eine immense Bedeutung hat. Dies kann aus dem oftmals sehr starken Anstieg der Sensitivität resistenter Biotypen bei Anwendung von Aufwandmengen höher als der maximal zugelassenen Feldaufwandmenge geschlossen.

Die wiederholte Anwendung reduzierter Herbizidaufwandmengen ist als Grund für die Entwicklung metabolischer Resistenz akzeptiert. Avoxa kombiniert zwei grasaktive Wirkstoffe mit sehr hoher Wirkstoffmenge und beugt der Entwicklung metabolischer Resistenz somit vor.

Ein möglicher Antagonismus zwischen herbiziden Wirkstoffen zur Gräserbekämpfung und Mischpartnern zur Kontrolle von zweikeimblättrigen Unkräutern ist bereits lange bekannt (COUDERCHET und RETZLAFF, 1991; BURKE und WILCUT, 2003; KIM et al., 2006; HAN et al., 2013). Dieser Antagonismus geht häufig zu Lasten der Ungraswirkung. Die Wirkungsstabilität von Avoxa in Mischung mit Herbiziden zur Ergänzung des Wirkungsspektrums der Unkräuter wurde in einer Vielzahl von Feldversuchen untermauert. Als Referenz wurde jeweils die Solo-Anwendung von Avoxa verwendet. Avoxa zeigte sich dort flexibel in Mischungen mit z. B. Sulfonylharnstoffen und synthetischen Auxinen (Tab. 5).

Die Kulturpflanzenverträglichkeit von Avoxa wurde im Rahmen der Zulassungsversuche für Winterweizen (186 Versuche), Winterroggen (25 Versuche) und Wintertriticale (27 Versuche) dokumentiert. Der Wettbewerbsvergleich erfolgte mit regionalen Standards aus den Wirkstoffklassen A und B. In 200 Feldversuchen zeigten sich keine oder nur leichte Phytotoxizitätssymptome in Form von Chlorosen und Wuchshemmungen. Diese lagen unterhalb des Toleranz-Niveaus [10 %]. In 38 Versuchen wurde Phytotoxizitätswerte >10 % bonitiert. Auch diese verschwanden in der Regel wieder und hatten keinen negativen Effekt auf die Ertragsbildung.

Tab. 5 Einstufung des Antagonismus-Risikos bei der Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* für Avoxa + Mischpartner zur Ergänzung des Unkrautspektrums. Deutschland und Österreich, Versuchsjahre 2015 - 2017.

Tab. 5 Classification of the risk for antagonistic effects during the control of *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* with Avoxa + tankmix partner for broadleaved weed control. Germany and Austria, trial years 2015 - 2017.

Mischpartner zur Unkrautkontrolle	Anzahl Datenpunkte	ALOMY	APESV
Chlortoluron	4	nicht geprüft	leichte Wirkungsschwankung an 1 Standort
Diflufenican + Mecoprop-P	4	kein Antagonismus	kein Antagonismus
Florasulam	9	kein Antagonismus	kein Antagonismus
Florasulam + Clopyralid	19	kein Antagonismus	kein Antagonismus
Florasulam + Clopyralid + Fluroxypyr	26	kein Antagonismus	kein Antagonismus
Florasulam + Fluroxypyr	36	kein Antagonismus	kein Antagonismus
Florasulam + Tritosulfuron	38	kein Antagonismus	kein Antagonismus
Fluroxypyr	29	leichte Wirkungsschwankung an 3 Standorten	kein Antagonismus
Halauxifen-methyl + Florasulam	21	kein Antagonismus	kein Antagonismus
Mecoprop-P	29	leichte Wirkungsschwankung an 2 Standorten	leichte Wirkungsschwankung an 3 Standorten
Metsulfuron + Diflufenican	44	kein Antagonismus	kein Antagonismus
Metsulfuron + Tribenuron + Florasulam	37	kein Antagonismus	leichte Wirkungsschwankung möglich
Metsulfuron + Tribenuron	11	kein Antagonismus	kein Antagonismus
Tribenuron	13	kein Antagonismus	kein Antagonismus
Tritosulfuron + Dicamba	7	kein Antagonismus	kein Antagonismus

Die Wirkstoffe Pinoxaden und Pyroxulam haben sehr geringe Halbwertszeiten [DT50] im Boden von 1,05 bzw. 3,3 Tagen. Auf Basis der durchgeführten Nachbau-Versuche konnten innerhalb der

üblichen ackerbaulichen Fruchtfolge keine negativen Effekte auf Folge-Kulturen festgestellt werden.

Literatur

- BAGAVATHIANNAN, M.V., J.K. NORSWORTHY, L. SMITH und P. NEVE, 2014: Herbicides Modelling the Simultaneous Evolution of Resistance to ALS and ACCase Inhibiting Herbicides in Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Clearfield Rice. *Weed Technology* **28**, 89-103.
- BECKIE, H. J. und X. REBOUD, 2009: Selecting for Weed Resistance: Herbicide Rotation and Mixture. *Weed Technology* **23**, 363-370.
- BURKE, I.C. und J.W. WILCUT, 2003: Physiological basis for antagonism of clethodim by CGA362622. *Weed Science* **51**, 671-677.
- 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.
- COUDERCHET, M. und G. RETZLAFF, 1991: The Role of the Plasma Membrane ATPase in Bentazone-Sethoxydim Antagonism. *Pesticide Science* **32**, 295-306.
- DELYE, C., J.A.C. GARDIN, K. BOUSCANSAUD, 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.
- DIGGLE, A.J., P.B. NEVE und F.P. SMITH, 2003: Herbicides used in combination can reduce the probability of herbicide resistance in finite weed populations. *Weed Research* **43**, 371-382.
- HAN, H., Q. YU, G.R. CAWTHRAY und S.B. POWLES, 2013: Enhanced herbicide metabolism induced by 2,4-D in herbicide susceptible *Lolium rigidum* proves protection against diclofop-methyl. *Pest Management Science* **69**, 996-1000.
- KIM, J.S., T.J. WON, B.H. LEE, J.H. YU und C.W. LEE, 2006: Physiological basis for antagonism induced by mixtures of quizalofop-ethyl and bromoxynil in maize (*Zea mays*). *Weed Research* **46**, 236-242.
- POWLES, S.B., C. PRESTON, B. BRYAN und A.R. JUTSUM, 1997: Herbicide Resistance: Impact and Management. *Advances in Agronomy* **58**, 57-93.
- YU, Q. und S. POWLES, 2014: Metabolism-Based Herbicide Resistance and Cross-Resistance in Crop Weeds: A Threat to Herbicide Sustainability and Global Crop Production. *Plant Physiology* **166**, 1106-1118.
- ROSENHAUER, M., B. JASER, F.G. FELSENSTEIN und J. PETERSEN, 2013: Development of target-site resistance (TSR) in *Alopecurus myosuroides* in Germany between 2004 and 2012. *Journal of Plant Diseases and Protection* **120** (4), 179-187.

Efficacy of natural fatty acid based herbicides on mixed weed stands

Wirksamkeit von natürlichen, auf Fettsäuren basierten Herbiziden auf Unkrautbestände

Ivanna Crmaric^{1*}, Martina Keller^{2**}, Jürgen Krauss², Nicolas Delabays¹

¹Institute Earth-Nature-Environment, Haute Ecole du Paysage, d'Ingénierie et d'Architecture (hepia), University of Applied Sciences and Arts of Western Switzerland, Geneva, Switzerland

²Vegetable-Production Extension, Plants and Plant Products, Agroscope, Wädenswil, Switzerland

Corresponding authors, *iva.crmaric@gmail.com; **martina.keller@agroscope.admin.ch

DOI 10.5073/jka.2018.458.048



Abstract

In the search for alternatives to synthetic herbicides we assessed the efficacy of 2 non-selective, natural products. The active substances were fatty acids: one herbicide containing pelargonic acid (C9) and the other containing caprylic (C8) and capric acids (C10). The aim of the study was to determine the dose required to achieve this range of efficacy (ED80) for weed stands with different canopy heights and densities. 2 trials were carried out. Weed stand height varied between 0.05 m (trial 2) and 0.25-0.35 m (trial 1). The herbicides were applied with a logsprayer on plots of 43.5 m². Dose-response curves were calculated using green weed coverage determined by image analyses as response variable. The ED80 increased with increasing weed canopy height: from 0.9 to 1.7 of the standard dose (n) for the caprylic and capric acid containing product and from 0.7 n to 1.7 n for the pelargonic acid containing product.

In conclusion, acceptable efficacies can be achieved if the herbicides are applied on young weed stages. For larger weeds the dose, spray volume and application technology need to be further adjusted. These herbicides could be used for the stale seedbed technique, crop pre-emergence or inter-row applications. Nevertheless, the relatively high price of these natural herbicides limits their broader use.

Keywords: Alternatives to synthetic herbicides, caprylic acid, capric acid, logsprayer, natural herbicides, pelargonic acid

Zusammenfassung

Auf der Suche nach Alternativen zu synthetisch-chemischen Herbiziden wurde die Wirksamkeit von 2 nicht selektiven «Naturherbiziden» geprüft. Der Wirkstoff von einem Produkt enthielt Pelargonsäure (C9), der andere enthielt Caprylsäure (C8) und Caprinsäure (C10). 2 Versuche wurden angelegt, um die Aufwandmenge für eine Wirkung von 80 % (ED80) auf Mischverunkrautungen mit unterschiedlicher Bestandeshöhe zu bestimmen. Die Unkrauthöhe betrug 0,05 m (Versuch 2) und 0,25-0,35 m (Versuch 1). Die «Naturherbizide» wurden mit einem Logsprayer ausgebracht. Die Parzellengröße betrug 43,5 m². Dosis-Wirkungskurven wurden basierend auf dem Merkmal grüner Unkrautbedeckungsgrad bestimmt, der anhand von Bildanalyse berechnet worden war. Der ED80 stieg mit zunehmender Unkrauthöhe: Von 0,9 auf 1,7 der Standardaufwandmenge (n) für das capryl- und caprinsäurehaltige Produkt und von 0,7 n auf 1,7 n für das pelargonsäurehaltige.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit diesen «Naturherbiziden» eine ausreichende Wirkung gegen junge Unkräuter erzielt werden kann. Um eine ausreichende Wirkung gegen größere Unkräuter erzielen zu können, müsste die Aufwandmenge, die Wasseraufwandmenge und die Applikationstechnologie noch weiter optimiert werden. Diese Produkte eignen sich gut für eine Anwendung auf dem falschen Saatbeet, im Voraufbau der Kultur oder im Bereich zwischen den Reihen bei Reihenkulturen. Die verbreitete Anwendung dieser „Naturherbizide“ ist auf Grund ihres hohen Preises zurzeit nicht ökonomisch.

Stichwörter: Alternativen zu synthetisch-chemischen Herbiziden, Caprylsäure, Caprinsäure, Logsprayer, Naturherbizide, Pelargonsäure

Introduction

Synthetic-herbicides allow effective and cheap weed control (KRAEHMER and STUEBLER, 2012). However, their use is currently highly debated due to their downsides such as the development of resistance, water contamination, reduction of biodiversity and potential human toxicity (BOSCHETTO, 2013). In addition, many active substances have been lost or their use has been restricted due to the re-evaluation process (KARABELAS et al., 2009). In Switzerland for example the re-evaluation of glufosinate was completed in 2013 (ANONYMOUS, 2015). For arable crops the fallow

treatment, for potatoes the desiccation application and for vegetables as for potatoes the pre-emergence treatment could not be registered further. In addition, the number of applications were restricted in many crops and the amount of active substance to be applied per pass was reduced (ANONYMOUS, 2013). In Germany, no glufosinate containing products are registered anymore (ANONYMOUS, 2017).

An alternative could be natural herbicides, often based on fatty acids. They are non-systemic, contact herbicides. VAUGHN and HOLSER (2007) specify further, that they affect the cuticle, which protects the leaf from evaporation and desiccation. These fatty acids solubilize the lipids. Sprayed foliage wilts and then dies. For that reason, these products can be used for the desiccant application e.g. in potatoes (COLEMAN and PENNER, 2008). For example, pelargonic acid showed good efficacy on young weed stages (reference to the study cited by WEBBER et al., 2014).

The persistence of these natural products is generally lower and as a consequence their impact on the environment is also lower (FUKUDA et al., 2004). Their rapid degradation is also a drawback as it affects their efficacy (DAYAN et al., 2012). Nevertheless, they could be an alternative to non-selective synthetic herbicides with foliar activity whose use has been restricted or might become more restricted. Efficacy data of such natural herbicides – especially dose-response curves for mixed weed stands of weeds common in Switzerland is not broadly available. Therefore, the goal of this study was to determine dose-response curves and the efficacy of 2 nonselective, foliar active, natural herbicides on mixed weed stands.

Materials and methods

Two trials were carried out in plastic tunnels at the research station of Agroscope in Wädenswil in Switzerland (47.2223 N, 8.6689 E) in 2016. Such plastic tunnels are typically used for vegetable production in Switzerland. The soil was a sandy loam (3.5% OM, 16% clay, 21% silt, 59.5% sand; pH 6.8). Both experiments were conducted in a randomized complete block design with 2 replicates (r1 and r2). Plot dimension was 1.5 m x 29 m.

To ensure a mixed weed stands common chickweed (*Stellaria media*), common speedwell (*Veronica persica*), barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) and small-flowered quickweed (*Galinsoga parviflora*) (Appels Wilde Samen GmbH, Darmstadt, Germany) had been sown on July 13. Nevertheless, the dominant species in trial 1 was hairy galinsoga (*Galinsoga ciliata*) which had mainly established naturally. In trial 2, no weeds were sown before the trial; weed coverage consisted of 90% *S. media*, the remaining 10% were *G. parviflora* and *V. persica*. At the time of application, the weed stand height was 0.05 m (trial 2) and 0.25-0.35 m (trial 1).

Application was carried out with a 1.5-m-wide logarithmic sprayer; spray volume was 400 L/ha. Nozzle type was IDK12002 (operating pressure: 1.5 bar, flow rate: 0.6 L/min) (Lechler, Metzingen, Germany), nozzle spacing was 0.25 m, nozzle distance from target area was 0.25 m. Application speed was 3.6 kmh. Application took place 10 August (trial 1) and 19 September (trial 2) 2016.

Two natural herbicides containing fatty acids as active substances were tested: H1 containing pelargonic acid (EC, 680 g a.i. L⁻¹) and H2 containing caprylic and capric acids (EC, 470 g a.i. L⁻¹ and 320 g a.i. L⁻¹, respectively). The target dose of H1 was 16 L ha⁻¹, and for H2 target range was 9 to 18 L ha⁻¹. On average 14.5 m of the plot was sprayed, the remaining plot served as untreated control i.e. the response at dose 0.

The response was determined by image analyses: images were taken every meter of each plot 6 (trial 1) and 2 days (trial 2) after treatment, using standard RGB cameras (trial 1: Panasonic Lumix DMC-LF1; trial 2: D90 with object lens AF-S Nikkor 16-85 from Nikon). Field of view was about 0.2 m². Excessive green coverage was determined using the program IMAGING Crop Response Analyser (<http://www.imaging-crops.dk/>) developed and described by RASMUSSEN et al. (2007). In trial 1, 2 images were taken each meter in the centre of the plot, for further analyses the average coverage derived from the images was used. In trial 2, 1 image was taken every meter.

A calibration experiment had shown previously that the applied dose of the logsprayer tended to be too high for the first 2 m, therefore the images taken within this range were not used for modelling.

The R 'drc' package was used for analysis (R CORE TEAM, 2016; RITZ et al., 2015). Dose response curves were determined using a log-logistic model with 4 parameters (RITZ and STREIBIG, 2005; RITZ, 2010):

$$y = C + \frac{D - C}{1 + \exp(b * (\log(x) - \log(ED50)))}$$

Where D denotes the upper and C the lower limit, $ED50$ is the dose required to achieve half of the response, b represents the relative slope around the $ED50$. X is the dose in $L\ ha^{-1}$ and y is the response in excessive green coverage (no coverage: 0, full coverage: 1). Analyses for each trial were done separately. For each herbicide per trial a full and reduced model was fitted: The full model estimated 4 parameters for each replicate and the reduced model estimated 4 parameters for both replicates. The model was reduced, if the F-test comparing the 2 models was not significant (p -value < 0.05). The dose required for an efficacy of 50, 70, 80, 90 and 95% was calculated using the ED-function in the 'drc' package. According to the manufacturer of these natural herbicides an efficacy of 80% is considered adequate for them to be successful in the market.

Results

For each individual plot a dose response curve was modelled (F-tests were significant). In trial 2 the natural herbicides were sprayed on a weed stand with a canopy height of 0.05 m, weed coverage ranged between 30 and 60% in the untreated control plots. With the doses recommended by the manufacturer; 16 $L\ ha^{-1}$ for H1 and with the higher range recommended for H2 (9-18 $L\ ha^{-1}$); we achieved a strong response *i.e.* a high efficacy (Fig. 1): For H1 ED_{80} was 11.8 $L\ ha^{-1}$ (r1) and 11.5 $L\ ha^{-1}$ (r2) and for H2 ED_{80} was 17.6 $L\ ha^{-1}$ (r1) and 14.7 $L\ ha^{-1}$ (r2), correspondingly (Tab. 1). Less response *i.e.* lower efficacy was observed in trial 1, in which the natural herbicides were applied on a dense weed stand with a canopy height of 0.25 to 0.35 m (Fig. 2). For r1 the lower asymptote C was -20.7 for H1 and 0.2 for H2. For H1 r1 no EDs were calculated, because the parameter C was not biologically meaningful. For r1 H2 no EDs were calculated either, as even at high doses no complete weed control could be achieved (weed coverage 0.2). For H1 r2 the EDs have to be interpreted with caution as even at high doses, weed coverage was still 0.1 ($C = 0.1$). For H1 ED_{80} was 26.9 $L\ ha^{-1}$ and for H2 31.2 $L\ ha^{-1}$. This was 2.3 and 1.9 times more compared to the trial 2 for H1 and H2, correspondingly.

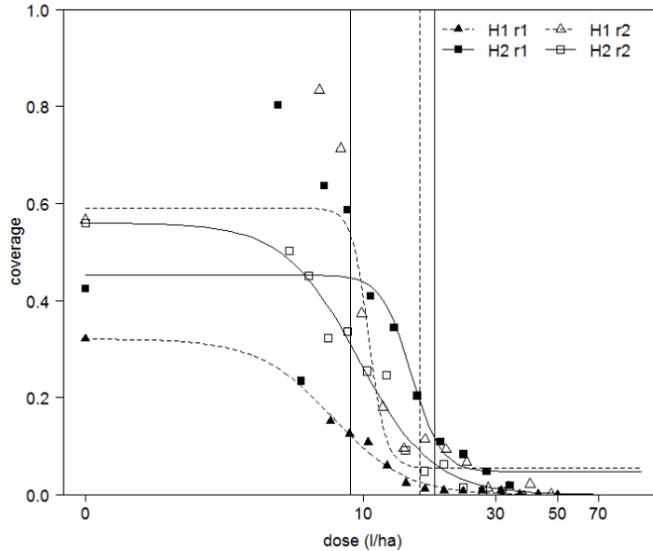


Fig. 1 Dose response curves for H1 (pelargonic acid) and for H2 (caprylic and capric acids) for trial 2 (weed canopy height 0.05 m). Vertical lines: target range for H2, vertical dotted line: target dose for H1, r1: replicate 1, r2: replicate 2.

Abb. 1 Dosis-Wirkungskurven für H1 (Pelargonsäure) und für H2 (Caprylsäure und Caprinsäure) vom Versuch 2 (Unkrauthöhe 0,05 m). Vertikale Linien: Zielbereich von H2, vertikale gepunktete Linie: Zielaufwandmenge von H1, r1: Wiederholung 1, r2: Wiederholung 2.

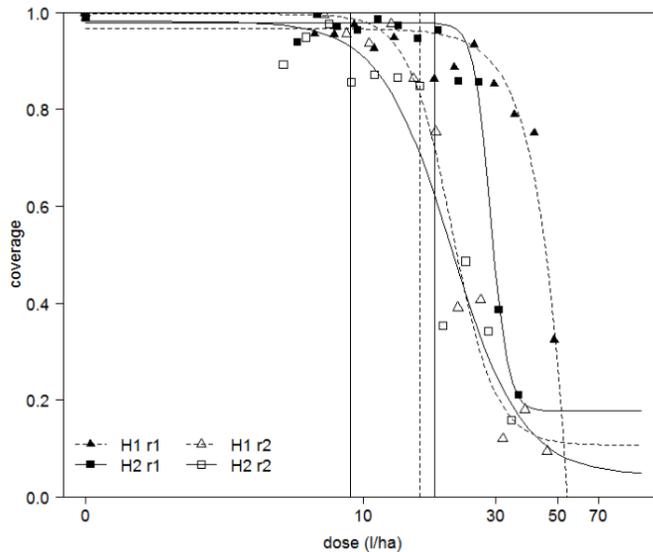


Fig. 2 Dose response curves for H1 (pelargonic acid) and for H2 (caprylic and capric acids) for trial 1 (weed canopy height 0.25m to 0.35m). Vertical lines: target range for H2, vertical dotted line: target dose for H1, r1: replicate 1, r2: replicate 2.

Abb. 2 Dosis-Wirkungskurven für H1 (Pelargonsäure) und für H2 (Caprylsäure und Caprinsäure) vom Versuch 1 (Unkrauthöhe 0,25 m bis 0,35 m). Vertikale Linien: Zielbereich von H2, vertikale gepunktete Linie: Zielaufwandmenge von H1, r1: Wiederholung 1, r2: Wiederholung 2.

Tab. 1 Calculated doses (ED) for H1 (pelargonic acid) and for H2 (caprylic and capric acids) from trial 1 and trial 2 for efficacies of 50, 70, 80, 90 and 95%.

Tab. 1 Berechnete Aufwandmengen (ED) für H1 (Pelargonsäure) und für H2 (Caprylsäure und Caprinsäure) von Versuch 1 und 2 für Wirksamkeiten von 50, 70, 80, 90 und 95 %.

Herbicide	Efficacy	Trial 2 Weed height 0.05m ED (L ha ⁻¹)		Trial 1 Weed height 0.25-0.35 m ED (L ha ⁻¹)	
		rep 1	rep 2	rep 1 ¹⁾	rep 2
H1	50	7.7	10.5	-	20.9
	70	10.0	11.1	-	24.3
	80	11.8	11.5	-	26.9
	90	15.1	12.2	-	31.1
	95	19.0	12.9	-	35.7
H2	50	14.9	9.6	-	20.7
	70	16.5	12.5	-	26.6
	80	17.6	14.7	-	31.2
	90	19.4	18.9	-	39.6
	95	21.2	23.8	-	49.4

1) For trial 1 rep 1 no EDs were calculated.

Discussion

A high efficacy could be achieved with both tested natural herbicides, when they were applied on young weeds *i.e.* on a weed stand with a canopy height of 0.05 m. In contrast, no adequate weed control was achieved, when the natural herbicides were applied on a dense weed stand with a canopy height of 0.25 to 0.35 m (trial 1). At the time of application, the weed stand consisted of several leaf layers and only the top layers were burnt by the foliar active natural herbicides. Thus, we could not estimate meaningful ED80 for r1. In contrast, in the other replicate an efficacy of 80% (ED80) could be achieved at 1.7 times of the doses recommended for both products. Generally, to achieve a higher efficacy, the application should be repeated.

The application in trial 1 was carried out in the morning and there was still dew on the leaves. In addition, this might have negatively affected the efficacy. Due to their sole contact activity of these natural herbicides, they should be preferably applied on dry leaves (WEBBER et al., 2010). The trials were sprayed with 400 L ha⁻¹. Possibly the efficacy could be further improved, if the application technology was further optimized or the spray volume was increased. However, the latter would also increase the risk of run off from the target area, meanwhile the leaf layers at the bottom of the canopy would still remain largely unsprayed.

Due to their high efficacy on small and young weeds, these natural herbicides are suited for crop pre-emergence inter-row applications or on fallow land. They can be further applied on a stale seed bed, when adverse conditions impede mechanical weed control pass.

Apart from being effective, the products must be affordable for the farmers. The natural herbicide Finalsan® (188 g pelargonic acid L⁻¹, SL) is the best known natural herbicide in Switzerland. It is normally used in home gardens in ornamentals, lawns and turfs (target market). Therefore, the price is relatively high: The recommended dose is 166 L ha⁻¹, which amounts to 2'500 CHF ha⁻¹ (2'185 EUR ha⁻¹) (ANONYMOUS, 2017a). In contrast the application's cost of the non selective foliar active herbicide Basta®150 (150 g L⁻¹ Glufosinate, SL, Bayer) costs for example at the recommended dose of 4.5 L ha⁻¹ 135 CHF ha⁻¹ (120 EUR ha⁻¹) (ANONYMOUS, 2017b). To become a true alternative to non selective, synthetic, contact herbicides, the price of these natural products needs to be similar to the price of the conventional herbicides.

References

- ANONYMOUS, 2013: Feldbau - Ergebnisse der Überprüfung bewilligter Pflanzenschutzmittel 2013; Gemüsebau - Ergebnisse der Überprüfung bewilligter Pflanzenschutzmittel 2013; Obstbau - Ergebnisse der Überprüfung bewilligter Pflanzenschutzmittel 2013; Weinbau - Ergebnisse der Überprüfung bewilligter Pflanzenschutzmittel 2013 [Results of the re-evaluation of pesticides in arable, vegetable crops, orchards and vineyards] Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF, Bundesamt für Landwirtschaft Fachbereich Nachhaltiger Pflanzenschutz.
- ANONYMOUS, 2015: Liste der Wirkstoffe, bei denen die Gezielte Überprüfung der Pflanzenschutzmittel-Produkte abgeschlossen wurde [list of the active substances for whose the re-evaluation process for the plant protection products was completed]. Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF, Bundesamt für Landwirtschaft Fachbereich Nachhaltiger Pflanzenschutz.
- ANONYMOUS, 2017: Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel [list of registered plant protection products], Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit BVL. Consulted on November 2nd, 2017 <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp>
- ANONYMOUS, 2017a: Website of Andermatt biocontrol consulted on September 29, 2017. https://www.biocontrol.ch/fr_bc/finalsan
- ANONYMOUS, 2017b: Bayer Verbraucherpreisliste 2017 – Landi – Price list for the Bayer's product in Switzerland for the Landi Shop
- BOSCHETTO, G., 2013: Evaluation de la pertinence de l'utilisation des herbicides en lien avec le développement durable [evaluation of the importance of herbicide use in connection with a sustainable development]. Canada: University of Sherbrooke.
- COLEMAN, R. and D. PENNER, 2008: Organic Acid Enhancement of Pelargonic Acid. *Weed Technology* **22**(1), 38-41.
- DAYAN, F.E., D.K. OWENS and S.O. DUKE, 2012: Rationale for a natural products approach to herbicide discovery. *Pest Management Science* **68**(4), 519-528.
- FUKUDA, M., Y. TSUJINO, T. FUJIMORI, K. WAKABAYASHI and BÖGER, P., 2004: Phytotoxic activity of middle-chain fatty acids I: effects on cell constituents. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **80** (3), pp.143-150.
- KRAEHMER, H. and H. STUEBLER, 2012: Technical demands and political restrictions for weed control. 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control, March 13-15, 2012, Braunschweig, Germany.
- R CORE TEAM, 2016: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RASMUSSEN, J., M. NORREMARK and B. BIBBY, B. M., 2007: Assessment of leaf cover and crop soil cover in weed harrowing research using digital images. *Weed Research* **47**(4), 299-310.
- RITZ, C., 2010: Toward a unified approach to dose-response modeling in ecotoxicology. *Environmental, Toxicology and Chemistry* **29**, 220-229.
- RITZ, C. and J.C. STREIBIG, 2005: Bioassay analysis using R. *Journal of statistical software* **12**(5), 1-22.
- RITZ, C., F. BATY, J.C. STREIBIG and D. GERHARD, 2015: Dose-Response Analysis Using R *PLOS ONE*, **10**(12), 1-13.
- VAUGHN, S.F. and R.A. HOLSER, 2007: Evaluation of biodiesels from several oilseed sources as environmental friendly contact herbicides. *Industrial Crops and Products* **26**(1), 63-68.
- WEBBER, C.L., J.W. SHREFLER, L. BRANDENBERGER, M.J. TAYLOR, L.K. CARRIER and D.K. SHANNON, 2010: Weed Control Efficacy With Ammonium Nonanoate for Organic Vegetable Production. *International Journal of Vegetable Science* **17**(1), 37-44.
- WEBBER, C.L., M.J. TAYLOR and J.W. SHREFLER, 2014: Weed control in yellow squash using sequential postdirected applications of pelargonic acid. *Horticultural Technology* **24**, 25-29.

Clearfield®-Clentiga® Runway® Pack - eine flexible Komplettlösung für die Unkrautbekämpfung in Winterraps im Nachauflauf

Clearfield®-Clentiga® Runway Pack: A flexible solution for complete post-emergence weed control in winter oilseed rape

Alfons Schönhammer*, Hagen Bremer, Joachim Freitag

BASF SE, Agrarzentrum Limburgerhof, 67117 Limburgerhof, Germany
*Korrespondierender Autor, alfons.schoenhammer@basf.com

DOI 10.5073/jka.2018.458.049



Zusammenfassung

Das seit 2015 zugelassene Herbizid Clearfield-Clentiga ist für die flexible Anwendung im Nachauflauf im Clearfield-Winterraps konzipiert und ermöglicht den vollständigen Verzicht auf die Anwendung von Bodenherbiziden im Voraufbau/frühen Nachauflauf. Als idealer Ergänzungspartner für Clearfield-Clentiga (1,0 l/ha + 1,0 l/ha Dash E.C.) hat sich in der Praxis und in Versuchen 0,2 l/ha Runway erwiesen.

Die stets sehr gute Raps-Verträglichkeit der Clearfield-Herbizide wird auch in der Kombination mit Runway nicht maßgeblich beeinflusst. Gelegentlich auftretende temporäre Blattdeformationen, wie sie für synthetische Auxin-Herbizide typisch sind, beeinträchtigen die weitere Raps-Entwicklung nicht.

Das Wirkungsspektrum des Clearfield-Clentiga Runway Packs umfasst alle 28 geprüften dikotylen Unkrautarten und mit Ausnahme von Ackerfuchsschwanz auch Ungräser incl. Ausfallgetreide. Besonders hervorzuheben sind die hervorragenden Wirkungsgrade gegen alle kreuzblütigen Unkrautarten einschließlich (Nicht-Clearfield-) Ausfallraps, alle korbblütigen Unkräuter einschließlich Acker-Kratzdistel, alle doldenblütigen Unkräuter, Klettenlabkraut, Taubnessel, Vergissmeinnicht, Mohn und alle sommerannuellen Unkräuter. Auch die im Raps sehr schwer zu bekämpfenden Storchschnabel-Arten, Erdrauch, Vogelmiere, Ehrenpreis und Stiefmütterchen gehören zum Umfang sehr gut bekämpfbarer Unkräuter. Clearfield-Clentiga Runway Pack weist eine sehr gute Terminflexibilität auf: Im geprüften Bereich BBCH 11 – BBCH +14 von Raps unterschieden sich die Wirkungsgrade nur unwesentlich. Entscheidend für die vorrangig über die Blattaufnahme agierenden Wirkstoffe ist es, dass die zu bekämpfenden Unkräuter aufgelaufen sind und sich noch nicht gegenseitig abdecken bzw. noch nicht vom Raps abgeschirmt werden.

Unter spezifischen Bedingungen wie z.B. hoher Besatz mit Ackerfuchsschwanz oder Storchschnabel kann Clearfield-Clentiga Runway Pack auch in Spritzsysteme z.B. mit Metazachlor-, Dimethenamid-P oder Propyzamid-haltigen Herbiziden integriert werden. Die aufgrund der guten Ausfallgetreide-Wirkung mögliche Reduktion der Einsatzintensität von FOP- und DIM-Herbiziden ist hinsichtlich des Resistenzmanagements positiv zu bewerten.

Stichwörter: Clearfield, Clentiga, Imazamox, Nachauflauf, Produktionssystem, Runway, Unkraut, Winterraps

Abstract

Clearfield-Clentiga, which has been registered since 2015, is designed for post-emergence use in Clearfield winter oilseed rape, and allows for the complete elimination of pre-emergence/early post-emergence soil herbicides. As an ideal partner for Clearfield-Clentiga (1.0 L / ha + 1.0 L / ha Dash E.C.), 0.2 L / ha of Runway has excelled in practice and in trials.

The very good crop tolerance of the Clearfield herbicides is not significantly influenced in the combination with Runway. Occasional temporary leaf deformations typical of synthetic auxin herbicides do not interfere with further rape development.

The Clearfield-Clentiga Runway Pack's spectrum of activity includes all 28 tested dicotyledonous weed species, and, with the exception of blackgrass, also grasses, including volunteer cereals. Particularly noteworthy are the excellent efficacy against all cruciferous weed species including (non-Clearfield) volunteer oilseed rape, all compositae weeds including thistle, all umbelliferae weeds, cleavers, deadnettle, forget-me-not, poppy and all summery weeds. But also cranesbill species, which are very difficult to control in rapeseed, fumitory, speedwell, and pansy, belong to the very well controlled weeds. Clearfield-Clentiga Runway Pack shows a very good timing flexibility: In the tested range BBCH 11 – BBCH 14 of oilseed rape, the efficiency differed only insignificantly. The decisive factor for the active substances, which predominantly act via the leaves, is, that the weeds to be controlled have to be emerged and are not yet mutually covering or are not yet screened by the crop.

Under specific conditions, e.g. high infestation with blackgrass or cranesbill, Clearfield-Clentiga Runway Pack can also be used in spraying systems together with metazachlor, dimethenamid-P or propyzamide-containing herbicides. The reduction of the use of FOP and DIM herbicides, which is possible due to the good volunteer cereal control, is to be seen positively with regard to resistance management.

Keywords: Clearfield, Clentiga, imazamox, oilseed rape, post emergence, production system, Runway, weed

Einleitung

Die Unkrautbekämpfung im Rapsanbau ist seit Jahrzehnten geprägt durch die Verwendung von Bodenherbiziden. Deren Einsatz im Vor- oder spätestens sehr frühen Nachauflauf ist mit Unsicherheiten behaftet hinsichtlich der tatsächlich auftretenden Artenzusammensetzung und Dichte der Verunkrautung, des Keim- und Auflaufverhaltens und der wirkungsbeeinflussenden Faktoren wie Bodenfeuchtigkeit, Bodenart, Gehalt an Organischer Substanz, Bodenstruktur, Lagerungsdichte im Keimhorizont und im Krumenbereich, Relief der Bodenoberfläche und Bedeckungsgrad mit Ernterückständen. Eine effiziente Beseitigung der von Schlag zu Schlag und Jahr zu Jahr wechselnden Verunkrautung unabhängig von Bodeneigenschaften erfordert terminlich flexibel einsetzbare blattaktive Herbizide mit einem Wirkungsspektrum, das alle relevanten Unkrautarten erfasst. Die bisher verfügbaren Nachauflauf-Herbizide erfüllten diese Forderung nur unvollständig und müssen deshalb in Spritzfolgen oder Tankmischungen mit Bodenherbiziden ergänzt werden. Im Clearfield-Produktionssystem, das mit dem überwiegend blattaktiven Wirkstoff Imazamox sehr viele im Winterraps bedeutende Unkräuter im Nachauflauf beseitigen kann, wurde mit dem ab 2012 eingeführten Herbizid Clearfield-Vantiga D eine Flexibilisierung des Anwendungstermins im Nachauflauf erreicht. Allerdings setzt der in Clearfield-Vantiga D enthaltene Bodenwirkstoff Metazachlor der Terminwahl Grenzen.

Bei der 26. Deutschen Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung im Jahre 2014 wurde mit Clearfield-Clentiga ein Bodenherbizid-freies Produkt für die Unkrautbekämpfung in Winterraps vorgestellt (SCHÖNHAMMER und FREITAG, 2014). Die in diesem Herbizid enthaltenen Wirkstoffe Imazamox und Quinmerac weisen ein hohes Wirkpotenzial gegen Unkräuter bei Aufnahme über die Laubblätter auf. Dieses wird durch geeignete Adjuvantien verstärkt und im Hinblick auf wechselnde Witterungsparameter stabilisiert. Der Zusatzstoff Dash E.C. erfüllt diese Aufgabe besonders gut und wurde deshalb als vorgeschriebener Mischungspartner für Clearfield-Clentiga zugelassen. Imazamox und Quinmerac werden zwar auch über die Wurzeln aufgenommen und können so auch Unkräuter erfassen, die zum Zeitpunkt der Anwendung noch nicht aufgelaufen sind oder ergänzen die über die Blätter aufgenommenen Wirkstoffmengen, die Blattwirkung muss aber nicht zwangsläufig durch zusätzlich über den Boden aufgenommene Wirkstoffmengen ergänzt werden, um die gewünschte Leistung zu erzielen.

Wie bei der Produktvorstellung von SCHÖNHAMMER und FREITAG (2014) im Detail ausgeführt, besitzt Clearfield-Clentiga ein sehr breites Wirkungsspektrum, weist aber bei einigen wenigen bedeutenden Raps-Unkräutern keine völlig zufriedenstellenden Wirkungsgrade auf. Dies sind neben Stiefmütterchen-Arten vor allem Pflanzen aus der Familie der *Compositae*, als deren wichtigste Vertreter im Raps die verschiedenen Kamille- und Hundskamille-Arten sowie die Kornblume zu nennen wären. Als Ergänzung zu Clearfield-Clentiga wurde deshalb 2014 eine Kombination mit Butisan® Kombi (Dimethenamid-P + Metazachlor) unter der Bezeichnung Clearfield Kombi Pack vorgestellt. Das Zusammenspiel der Blatt- und Bodenwirkstoffe gewährleistet in der Tat sehr hohe und zuverlässige Wirkungsgrade, setzt aber voraus, dass die Wirkungsvoraussetzungen für Bodenherbizide gegeben sind. Wenn in der Kombination der beiden Produkte Clearfield-Clentiga und Butisan Kombi die optimalen Anwendungsbedingungen für alle Komponenten angestrebt werden, ist es meistens sinnvoll, Butisan Kombi zum ‚klassischen‘ Termin der Bodenherbizide im Vor- bis sehr frühen Nachauflauf einzusetzen, während mit Clearfield-Clentiga gewartet werden kann und auch sollte, bis die wesentlichen Zielunkräuter aufgelaufen sind. Die völlige Unabhängigkeit vom Boden und ein einmaliger gezielter Anwendungstermin im Nachauflauf lassen sich mit dieser ansonsten sehr starken Kombination nicht realisieren.

Um auch diesen Ansprüchen gerecht zu werden, wurde nach der Zulassung von Clearfield-Clentiga 2016 und 2017 die Kombination mit dem ebenfalls vorwiegend über die Laubblätter aufgenommenen Herbizid Runway, bestehend aus den Wirkstoffen Aminopyralid, Clopyralid und Picloram, das insbesondere gegen Korbblütler eine besondere Leistungsstärke aufweist, empfohlen. Aufgrund der sehr positiven praktischen Erfahrungen und der Ergebnisse mehrjährig durchgeführten Exaktversuche, soll diese Tankmischung in Zukunft unter der Bezeichnung Clearfield-Clentiga Runway Pack als ‚Bodenherbizid-freie‘ Herbizidkombination im Handel angeboten werden.

Material und Methoden

Beschreibung der Herbizide

Clearfield-Clentiga ist ein Suspensionskonzentrat (SC) bestehend aus den Wirkstoffen Quinmerac (250 g/l) und Imazamox (12,5 g/l). Die Zulassung ist erteilt mit einer Aufwandmenge von 1,0 l/ha in Kombination mit 1,0 l/ha des Adjuvants Dash E.C.. Hinsichtlich der Wirkstoffmenge pro Hektar entspricht es Clearfield-Vantiga D ohne Metazachlor. Runway ist als Wasserlösliches Konzentrat (SL) formuliert und enthält Aminopyralid (40 g/l), Clopyralid (240 g/l) und Picloram (80 g/l). Eingesetzt wird Runway mit 0,2 l/ha. Der Clearfield-Clentiga Runway Pack enthält als weitere Komponente Dash E.C. (1,0 l/ha).

In Tabelle 1 sind einige produktbezogene Parameter des Clearfield-Clentiga Runway Pack dargestellt.

Tab. 1 Die wichtigsten Parameter der Komponenten des Clearfield-Clentiga Runway Pack.

Tab. 1 *The main parameters of the components of the Clearfield-Clentiga Runway Pack.*

Handelsname	Clearfield-Clentiga		Runway		Dash E.C.	
Wirkstoffe (g/l)	Imazamox	12,5	Aminopyralid	40	Fettsäuremethylester	345
	Quinmerac	250	Clopyralid	240	Fettalkoholalkoxyolat	205
			Picloram	80	Ölsäure	46
Aufwandmenge (l/ha)	1,0		0,2		1,0	
Wirkstoffmenge (g/ha)	Imazamox	12,5	Aminopyralid	8	Fettsäuremethylester	345
	Quinmerac	250	Clopyralid	48	Fettalkoholalkoxyolat	205
			Picloram	16	Ölsäure	46
HRAC-Gruppen	B + O		O + O+ O		-	
Kulturen (BBCH)	Winterraps	10-18	Winterraps	NA-H	Keine Beschränkung	
	Winterraps	30-50				
	Sommerraps	10-18				

Versuchsdurchführung und Standorte

In den 4 Versuchsjahren 2013/14 bis 2016/17 wurde die herbizide Wirksamkeit und Kulturpflanzen-Verträglichkeit von Clearfield-Clentiga Runway Pack gemäß Eppo-Richtlinie No. 1/152 (Design and analysis of efficacy evaluation trials) unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Eppo-Richtlinie PP 1/049(3) (Weeds in brassica oil crops) in Clearfield Winterraps-Hybridsorten geprüft. In den Versuchen wurden 3 Verträglichkeitsbonituren im Herbst und eine abschließende Bonitur im Frühjahr vorgenommen. In der Ergebnisdarstellung wurde jeweils nur die Bonitur mit der höchsten Symptomausprägung (Maximalwert) verwendet. Die herbizide Wirksamkeit wurde ebenfalls mehrfach bonitiert: Im Herbst jeweils 2 Wochen nach den verschiedenen Applikationsterminen und im Frühjahr einmal nach Vegetationsbeginn und abschließend im Knospenstadium von Raps. In der Ergebnisdarstellung der herbiziden Wirksamkeit wurde jeweils nur die letzte verfügbare Bonitur verwendet.

Die insgesamt 24 Versuche wurden jeweils als Versuchsserie mit 3 Wiederholungen und einer Mindest-Parzellengröße von 12 Quadratmetern in verschiedenen Regionen verteilt in Deutschland

von Versuchstechnikern der BASF SE auf Praxisflächen durchgeführt. Alle Prüfstellen wiesen eine Zertifizierung nach GEP (Good Experimental Practice) auf.

In allen 4 Prüffahren wurde Clearfield-Clentiga Runway Pack im 1-2-Laubblatt-Stadium (BBCH 11-12) von Raps eingesetzt. In den 3 Prüffahren 2014/15 bis 2016/17 erfolgte in 19 Versuchen eine Applikation zusätzlich zum 3-4-Laubblatt-Stadium (BBCH 13-14) von Raps. Der Vergleich dieser beiden Termine erlaubt Aussagen zur Vorzüglichkeit des Anwendungstermins bei unterschiedlicher Terminierung. Als Vergleichsvarianten dienten in den 3 Prüffahren 2013/14, 2015/16 und 2016/17 in insgesamt 17 Versuchen Clearfield-Vantiga D mit der vollen Aufwandmenge von 2,0 l/ha + 1,0 l/ha Dash E.C. zum frühen Anwendungstermin sowie Butisan Gold mit 2,5 l/ha im Voraufbau bis frühen Nachaufbau (BBCH 11) in 18 Versuchen in ebenfalls 3 Prüffahren (2013/14 bis 2015/16).

Bei den verwendeten Sorten handelt es sich mit einer Ausnahme (WRH 856) um kommerziell in Deutschland und angrenzenden Ländern vertriebene Clearfield-Sorten verschiedener Züchterhäuser. Insgesamt kamen 11 Sorten zum Anbau. Im Einzelnen waren das DK Imminent CL (4x), DK Impression CL (3x), Edimax CL (1x), ES Aquarel CL (1x), PT200 CL (3x), PT228 CL (2x), PT229 CL (1x), PT240 CL (1x), PX100 CL (1x), PX111 CL (2x) und Striker CL (1x).

Ergebnisse

Kulturpflanzenverträglichkeit

In Tabelle 2 sind die Boniturwerte der 4 Versuchsjahre getrennt und über alle Jahre zusammengefasst aufgelistet. Neben der in allen 4 Jahren geprüften Anwendung hauptsächlich im 2-Blatt-Stadium sind auch die in 3 Jahren geprüfte spätere Anwendung und die ebenfalls in 3 Jahren geprüfte Anwendung von Clearfield-Vantiga D zum frühen Termin dargestellt. Erwartungsgemäß traten bei Clearfield-Vantiga D in keinem der drei Versuchsjahre nennenswerte Schadsymptome auf. Meist wurde überhaupt keine Veränderung am Raps beobachtet, der höchste in einem von 17 Versuchen in einem Jahr zu einem Boniturtermin beobachtete Wert lag bei 5 %. Clearfield Clentiga + Runway verhielt sich in den meisten Versuchen ähnlich gut verträglich, allerdings fielen in wenigen Einzelversuchen sowohl zum frühen wie auch zum späten Anwendungstermin Blattverdrehungen und Wölbungen auf, wie sie für synthetische Auxin-Wirkstoffe typisch sind.

Tab. 2 Ergebnisse der Pflanzenschaden-Bonituren von Clearfield-Clentiga Runway pack und Clearfield-Vantiga D- zu verschiedenen Anwendungsterminen in Winterraps.

Tab. 2 Results of phytotoxicity evaluations of applications of Clearfield-Clentiga Runway Pack and Clearfield-Vantiga D at different application timings in winter oilseed rape.

Prüfjahr	n	Pflanzenschaden %					
		Clearfield-Clentiga + Runway 1,0 + 1,0 + 0,2 l/ha				Clearfield-Vantiga D 2,0 + 1,0 l/ha	
		BBCH 11-12		BBCH 13-14		BBCH 11-12	
		mittel	max.	mittel	max.	mittel	max.
2013/14	5	2	4	-	-	0	2
2014/15	7	3	12	2	8	-	-
2015/16	6	11	27	5	9	1	3
2016/17	6	4	9	8	17	2	5
gesamt	24	5	27	5 (19n)	17	1 (17n)	5

Hierbei gab es offensichtlich eine Abhängigkeit von den Prüffahren: Während im Herbst 2013 und 2016 zum frühen Anwendungstermin Clearfield-Clentiga + Runway nahezu symptomlos blieb und auch im Herbst 2014 nur in einem Versuch mit 12 % moderate Symptome auftraten, zeigten sich im Herbst 2015 mit maximal 27 % deutlichere Ausprägungen, wobei auch in 2 anderen Versuchen ähnliches, aber auf niedrigerem Niveau zu beobachten war. Bei der Anwendung zum späteren Termin war dagegen im Herbst 2015 keine nennenswerte Unverträglichkeit zu beobachten. Stattdessen war beim späten Anwendungstermin im Herbst 2016 ein etwas auffälliger Wert zu sehen, während in den beiden anderen Versuchsjahren die Anwendung zum späteren Termin unauffällig blieb.

Herbizide Wirksamkeit

Die Zusammenfassung aller 24 Versuche aus 4 Versuchsjahren stellt das Wirkungsspektrum von Clearfield-Clentiga Runway Pack beim frühen Anwendungstermin dar (Tab. 3 links). Durch die Verwendung der letzten verfügbaren Bonitur, die außer bei den sommerjährigen Unkräutern meist im Zeitraum ‚nach Vegetationsbeginn Frühjahr‘ bis ‚kurz vor Blüte‘ stattgefunden hat, wird die Endwirkung erfasst. Dabei wird in Kauf genommen, dass zunächst hohe Wirkungsgrade im Herbst durch neu auflaufende Pflanzen im Frühjahr etwas zurückgehen. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, wurden die 33 Unkrautarten mehr nach pragmatischen als nach streng botanisch-systematischen Gesichtspunkten in 7 Gruppen aufgeteilt.

Bei den Ungräsern fällt auf, dass wie bei Clearfield-Herbiziden zu erwarten, die Wirkung gegen Ausfallgetreide-Arten und Einjährige Rispel in der Größenordnung um durchschnittlich 80 % bis 85 % recht gut war, Ackerfuchsschwanz dagegen praktisch nicht bekämpft wurde.

Gegen alle kreuzblütigen Unkräuter einschließlich (Nicht-Clearfield-) Ausfall-Raps ist das Ergebnis dagegen eindeutig und stabil mit 97 % - 100 % auf sehr hohem Niveau.

Fast ähnlich zuverlässig stellt sich die Bekämpfung der Kamille-Arten, der Kornblume und der Acker-Kratzdistel dar. Lediglich bei der Geruchlosen Kamille zeigte sich mit 91% Wirkung eine gute, aber nicht komplette Bekämpfung.

Die doldenblütigen Unkräuter Hunds-Kerbel und Gefleckter Schierling traten nur in je einem Versuch auf und wurden erwartungsgemäß jeweils sehr gut bekämpft.

Auf insgesamt niedrigerem Niveau in der Größenordnung von 85 % lagen die Wirkungsgrade gegen die 3 wichtigsten Storchschnabel-Arten. Unter Berücksichtigung des verzettelten Auflaufens von Storchschnabel und der ausschließlich über die Blattaufnahme erfolgenden Wirkung ist dies dennoch ein bemerkenswert gutes Ergebnis.

Bei den übrigen winterjährigen Unkräutern finden sich ebenfalls keine auffälligen Wirkungsschwächen. Sogar gegen das von den meisten Rapsherbiziden kaum erfasste Acker-Stiefmütterchen wurden mit 81 % ausreichende Wirkungsgrade erzielt. Beim Persischen Ehrenpreis lagen die Wirkungsgrade mit 87 % zwar niedriger als von den Bodenherbiziden gewohnt, aber dennoch im akzeptablen Bereich. Sehr hohe Wirkungsgrade kann man dagegen bei wichtigen und von vielen Rapsherbiziden nicht so gut erfassten Arten wie Klatschmohn, Erdrauch, Klettenlabkraut, Taubnessel, Acker-Vergissmeinnicht und Vogelmiere feststellen.

Tab. 3 Ergebnisse der Wirksamkeits-Bonituren von Clearfield-Clentiga Runway Pack bei früher Anwendung im Nachauflauf (BBCH 11-12) von Winterraps in 4 Versuchsjahren und von Clearfield-Clentiga Runway Pack bei früher und späterer Anwendung im Nachauflauf (BBCH 11-12 und BBCH 13-14) von Winterraps in 3 Versuchsjahren.

Tab. 3 Results of efficacy evaluations of Clearfield-Clentiga Runway Pack at early timing in post emergence (BBCH 11-12) of winter oilseed rape from 4 trial seasons and of Clearfield-Clentiga Runway Pack at early and later timing in post emergence (BBCH 11-12 and BBCH 13-14) of winter oilseed rape from 3 trial seasons.

Wirkung %	n 4 Jahre	Clearfield-Clentiga + Runway 1,0 + 1,0 + 0,2 l/ha BBCH 11-12		n 3 Jahre	Clearfield-Clentiga + Runway 1,0 + 1,0 + 0,2 l/ha BBCH 11-12		BBCH 13-14
Ungräser							
Fuchsschwanz, Acker-	1	29		1	29		30
Rispe, Einjährige	1	87		1	87		60
Sommergerste, Ausfall-	3	74		3	74		81
Wintergerste, Ausfall-	4	84		3	81		70
Winterweizen, Ausfall-	4	89		3	85		85
Kreuzblütige Unkräuter							
Raps, Ausfall-	1	98		1	98		97
Hirtentäschel, Gemeines	11	97		8	95		90
Senf, Weißer	1	98		1	98		55
Rauke, Weg-	8	100		7	100		100
Hellerkraut, Acker-	7	97		6	97		98
Korbblütige Unkräuter							
Kamille, Echte	10	98		8	97		88
Kamille, Geruchlose	3	91		2	86		95
Kamille, Strahlenlose	2	100		1	99		99
Kornblume	1	100		1	100		100
Kratzdistel, Acker-	1	98		1	98		98
Doldenblütige Unkräuter							
Kerbel, Hunds-	1	99		1	99		99
Schierling, Gefleckter	1	97		1	97		92
Storchschnabel-Arten							
Storchschnabel, Schlitzblättriger	2	83		2	83		80
Storchschnabel, Kleiner	3	88		2	96		70
Storchschnabel, Rundblättriger	6	81		6	81		87
Winterjährige Unkräuter							
Erdrauch, Gemeiner	2	93		1	86		91
Labkraut, Kletten-	2	98		2	98		97
Taubnessel, Rote	6	99		6	99		98
Vergißmeinnicht, Acker-	2	99		2	99		67
Mohn, Klatsch-	6	96		4	95		98
Vogelmiere	13	94		10	93		89
Ehrenpreis, Persischer	5	87		4	84		86
Stiefmütterchen, Acker-	13	81		12	81		75
Sommerjährige Unkräuter							
Gänsefuß, Weißer	7	99		4	99		97
Franzosenkraut, Kleinblütiges	1	100		1	100		100
Bingelkraut, Einjähriges	1	100					
Knöterich, Winden-	2	98		2	98		90
Kreuzkraut, Gemeines	1	99					

Unkräuter die im Sommer auflaufen und im Winter erfrieren, können die Herbstentwicklung von Raps bei massivem Auftreten beeinträchtigen und tun dies auch häufig, da die Wirksamkeit vieler Raps herbizide gegen Weißen Gänsefuß, Bingelkraut, Winden-Knöterich, Franzosenkraut und Kreuzkraut oft nicht zufriedenstellend ist. Clearfield-Clentiga + Runway erreichte hier mit 98 %-100 % sehr gute Bekämpfungserfolge.

In Tabelle 3 (rechts) werden die in 3 Jahren parallel geprüften Anwendungstermine miteinander verglichen. Der Schwerpunkt der Anwendungen lag beim frühen Termin im 2-Blatt-Stadium von Raps, beim späten Termin im 4-Blatt-Stadium. In wenigen Versuchen lag der Anwendungstermin jeweils geringfügig früher (1-Blatt- bzw. 3-Blatt-Stadium).

Bei den Ungräsern fallen die Wirkungsgrade bei Einjähriger Rispe und Ausfall-Wintergerste beim späteren Anwendungstermin deutlich ab, während bei Ausfall-Sommergerste leicht ansteigende Wirkungsgrade festgestellt wurden.

Auch bei einigen kreuzblütigen Unkräutern ist ein Wirkungsabfall beim späteren Anwendungstermin festzustellen, der bei Hirtentäschel weniger und bei Weißem Senf stärker ausgeprägt war. Bei Ausfall-Raps, Wegrauke und Acker-Hellerkraut hatte der Anwendungstermin dagegen keinen Einfluss auf die hohen Wirkungsgrade.

Gegen die zum frühen Termin weniger gut bekämpfte Geruchlose Kamille wurden bei der späten Anwendung mit 95 % deutlich bessere Resultate erzielt. Umgekehrt verhielt es sich bei der Echten Kamille: Die Wirksamkeit ging von 97 % beim frühen Termin auf 88 % beim späten Termin zurück. Strahllose Kamille, Kornblume und Acker-Kratzdistel wurden zu beiden Terminen sehr gut bekämpft.

Gleiches zeigte sich beim Hundskerbel, während die Wirkung gegen Gefleckten Schierling bei der späten Anwendung mit 92 % etwas geringer war.

Die Storchschnabel-Arten reagierten auf die unterschiedlichen Anwendungstermine ähnlich wie die Kamille-Arten uneinheitlich: Einem deutlichen Wirkungsrückgang bei späterer Anwendung beim Kleinen Storchschnabel stehen etwas bessere Wirkungsgrade bei späterer Anwendung beim Rundblättrigen Storchschnabel gegenüber.

Auch bei anderen winterjährigen Unkräutern ist die Wirksamkeit nicht eindeutig mit dem Anwendungstermin verknüpft. So kam es beim Acker-Vergissmeinnicht beim späteren Termin zu deutlich niedrigeren Wirkungsgraden, bei Vogelmiere und Ackerstiefmütterchen war die Abnahme gering und gegen Erdrauch und Klatschmohn war der spätere Termin sogar vorteilhafter. Die Leistung gegen Klettenlabkraut, Persischen Ehrenpreis und Rote Taubnessel war dagegen kaum terminabhängig.

Bei Gänsefuß und Franzosenkraut war das ebenso, während die Winden-Knöterich-Wirkung beim späteren Termin etwas abnahm.

Betrachtet man die Höhe der Veränderung und die Anzahl der Versuche pro Unkraut, so liegen die Wirkungsgrade beim frühen Anwendungstermin tendenziell höher als beim späten, aber bei den meisten Unkräutern ergeben sich keine eindeutigen Abhängigkeiten zwischen Anwendungstermin und Wirkung.

Der Vergleich zwischen Clearfield-Clentiga+Runway und Clearfield-Vantiga D in Tabelle 4 (links) beim frühen Anwendungstermin erlaubt Aussagen darüber, bei welchen Unkräutern das vorwiegend blattaktive Produkt Runway gegenüber dem Bodenwirkstoff Metazachlor Vor- und Nachteile aufweist.

Ein deutlicher Vorteil zugunsten von Metazachlor ergibt sich bei Ackerfuchsschwanz und tendenziell auch bei Ausfall-Wintergerste. Während Clearfield-Clentiga Runway Pack als praktisch unwirksam gegen Ackerfuchsschwanz bezeichnet werden kann, erreichte Clearfield-Vantiga D mit 92 % ein ansehnliches Wirkungsniveau.

Hinsichtlich der Wirksamkeit gegen kreuzblütige Unkräuter unterschieden sich Clearfield-Clentiga+Runway und Clearfield-Vantiga D kaum, da das maßgebliche Imazamox in beiden Herbiziden in gleicher Menge enthalten ist.

Dagegen zeigte sich bei Kornblume und Echter Kamille Runway wegen der Wirkungsschwäche von Metazachlor bei Kornblume und der mit größer werdender Kamille abnehmenden Metazachlor-Wirksamkeit überlegen.

Gegen doldenblütige Unkräuter ist dagegen der in beiden Varianten enthaltene Wirkstoff Quinmerac die ausschlaggebende Komponente, während die Storchschnabelwirkung bei beiden Herbizidlösungen vom Imazamox kommt. Dadurch erklären sich die identischen Wirksamkeiten bei diesen Unkräutern.

Tab. 4 Orthogonalen Vergleich der Ergebnisse der Wirksamkeits-Bonituren von Clearfield-Clentiga Runway Pack und Clearfield-Vantiga D bei früher Anwendung im Nachauflauf (BBCH 11-12) von Winterraps in 3 Versuchsjahren und von Clearfield-Clentiga Runway Pack bei früher Anwendung im Nachauflauf (BBCH 11-12) und Butisan Gold im Voraufbau bzw. bei früher Anwendung im Nachauflauf (BBCH 11) von Winterraps in 3 Versuchsjahren.

Tab. 4 Orthogonal comparison of results of efficacy evaluations of Clearfield-Clentiga Runway Pack and Clearfield-Vantiga D at early timing in post emergence (BBCH 11-12) of winter oilseed rape from 3 trial seasons and of Clearfield-Clentiga Runway Pack at early timing in post emergence (BBCH 11-12) and Butisan Gold in pre emergence to early timing in post emergence (BBCH 11) of winter oilseed rape from 3 trial seasons.

Wirkung %	n 3 Jahre	Clearfield-Clentiga + Runway	Clearfield-Vantiga D	n 3 Jahre	Clearfield-Clentiga + Runway	Butisan Gold
		1,0 + 1,0 + 0,2 l/ha BBCH 11-12	2,0 + 1,0 l/ha BBCH 11-12		1,0 + 1,0 + 0,2 l/ha BBCH 11-12	2,5 l/ha VA-BBCH 11
Ungräser						
Fuchsschwanz, Acker-	1	29	92	1	29	97
Rispe, Einjährige	1			1	87	100
Sommergerste, Ausfall-	1	98	98	3	74	11
Wintergerste, Ausfall-	4	84	92	3	85	0
Winterweizen, Ausfall-	2	85	85	4	89	7
Kreuzblütige Unkräuter						
Raps, Ausfall-	1	98	98	1	98	0
Hirtentäschel, Gemeines	7	96	96	8	98	98
Senf, Weißer				1	98	20
Rauke, Weg-	5	100	100	6	100	33
Hellerkraut, Acker-	5	96	98	5	100	51
Korbblütige Unkräuter						
Kamille, Echte	6	98	91	8	97	97
Kamille, Geruchlose	2	99	99	3	91	98
Kamille, Strahlenlose	1	100	100	2	100	100
Kornblume	1	100	60	1	100	75
Kratzdistel, Acker-						
Doldenblütige Unkräuter						
Kerbel, Hunds-	1	99	99	1	99	99
Schierling, Gefleckter	1	97	97			
Storchschnabel-Arten						
Storchschnabel, Schlitzblättriger	1	100	100	1	67	98
Storchschnabel, Kleiner	3	88	80	3	88	99
Storchschnabel, Rundblättriger	4	75	80	3	93	85
Winterjährige Unkräuter						
Erdrauch, Gemeiner	2	93	94	1	100	100
Labkraut, Kletten-	1	98	99	1	99	100
Taubnessel, Rote	3	98	98	5	99	99
Vergißmeinnicht, Acker-				2	99	85
Mohn, Klatsch-	4	97	94	5	98	99
Vogelmiere	9	94	97	10	97	95
Ehrenpreis, Persischer	4	86	96	3	97	100
Stiefmütterchen, Acker-	8	84	71	10	84	54
Sommerjährige Unkräuter						
Gänsefuß, Weißer	6	99	100	6	100	100
Franzosenkraut, Kleinblütiges				1	100	100
Bingelkraut, Einjähriges	1	100	100	1	100	100
Knöterich, Winden-	2	98	98	1	98	70
Kreuzkraut, Gemeines	1	99	100	1	99	100

Auch bei den sonstigen winterjährigen und sommerjährigen Unkräutern sind die Ergebnisse sehr plausibel mit den Stärken und Schwächen der eingesetzten Wirkstoffe erklärbar:

- Vergleichbare Erdrauch-Wirkung wegen Imazamox
- Vergleichbare Klettenlabkraut-Wirkung wegen Quinmerac
- Gleiche Taubnessel-Wirkung wegen Imazamox
- Bessere Mohn-Wirkung von Runway
- Bessere Vogelmieren-Wirkung von Metazachlor
- Bessere Ehrenpreis-Wirkung von Metazachlor
- Bessere Stiefmütterchen-Wirkung von Runway
- Vergleichbare Sommerunkräuter-Wirkung wegen Imazamox

Trotz der Unterschiede bei einzelnen Unkrautarten, lässt sich in Summe keine durchgehende Vorzüglichkeit für die eine oder andere Variante erkennen; die Vor- und Nachteile heben sich weitgehend auf. In Abhängigkeit von der Leitverunkrautung könnte man folgende Bewertung vornehmen:

Starker Besatz mit Ackerfuchsschwanz, Vogelmiere und Ehrenpreis: Vorteil für Clearfield-Vantiga D

Starker Besatz mit Kornblume, Kamille, Mohn und Stiefmütterchen: Vorteil für Clearfield-Clentiga Runway Pack

Eine ähnliche Priorisierung der Produkte in Abhängigkeit von der Verunkrautung lässt sich vornehmen, wenn man die Wirksamkeits-Ergebnisse der vorwiegend blattwirksamen Variante Clearfield-Clentiga + Runway mit dem Nicht-Clearfield-Bodenherbizid Butisan Gold, appliziert Vorauflauf bis früher Nachauflauf, gegenüberstellt (Tab. 4 rechts).

Bei Ackerfuchsschwanz und Einjähriger Risppe ist eindeutig Butisan Gold im Vorteil, während Clearfield-Clentiga + Runway eine bemerkenswerte Ausfallgetreide-Wirkung aufweist, die bei Butisan Gold fehlt.

Bei den kreuzblütigen Unkräutern wies Clearfield-Clentiga + Runway die schon mehrfach erwähnte sichere Bekämpfungsleistung gegen alle Arten auf, während Butisan Gold nur Hirtentäschel gut bekämpfte, bei den anderen Arten einschließlich Ausfallraps aber keine akzeptable Wirkung aufwies.

Beim Hunds-Kerbel wirkten beide Varianten sehr gut. Die Ergebnisse bei den Storchschnabel-Arten sind uneinheitlich: Schlitzblättriger und Kleiner Storchschnabel wurden von Butisan Gold sehr gut bekämpft, während beim Rundblättrigen Storchschnabel Vorteile für Clearfield-Clentiga+Runway zutage traten.

Bei den winterjährigen Unkräutern traten Unterschiede bei Acker-Vergissmeinnicht und Acker-Stiefmütterchen und bei den Sommerjährigen Unkräutern bei Winden-Knöterich jeweils zugunsten von Clearfield-Clentiga + Runway auf.

In Summe zeigt dieser Vergleich die Vorzüglichkeit der Clearfield-Lösung gegenüber einem herkömmlichen Bodenherbizid bei einer größeren Zahl von Unkrautarten, angefangen vom Ausfallgetreide, besonders stark bei fast allen kreuzblütigen Unkräutern, deutlich wegen der Komponente Runway auch bei Kornblume und Stiefmütterchen und tendenziell auch bei Vergissmeinnicht und Knöterich. Das Metazachlor-haltige Bodenherbizid konnte dagegen beim Ackerfuchsschwanz und tendenziell auch bei Kamille- und Storchschnabel-Arten stabilere Resultate erzeugen.

Diskussion

Ein sehr positiv bewerteter Aspekt des Clearfield Produktionssystems ist die sehr gute Raps-Verträglichkeit der Einzelprodukte Clearfield-Vantiga (D) und Clearfield-Clentiga. Für Clearfield-Clentiga ist das plausibel, denn Quinmerac weist unabhängig vom Anwendungstermin stets eine hervorragende Selektivität auf und bei Imazamox wurde durch zwei Resistenzgene in den Mutter- und Vaterlinien und aufwendige Qualifizierungsversuche sichergestellt, dass Clearfield-Rapsybriden eine hochgradige Verträglichkeit für Imazamox besitzen.

Wie bei allen Bodenherbiziden ist die Raps-Verträglichkeit des in Clearfield-Vantiga (D) enthaltenen Metazachlors dagegen nicht immer makellos. Neben der eingesetzten Aufwandmenge sind hierfür Witterungsbedingungen und Bodeneigenschaften und das Entwicklungsstadium von Raps zum Zeitpunkt der Behandlung ausschlaggebend. Erfolgt die Anwendung im Vorauflauf von Raps und erfolgt durch starke Niederschläge oder eine mangelhafte Saatgutbedeckung mit Feinerde eine Verlagerung des Wirkstoffs in den Keimhorizont, sind Auflaufverzögerungen und Wuchshemmungen nicht ausgeschlossen. Insbesondere wenn der Boden anhaltend nass ist und kühle und bedeckte Witterung vorherrscht, kann dies zu Beeinträchtigungen der Bestandsbildung und Herbstentwicklung führen. Durch Verlagerung des Anwendungstermins in das Keimblatt-Stadium von Raps lässt sich das Schadrisiko deutlich vermindern und hat Raps erst einmal Laubblätter ausgebildet, ist er völlig unempfindlich gegenüber Metazachlor. Der Grund für die hervorragende Raps-Verträglichkeit von Clearfield-Vantiga D liegt trotz des Bodenherbizid-Anteils in der Terminierung des Produkts frühestens ab dem ersten Laubblatt-Stadium der Kultur.

Clearfield-Clentiga könnte bei hervorragender Verträglichkeit auch im Vor- oder sehr frühen Nachauflauf eingesetzt werden, da es kein klassisches Bodenherbizid enthält. Da Imazamox vorzugsweise (aber nicht ausschließlich) über die Blattaufnahme wirkt, sollte der Einsatz nicht erfolgen, bevor die Masse der zu bekämpfenden Unkräuter aufgelaufen ist. Allerdings gibt es bei anhaltender Trockenheit nach der Rapssaat in der Praxis häufig ungleichmäßig auflaufende Bestände, bei denen sich Areale mit behandlungsbedürftigem Unkrautbesatz und noch nicht aufgelaufenen Rapspflanzen kleinräumig abwechseln. Clearfield-Clentiga lässt sich auf derartigen Flächen ohne Schadrisko für die noch nicht aufgelaufenen Rapspflanzen einsetzen, wenn die Verunkrautung das erfordert.

Grundsätzlich gelten dieselben Zusammenhänge und Vorteile wie für Clearfield-Clentiga alleine auch für den Clearfield-Clentiga Runway Pack, denn die Wirkstoffe von Runway sind in den eingesetzten Aufwandmengen ebenfalls sehr gut verträglich Raps und wirken überwiegend über die Blattaufnahme. In den geprüften Kombinationen von Clearfield-Clentiga + Runway + Dash E.C. traten in 3 von 24 Versuchen zum frühen Anwendungstermin und in einem von 19 Versuchen zum späten Anwendungstermin typische Symptome synthetischer Auxin-Herbizide auf, die bei Clearfield-Clentiga + Dash E.C. alleine nie auftreten. Es ist zu vermuten, dass bei starker Förderung der Blattaufnahme z.B. durch hohe Luftfeuchtigkeit bei gleichzeitig schwacher Wachsschicht, wie das in der Regel unmittelbar nach Niederschlägen der Fall ist und bei gleichzeitig kühlen Temperaturen und geringer photosynthetischer Aktivität, wodurch die Wirkstoffmetabolisierung in Raps suboptimal ist, eine temporäre Überkonzentration der insgesamt 4 Wirkstoffe aus der HRAC-Gruppe O stattfindet. Deshalb sollte die Anwendung bei derartigen Konstellationen entweder verschoben werden, was aufgrund der Flexibilität des Produktes problemlos möglich ist, bis sich die Wachsschicht regeneriert hat, oder die beiden Produkte werden getrennt voneinander im Abstand von wenigen Tagen ausgebracht. Im Gegensatz zu Symptomen, die durch Bodenherbizide während der Keimphase ausgelöst werden, sind ‚Wachsstoff-artige‘ Symptome nur kurzzeitig sichtbar und beeinträchtigen die weitere Bestandentwicklung nicht.

Hinsichtlich des Wirkungsspektrums ergänzen sich Clearfield-Clentiga und Runway in idealer Weise. Eine derartige Wirkungsbreite lässt sich im Nachauflauf mit keiner anderen Kombination erreichen und selbst komplexe Mischungen und Spritzfolgen mit Bodenherbiziden erreichen in der Summe keine höhere Gesamtleistung.

Einzige Wirkungsschwäche von Clearfield-Clentiga Runway Pack ist Ackerfuchsschwanz. Im Winterraps sollte er konsequent bekämpft werden. Sensitive Biotypen lassen sich mit FOP- und DIM-Herbiziden, metabolisch resistente Biotypen mit DIM-Präparaten effizient im Nachauflauf bekämpfen. Liegt Wirkort-Resistenz gegenüber ACCase-Hemmern (HRAC-Gruppe A) vor, müssen Bodenherbizide zum Einsatz kommen. Bei mäßigem Besatz kann man entweder Metazachlor-haltige Herbizide im Voraufbau einsetzen oder ein Propyzamid-Herbizid zu Vegetationsende, bei stärkerem Besatz ist eine Spritzfolge aus diesen beiden Wirkstoffen einzuplanen.

Clearfield-Clentiga Runway Pack weist eine gute Wirksamkeit gegen Ausfallgetreide auf. Voraussetzung für hohe Wirkungsgrade ist, dass das Getreide zum Zeitpunkt der Anwendung vollständig aufgelaufen ist, sich aber noch nicht in der Bestockung befindet. In diesen Fällen ersetzt Clearfield-Clentiga Runway Pack die Anwendung eines Spezial-Graminizids. Nach bisherigen Praxiserfahrungen ist dies in etwa 60 % der Anwendungen der Fall. Doch selbst wenn keine ausreichende Bekämpfung erzielt wird, kann das verbleibende Ausfallgetreide evtl. toleriert werden, bis ein Propyzamid-Produkt zum Einsatz kommt. Dies hat Vorteile für das Resistenzmanagement der FOP- und DIM-Herbizide, denn deren Nicht-Einsatz in der Kultur Raps trägt nicht zu einer weiteren Selektion resistenter Biotypen bei und verschafft somit den ACCase-Hemmern im nachfolgenden Getreide ein höheres Wirkungspotenzial.

Storchschnabel neigt dazu, über einen längeren Zeitraum aufzulaufen. Da eine gute Wirkung von Clearfield-Clentiga Runway Pack nur bis etwa BBCH 14 von Storchschnabel gewährleistet ist, kann nicht immer gewartet werden, bis auch die Spätkeimer aufgelaufen sind. Bei massivem Besatz mit Storchschnabel kann eine Vorbehandlung mit einem Dimethenamid-P-haltigen Herbizid im Vor-

oder frühen Nachauflauf die erste Storchschnabel-Welle eliminieren und die später auflaufenden Pflanzen gezielt mit Clearfield-Clentiga Runway Pack bekämpft werden. In der Summe sind dann 98-100 % Wirkung zu erwarten, was mit keiner anderen Spritzfolge im Raps zu realisieren ist. Liegt dagegen nur moderater Storchschnabel-Besatz vor, können die mit Clearfield-Clentiga Runway Pack alleine erzielbaren Wirkungsgrade von 80-85 % als ausreichend angesehen werden.

Bei allen weiteren winter- wie sommerannuellen Unkräutern liegen die Wirkungsgrade im Bereich BBCH 12-14 so hoch, dass zusätzliche Herbizide nicht nötig sind. In den meisten Situationen stellt Clearfield-Clentiga Runway Pack eine Komplettlösung dar, die mit einer Überfahrt alle relevanten Rapsunkräuter hinreichend bekämpft. Clearfield-Clentiga Runway Pack erlaubt den gezielten Einsatz der enthaltenen Produkte nach der Maßgabe des Integrierten Pflanzenschutzes, denn vorbeugende Maßnahmen ‚auf Verdacht‘ entfallen und werden ersetzt durch die gezielte Anwendung zu einem Zeitpunkt, zu dem die tatsächliche Stärke des Unkrautbesatzes und die Zusammensetzung der Leitverunkrautung bereits gut erkannt werden können. Bei entsprechender Verunkrautung kann auch nur eine Komponente des Packs zum Einsatz kommen, oder bei abweichendem Auflaufverhalten kann eine zeitlich gestaffelte Anwendung erfolgen. Außerdem kann bei speziellen Unkrautproblemen gezielt mit weiteren Herbiziden kombiniert werden, was letztendlich auch dem Resistenzmanagement in der Fruchtfolge zu Gute kommt.

Literatur

SCHÖNHAMMER, A. und J. FREITAG, 2014: Clearfield®-Clentiga® und Clearfield® Kombi Pack erweitern die Herbizidpalette zur gezielten Unkrautbekämpfung in Winter- und Sommerraps. Julius-Kühn-Archiv **443**, 543-551.

EPPO-Guideline PP1/152: Design and analysis of efficacy evaluation trials (<http://pp1.eppo.int/list.php>).

EPPO-Guideline PP1/049(3): Weeds in brassica oil crops (<http://pp1.eppo.int/list.php>).

BELKAR™ - a new herbicide for the control of a wide range of broadleaf weeds in winter oilseed rape applied post-emergence in autumn

BELKAR™ - ein neues Herbizid zur Bekämpfung eines breiten Spektrums von dikotylen Unkräutern in Winterraps im Nachauflauf Herbst

Agnes Zotz*, Ulrich Bernhard, Jürgen Bonin

Dow AgroSciences GmbH, Truderinger Straße 15, 81677 München, Germany

*Corresponding author, azotz@dow.com

DOI 10.5073/jka.2018.458.050



Abstract

Autumn-applied pre-emergence herbicides are currently the primary options for weed control used in winter oilseed rape. A characteristic of the new product BELKAR™ herbicide is that it will be applied post-emergence in autumn. BELKAR combines both active ingredients Arylex™ Active and Picloram and therefore contains two non-ALS mode of actions. While Picloram has been widely used in oilseed rape in recent years, Arylex is a new auxinic herbicide for the post-emergence weed control of important broad-leaved weeds. Arylex is the first member of the 'Arylpicolinate' structural class, a new class within the HRAC Group O. The ISO common name of Arylex is 'halauxifen-methyl' (DOW AGROSCIENCES, 2013). BELKAR is the first herbicide in Europe containing this active for the use in winter oilseed rape. With a maximum use rate of 0.5 L/ha, the product will deliver 4.8 g ae/ha of Arylex and 24 g ae/ha of Picloram. BELKAR can be applied as a sequential application from crop stage of BBCH 12-14 at rates of 0.25 L/ha or a single application with 0.5 L/ha from crop stage BBCH 16. BELKAR provides control of a wide range of key weeds, including most important ones such as *Capsella bursa-pastoris*, *Centaurea cyanus*, *Galium aparine*, *Papaver rhoeas*, *Geranium* spp., *Thlaspi arvense*, *Matricaria* spp. and *Descurainia sophia*. With BELKAR, a post-emergence herbicide application in autumn offers a viable option for effective weed control in oilseed rape. As a new concept, the tank mix combination BELKAR with the active ingredient Aminopyralid will even more expand the weed spectrum and will provide an alternative to pre-emergence herbicide applications in winter oilseed rape.

Keywords: Aminopyralid, Arylex, BELKAR, broadleaf weed control, picloram, winter oilseed rape

Zusammenfassung

Die Anwendung von Voraufherbiziden im Herbst ist das vorrangige Mittel der Wahl bei der Unkrautbekämpfung im Winterraps. Der Ansatz für BELKAR™ ist die Verlagerung der Herbizidanwendung vom Vorauf in den Nachauflauf im Herbst. BELKAR kombiniert die beiden Wirkstoffe Arylex™ active und Picloram™ und enthält damit zwei nicht-ALS Wirkmechanismen. Picloram wird schon seit vielen Jahren erfolgreich im Winterraps eingesetzt, der Wirkstoff Arylex ist ein neuer Wirkstoff aus der Gruppe der Auxin-ähnlichen Herbizide für die Bekämpfung von wichtigen zweikeimblättrigen Unkräutern. Arylex ist der erste Vertreter der Wirkstoffgruppe der 'Arylpicolinate', einer neuen Gruppe innerhalb der HRAC-Gruppe O. Der wissenschaftliche Name von Arylex ist Halauxifen-methyl' (DOW AGROSCIENCES, 2013). BELKAR ist das erste Herbizid in Europa, welches den Wirkstoff Arylex zur Anwendung im Winterraps enthält.

Mit einer maximalen Aufwandmenge von 0.5 L/ha werden 4.8 g ae/ha Arylex und 24 g ae/ha Picloram ausgebracht. BELKAR kann sowohl im Rahmen einer Splitting-Anwendung mit 0.25 L/ha ab Kulturstadium BBCH 12-14 oder mit einer einmaligen Anwendung von 0.5 L/ha ab Kulturstadium BBCH 16 ausgebracht werden. BELKAR kontrolliert ein breites Spektrum an wichtigen Unkräutern im Winterraps, einschließlich *Capsella bursa-pastoris*, *Centaurea cyanus*, *Galium aparine*, *Papaver rhoeas*, *Geranium* spp., *Thlaspi arvense*, *Matricaria* spp. und *Descurainia sophia*. Mit BELKAR bietet sich dem Anwender in Zukunft ein neues Bekämpfungskonzept zur Unkrautbekämpfung im Nachauflauf im Winterraps. Durch die Tankmischung von BELKAR mit dem Wirkstoff Aminopyralid wird das Wirkungsspektrum auf dikotyle Unkräuter noch erweitert und somit eine wirksame Alternative zur Unkrautkontrolle im Vorauf geschaffen.

Stichwörter: Aminopyralid, Arylex, Bekämpfung dikotyle Unkräuter, BELKAR, Picloram, Winterraps

Introduction

Dow AgroSciences has developed the new herbicide Arylex™ active, which targets important broadleaf weeds. Beside the currently ongoing development of the active in the cereal segment (DZIKOWSKI et al., 2016), two new products are developed for the use in winter oilseed rape based on this molecule. The combination of Arylex with the active picloram has the trade name BELKAR™

herbicide while Arylex in combination with the active clopyralid will have the trade name KORVETA™ herbicide. The product KORVETA will be available for the use as a spring application in winter oilseed rape.

Chemical properties of Arylex™ Active

Common name	Halauxifen-methyl
Chemical family	Arylpicolinate
Empirical formula	C ₁₄ H ₁₁ Cl ₂ FN ₂ O ₃
Molecular weight	345.17 g/mol
Vapor pressure	5.9 x 10 ⁻⁹ Pa at 20°C
Solubility (water 20°C; in mg/L)	pH 5: 1,67; pH 7: 1,67; pH 9: 1,69
Octanol/Water Partition Co-Efficient (log P _{ow})	pH 7 = 3.76
Soil Adsorption Constant (K _{oc})	473 – 2659 mL/g (average = 1418 mL/g)

BELKAR is a selective herbicide for the control of dicotyledonous weeds in winter oilseed rape. The product contains 48 g ae/L picloram and 9.6 g ae/L halauxifen-methyl and is formulated as an emulsifiable concentrate (EC). With a maximum use rate of 0.5 L/ha, the product will deliver 4.8 g ae/ha of Arylex and 24 g ae/ha of Picloram.

The application timing of BELKAR is a post-emergence treatment. BELKAR can be applied as a sequential application from crop stage of BBCH 12 at rates of 0.25 L/ha followed by a second application from crop stage BBCH 16 with dose rates of 0.25 L/ha or a single application with 0.5 L/ha from crop stage BBCH 16. The actives Arylex and Picloram in the product BELKAR belong both to the HRAC-group O.

Characteristics of the formulated product BELKAR

Active ingredients	Halauxyfen-methyl 9.6 g ae/L; picloram 48 g ae/L
Target crop	Winter oilseed rape
Formulation type	EC (Emulsifiable concentrate)
Mode of action	Synthetic auxins – both compounds; HRAC-group O
Application timing and recommended dose rate	Sequential application in autumn from crop stage BBCH 12-14: 0.25 L/ha from crop stage BBCH 16: 0.25 L/ha
	Single late application in autumn: from crop stage BBCH 16: 0.5 L/ha

Materials and Methods

Development trials with BELKAR™ herbicide were conducted as a sequential application from targeted crop stage of BBCH 12-14 at a rate of 0.25 L/ha followed by a second application at targeted crop stage BBCH 16 or a single application with 0.5 L/ha from targeted crop stage BBCH 16.

Applications for targeted crop stage BBCH 12-14 were made when 90% of the crop had reached BBCH 12. Applications for targeted crop stage BBCH 16 were made when 90% of the crop had reached BBCH 16. At the sequential application, the application intervals between BBCH12-14 and BBCH 16 ranged from 14 to 28 days.

Trials were carried out in the maritime EPPO zone in the Czech Republic, Germany, United Kingdom, Denmark and Sweden. Trials were set up 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 and plot sizes between 12 m² and 36 m². The trials were carried out during the season 2013/2014 and 2014/2015.

Regular visual assessments of the herbicidal efficacy were made during autumn and spring after application. The weed control was rated visually as an overall score of the percentage control relative to the non-treated check.

In a further trial program initiated in autumn 2015 and continued in 2016 in Germany, the efficacy of BELKAR applied twice as a sequential application in combination with the active Aminopyralid was tested. At the first application (targeted crop stage BBCH 12-14), BELKAR was applied at a dose rate of 0.25 L/ha in tankmixture with Aminopyralid at a dose rate of 8 g ae/ha. At the second application (from targeted crop stage BBCH 16), BELKAR alone was applied at a dose rate of 0.25 L/ha. Application intervals between the two applications ranged from 14 to 28 days. Applications were carried out with spray volumes of 200 L/ha. For easier reading, this concept is hereinafter referred to as "BELKAR+Aminopyralid concept".

Results

Efficacy spectrum of BELKAR™ herbicide when applied with sequential application at crop stage BBCH 12-14 and from crop stage BBCH 16

When applied as a sequential application, BELKAR provides a high level of control (93-99% efficacy) of a wide range of broadleaf weeds including key species such as *Capsella bursa-pastoris*, *Centaurea cyanus*, *Galium aparine*, *Lamium spp.*, *Fumaria officinalis*, *Papaver rhoeas*, *Geranium spp.*, *Thlaspi arvense* and *Descurainia sophia*. BELKAR applied as a sequential application provides 90% control of *Matricaria chamomilla*. *Stellaria media* is moderately susceptible but sufficiently controlled, while *Viola arvensis* is not sufficiently controlled.

Tab. 1 Efficacy of BELKAR applied twice with 0.25 L/ha as a sequential application at crop stage BBCH 12-14 and from BBCH 16. Data from Germany, Czech Republic, United Kingdom, Denmark and Sweden are summarized.

Tab. 1 Wirkung einer BELKAR-Splitting Anwendung in Raps zu BBCH Stadium 12-14 und BBCH 16 mit jeweils 0,25 l/ha. Datengrundlage sind Versuche aus Deutschland, Tschechien, Vereinigtes Königreich, Dänemark, Schweden.

Weed species	Weed code	Number of trials	Efficacy of BELKAR applied with a sequential application at crop stage BBCH 12-14 and from crop stage BBCH 16 [% control]
<i>Lamium spp.</i>	LAMSS	13	99.0
<i>Geranium pusillum</i>	GERPU	7	98.5
<i>Fumaria officinalis</i>	FUMOF	7	97.1
<i>Centaurea cyanus</i>	CENCY	5	96.5
<i>Thlaspi arvense</i>	THLAR	14	94.8
<i>Descurainia sophia</i>	DESSO	2	94.5
<i>Galium aparine</i>	GALAP	13	93.9
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	CAPBP	19	93.9
<i>Papaver rhoeas</i>	PAPRH	12	93.5
<i>Matricaria chamomilla</i>	MATCH	4	90.1
<i>Stellaria media</i>	STEME	17	77.1
<i>Viola arvensis</i>	VIOAR	30	64.8

Efficacy spectrum BELKAR™ herbicide when applied as a single late application from crop stage BBCH 16

When applied as a single late application from crop stage BBCH 16, BELKAR provides very good control of key species such as *Centaurea cyanus*, *Galium aparine*, *Papaver rhoeas*, *Geranium spp.*, *Descurainia sophia* and *Lamium spp.* BELKAR showed good control of *Matricaria chamomilla* (>92% control).

Thlaspi arvense, a weed which becomes more difficult to control with increasing growth stages, showed moderate but still sufficient control at the late application timing of BELKAR. *Stellaria media* and *Viola arvensis* were not sufficiently controlled by a single late application.

Tab. 2 Efficacy of BELKAR applied once with a dose rate of 0.5 L/ha at winter oilseed rape crop stage BBCH 16. Data from Germany, Czech Republic, United Kingdom, Denmark and Sweden are summarized.

Tab. 2 Wirkung von BELKAR bei einmaliger Anwendung mit 0,5 l/ha zu Raps BBCH Stadium 16. Datengrundlage sind Versuche aus Deutschland, Tschechien, Vereinigtes Königreich, Dänemark, Schweden.

Weed species	Weed code	Number of trials	Efficacy of BELKAR applied as a single application from crop stage BBCH 16 [% control]
<i>Lamium</i> spp.	LAMSS	12	98.7
<i>Geranium pusillum</i>	GERPU	7	91.5
<i>Fumaria officinalis</i>	FUMOF	7	98.5
<i>Centaurea cyanus</i>	CENCY	5	98.2
<i>Thlaspi arvense</i>	THLAR	14	85.1
<i>Descurainia sophia</i>	DESSO	2	96.0
<i>Galium aparine</i>	GALAP	13	91.1
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	CAPBP	19	91.3
<i>Papaver rhoeas</i>	PAPRH	11	93.6
<i>Matricaria chamomilla</i>	MATCH	3	92.0
<i>Stellaria media</i>	STEME	17	75.0
<i>Viola arvensis</i>	VIOAR	28	56.1

Field performance of the tankmix combination BELKAR™ herbicide with the active Aminopyralid ("BELKAR+Aminopyralid concept")

In a 2 year trial program, the efficacy of BELKAR applied twice as a sequential application in combination with Aminopyralid was tested. At the first application (targeted crop stage BBCH 12-14), BELKAR was applied at a dose rate of 0.25 L/ha in tankmixture with the active Aminopyralid at a dose rate of 8 g ae/ha. At the second application timing (from crop stage BBCH 16), BELKAR was applied at a dose rate of 0.25 L/ha. No Aminopyralid was added to BELKAR at the second application timing.

The addition of Aminopyralid to BELKAR expands the spectrum of activity against dicotyledonous weeds and provides more robust control against some weeds. Key species, such as *Capsella bursa-pastoris*, *Galium aparine*, *Geranium* spp., *Thlaspi arvense*, *Fumaria officinalis* and *Descurainia sophia* are still controlled at a very high level. Furthermore, the efficacy against specific weeds, such as *Matricaria* spp., *Papaver rhoeas* and *Centaurea cyanus* increases by trend (> 98% control). *Viola arvensis* proved more susceptible with >75% control.

Tab. 3 Efficacy of BELKAR in tankmixture combination with aminopyralid. 2-year trial data from Germany are summarized.

Tab. 3 Wirkung von BELKAR in Tankmischung mit Aminopyralid – Datengrundlage sind 2 jährige Versuchsergebnisse aus Deutschland.

Weed species	Weed code	Number of trials	Efficacy of BELKAR in combination with Aminopyralid* [% control]
<i>Lamium</i> spp.	LAMSS	2	98.5
<i>Geranium</i> spp.	GERSS	3	99.1
<i>Fumaria officinalis</i>	FUMOF	2	98.9
<i>Centaurea cyanus</i>	CENCY	3	99.1
<i>Thlaspi arvense</i>	THLAR	1	95.0
<i>Descurainia sophia</i>	DESSO	1	98.0
<i>Galium aparine</i>	GALAP	1	95.3
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	CAPBP	3	96.1
<i>Papaver rhoeas</i>	PAPRH	3	98.0
<i>Matricaria</i> spp.	MATSS	3	98.0
<i>Stellaria media</i>	STEME	2	72.5
<i>Viola arvensis</i>	VIOAR	2	75.2

*BELKAR 0.25 L/ha + Aminopyralid 8 g ae/ha at targeted BBCH 12-14 of the crop followed by a second application of BELKAR 0.25 L/ha at targeted BBCH 16 of the crop

Discussion

Dow AgroSciences has developed the new herbicide Arylex™ active, which targets broadleaf weeds in various crops such as cereals and oil seed rape. For specific use in winter oilseed rape, the product BELKAR is developed. BELKAR combines the two active ingredients Arylex and picloram. The characteristic of BELKAR is that it will be applied in winter oilseed rape as post-emergence treatment in autumn.

BELKAR can be applied as a sequential application from crop stage of BBCH 12 at rates of 0.25 L/ha followed by a second application from crop stage BBCH 16 with dose rates of 0.25 L/ha or it can be applied as a single late application with 0.5 L/ha from crop stage BBCH 16.

When applied at a sequential application, BELKAR provides control of a wide range of broadleaf weeds including cruciferous species such as *Capsella bursa-pastoris*, *Thlaspi arvense* and *Descurainia sophia* but also *Centaurea cyanus*, *Galium aparine*, *Papaver rhoeas*, *Geranium* spp., *Lamium* spp. and *Matricaria chamomilla*.

When applied as a single late application from crop stage BBCH 16, BELKAR still provides a high level of control of key weed species. But as it can be seen from the field data, specific weeds, such as *Capsella bursa-pastoris* or *Thlaspi arvense*, are better controlled by a sequential application of BELKAR vs. a single late application.

When applied by a sequential application, the tank mix combination of the active Aminopyralid plus BELKAR at the first application expands the spectrum of activity against dicotyledonous weeds. The efficacy against specific weeds, such as *Matricaria* spp., *Papaver rhoeas* or *Centaurea cyanus* increases to above 98% efficacy. Furthermore *Viola arvensis* is controlled with more than >75% efficacy. As a new concept, the tank mix combination BELKAR with the active ingredient Aminopyralid provides an alternative to pre-emergence herbicide application in winter oilseed rape.

™ Trademark of the Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow.

References

- DZIKOWSKI, M., J. BECKER, D. LARELLE, B. KAMERICHS and R. GAST, 2016: Arylex™ active – new herbicide active and base for new cereals herbicides: Zypar™ and Pixare™ EC to control wide range of broadleaf weeds in cereals in Europe. – Proceedings 27th German Conference on Weed Biology and Weed control, Feb. 23-25, 2016, Braunschweig Germany. Julius Kühn Archiv **452**, 297-304.
- DOW AGROSCIENCES, 2013: Arylex Active Technical Bulletin.

Two new cereal herbicides containing new Arylex™ active: Zypar™ and Pixxaro™ EC against various *Geranium* species

Zwei neue Getreideherbizide mit dem neuen Wirkstoff Arylex™ active: Zypar™ und Pixxaro™ EC gegen verschiedene Storchschnabel-Arten

Marcin Dzikowski*, Wolfgang Dietrichs, Matthias Donner, Jörg Becker

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

*Corresponding author, mddzikowski@dow.com

DOI 10.5073/jka.2018.458.051



Abstract

In recent years, various *Geranium* species have increased their significance in many important crops in Germany. The most important reason for this situation is the increased use of no-till farming as well as a smaller selection of herbicides used to control weeds. Dow AgroSciences has recently developed two cereal herbicides containing the new active Arylex™ (halauxifen-methyl), Zypar™ und Pixxaro™ EC. Dow AgroSciences initiated trials in Germany to investigate the potential of both products to control *Geranium* species to recommend the most effective products to farmers. Trials were carried out in greenhouses and in the field. Both products controlled various *Geranium* species and controlled *Geranium pusillum* and *G. dissectum* particularly well. The most difficult to control of the *Geranium* species was *Geranium molle*.

Zypar und Pixxaro EC provided excellent control of several *Geranium* species in cereals.

Keywords: Arylex, *Geranium*, Pixxaro EC, Zypar

Zusammenfassung

In den letzten Jahren haben die Storchschnabel-Arten in Deutschland in verschiedenen Kulturen immer mehr an Bedeutung gewonnen. Die Gründe hierfür sind hauptsächlich der Verzicht auf wendende, intensive Bodenbearbeitung sowie eine immer kleinere Auswahl an Herbizidwirkstoffen für die Unkrautbekämpfung. Dow AgroSciences hat in den letzten Jahren zwei neue Getreideherbizide mit dem neuen Wirkstoff Arylex entwickelt: Zypar und Pixxaro EC. Beide sind sehr gut geeignet, verschiedene Storchschnabel-Arten zu bekämpfen. Dow AgroSciences hat in Deutschland Versuche initiiert, um die Bekämpfungsleistung beider Produkte gegen Storchschnabel-Arten zu untersuchen und daraus Empfehlungen für die Praxis ableiten zu können. Die Versuche wurden sowohl im Gewächshaus als auch im Feld angelegt und haben gezeigt, dass beide Produkte verschiedene Storchschnabel-Arten sehr gut bekämpfen können. Hinsichtlich der Wirkung gegen unterschiedliche Storchschnabel-Arten hat sich gezeigt, dass der Kleine Storchschnabel (*Geranium pusillum*) von beiden am besten zu bekämpfen ist, gefolgt vom Schlitzblättrigen Storchschnabel (*Geranium dissectum*). Am schwierigsten zu bekämpfen scheint Weicher Storchschnabel (*Geranium molle*) zu sein. Dies zeigt sich besonders bei reduzierten Aufwandmengen oder bei weiter entwickelten Storchschnabel-Pflanzen.

Insgesamt zeigen beide Produkte eine sehr gute Wirkung gegen verschiedene Storchschnabel-Arten und stellen daher zukünftig eine interessante Lösung für die Storchschnabel-Bekämpfung im Getreide dar.

Stichwörter: Arylex™, Pixxaro EC, Storchschnabel, Zypar

Introduction

Species in the *Geranium* genera are often difficult to control. Only few herbicides registered in the European Union are able to fully control this species. Furthermore, the selection of actives in herbicides available for farmers is limited due to regulatory constraints (ANONYMOUS, 2017). In winter oilseed rape and corn it is difficult to find herbicides to control these weeds. As these two crops are in rotation with cereals, it is clear that *Geranium* weed species are becoming a greater problem in cereals (GEHRING et al., 2012; KLINGENHAGEN, 2012).

The new herbicide active ingredient Arylex™ (halauxifen-methyl) provides excellent efficacy on *Geranium* spp. (GERSS) and many other dicotyledonous weeds including *Centaurea cyanus* (CENCY), *Chenopodium album* (CHEAL), *Descurainia sophia* (DESSO), *Galeopsis tetrahit* (GAETE), *Fumaria officinalis* (FUMOF), *Galium aparine* (GALAP), *Lamium* sp. (LAMSS), *Papaver rhoeas* (PAPRH) and *Stellaria media* (STEME). Arylex in combination with florasulam in Zypar, and fluroxypyr in Pixxaro EC, further extend dicotyledonous weed control spectrum.

Zypar™ is a new cereal herbicide containing Arylex (6 g ae/L) and florasulam (5 g ai/L). At a maximum dose rate of 1 L/ha this herbicide product controls a broad spectrum of dicotyledonous weeds. Zypar is formulated as an OD (oil dispersion) with an incorporated MSO adjuvant that enables excellent efficacy even during cold weather conditions. Zypar has a built-in safener (cloquintocet-mexyl) that ensures high level selectivity to wheat, rye, triticale and barley with a wide application window (BBCH 13-45) (EPP et al., 2015; DZIKOWSKI et al., 2016).

Pixxaro™ EC is a new cereal herbicide product containing Arylex (12 g ae/L) and fluroxypyr (280 g ae/L). At a maximum dose rate of 0.5 L/ha, Pixxaro EC controls a broad spectrum of dicotyledonous weeds. Pixxaro EC is formulated as a new type of EC (emulsifiable concentrate) formulation that contains MSO adjuvant to maximized Pixxaro EC performance during cold weather conditions. Pixxaro EC also contains the safener cloquintocet-mexyl that ensures high level of selectivity to wheat, rye, triticale and barley with a wide application window (BBCH 13-45) (EPP et al., 2015; DZIKOWSKI et al., 2016).

Materials und Methods

Trials targeting various *Geranium* species were established in Germany in 2016 (greenhouse phase) and in 2017 (field phase). A greenhouse trial was carried out by a contractor company, while field trials were carried out by Dow AgroSciences GmbH and two contractor companies. All trials were conducted with 4 replications, according to EPPO guidelines and in accordance to GEP.

Tab. 1 Characteristics of Zypar.

Tab. 1 Produktprofil Zypar.

Characteristics of Zypar™ herbicide		
Active ingredients	Arylex 6 g ae/L	Florasulam 5 g ai/L
Target dose rate	1.0 L/ha	Winter- and Spring cereals
Application timing	BBCH 13-45	Winter cereals
	BBCH 13-39	Spring cereals
Mode of action	Auxin-like (HRAC O)	Acetolactate synthase inhibitor (ALS, HRAC B)

Tab. 2 Characteristics of Pixxaro EC.

Tab. 2 Produktprofil Pixxaro EC.

Characteristics of Pixxaro™ EC herbicide		
Active ingredients	Arylex™ 12 g ae/L	Fluroxypyr 280 g ae/L
Target dose rate	0.5 L/ha	Winter- and Spring cereals
Application timing	BBCH 13-45	Winter cereals
	BBCH 13-39	Spring cereals
Mode of action	Auxin-like (HRAC O)	Auxin-like (HRAC O)

Tab. 3 Characteristics of Artus.

Tab. 3 Produktprofil Artus.

Characteristics of Artus		
Active ingredients	Carfentrazone 400 g ai/kg	Metsulfuron 100 g ai/kg
Target dose rate	50 g/ha	Winter- and Spring cereals
Application timing	BBCH 13-32	Winter wheat
	BBCH 13-29	Winter rye, winter barley, triticale, spring barley, spring wheat
	BBCH 12-25	Spring oats
Mode of action	PPO inhibitor (HRAC E)	Acetolactate synthase inhibitor (ALS, HRAC B)

Each trial was conducted with 2 application timings. In greenhouse trial *Geranium* plants were sprayed at early application timing (BBCH 12-13) and at late timing (BBCH 18-19). In field trials, *Geranium* plants were between BBCH 14-25 at early application timing and between BBCH 17-31 at late application timing. Greenhouse trial targeted *Geranium dissectum* (GERDI) and *Geranium*

pusillum (GERPU) while among 5 field trials two targeted GERDI, two targeted GERPU and one targeted *Geranium molle* (GERMO).

Results

Greenhouse trial

Zypar™ herbicide was applied at 1.0 L/ha and Pixxaro™ EC herbicide was applied at 0.5 L/ha. These two herbicides were compared to Artus (see Tab. 3) at 50 g/ha. All treatments were applied at early and late timing. Zypar and Pixxaro EC provided very high efficacy (98 and 99%) against GERDI, comparable to Artus (Fig. 1). There was no difference in efficacy between early and late applications.

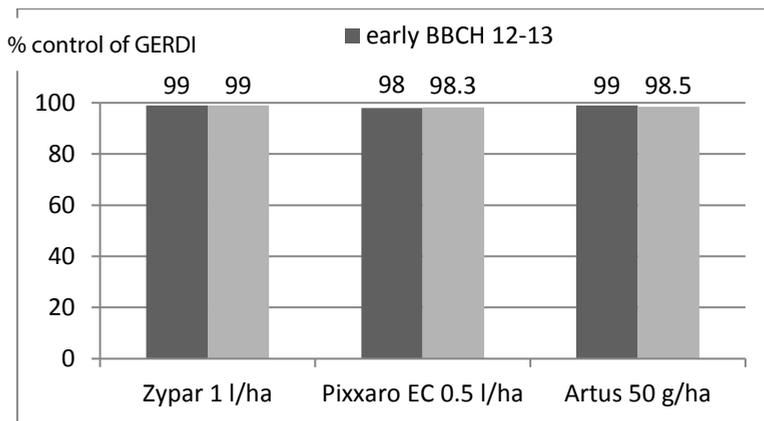


Fig. 1 Efficacy of Zypar and Pixxaro EC against GERDI in comparison to standard 4 weeks after application in greenhouse.

Abb. 1 Wirkung von Zypar und Pixxaro EC gegen Schlitzblättrigen Storchschnabel im Vergleich zum Standard 4 Wochen nach der Behandlung im Gewächshaus.

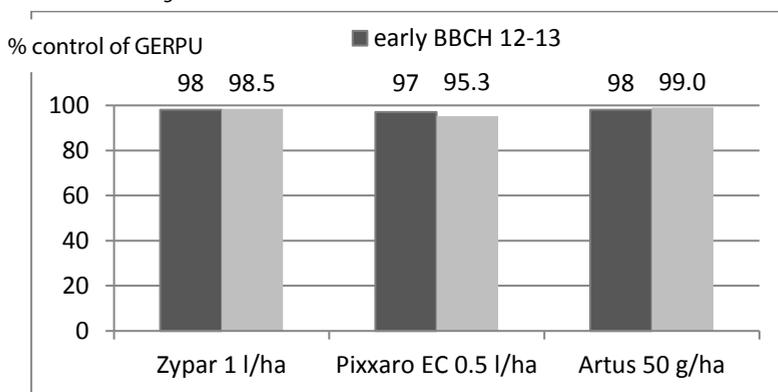


Fig. 2 Efficacy of Zypar and Pixxaro EC against GERPU in comparison to standard 4 weeks after application in greenhouse.

Abb. 2 Wirkung von Zypar und Pixxaro EC gegen Kleinen Storchschnabel im Vergleich zum Standard 4 Wochen nach der Behandlung im Gewächshaus.

Against GERPU, Zypar™ herbicide reached similar efficacy to Artus that ranged from 98 to 99%. The efficacy of Pixxaro™ EC herbicide was slightly lower, particularly when applied late (95.3%) while at early timing 97% control was achieved.

Field trials

The efficacy of 2 trials ranged from 91 to 99% against GERDI (Fig. 3). All products performed better at the second application timing than at the first. Zypar™ herbicide controlled 91% of GERDI at early application and 99% at the late timing.

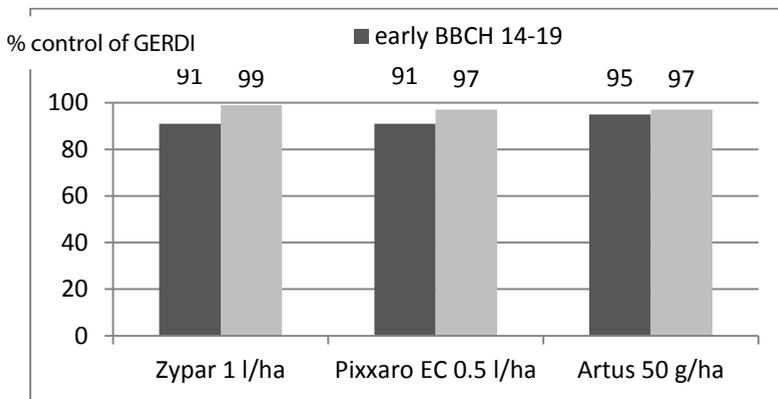


Fig. 3 Efficacy of Zypar and Pixxaro EC against GERDI in comparison to standard 4 weeks after application in the field trials (n=2).

Abb. 3 Wirkung von Zypar und Pixxaro EC gegen Schlitzblättrigen Storchschnabel im Vergleich zum Standard 4 Wochen nach der Behandlung im Feldversuch (n=2).

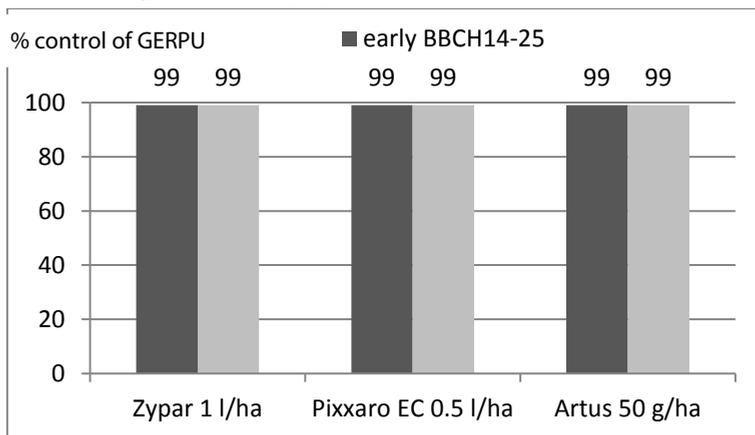


Fig. 4 Efficacy of Zypar and Pixxaro EC against GERPU in comparison to standard 4 weeks after application in the field trials (n=2).

Abb. 4 Wirkung von Zypar und Pixxaro EC gegen Kleinen Storchschnabel im Vergleich zum Standard 4 Wochen nach der Behandlung im Feldversuch (n=2).

Pixxaro™ EC herbicide applied early controlled 91% while 97% late. Artus provided 95% efficacy at early application and 97% at late application. At early application timing the highest efficacy was reached by Artus and at the late application by Zypar.

All products showed an efficacy of 99% against GERPU at both application timings in 2 trials (Fig. 4).

The results of one trial showed that the efficacy of the tested products against GERMO ranged from 85 to 98.5% (Fig. 5).

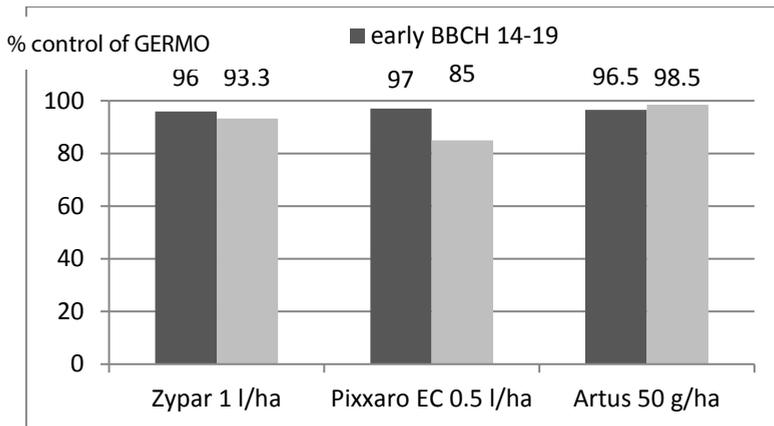


Fig. 5 Efficacy of Zypar and Pixxaro EC against GERMO in comparison to standard 4 weeks after application in the field trials (n=1).

Abb. 5 Wirkung von Zypar und Pixxaro EC gegen Weichen Storchschnabel im Vergleich zum Standard 4 Wochen nach der Behandlung im Feldversuchen (n=1).

Zypar™ and Pixxaro™ EC herbicides performed better at the early application timing than at the late one. Zypar applied early controlled 96% of GERMO while applied late 93.3%. Pixxaro EC applied early 97% and late only 85%. Artus performed similarly at both timings at 96.5% at early timing and 98.5% at late timing.

Discussion

Zypar™ and Pixxaro™ EC are new herbicide products containing the new active ingredient Arylex™ active. *Geranium* spp. weeds are increasing in importance in all major crops in Germany (GEHRING, 2012; KLINGENHAGEN, 2012). Zypar and Pixxaro EC applied in spring in cereals controlled a broad spectrum of broad leaved weeds including various species of *Geranium*. A greenhouse trial showed that both herbicides can control *Geranium pusillum* and *Geranium dissectum* at very high level, when *Geranium* plants were at the growth stage between BBCH 12 and 19. In field trials excellent control of *Geranium pusillum* and *Geranium dissectum* was achieved when Zypar and Pixxaro EC were applied at growth stages up to BBCH 30/31. *Geranium molle* was controlled by Zypar and by Pixxaro EC when applied early. Both products performed excellently against *Geranium* species, on similar level as standard herbicide Artus. Both herbicides from Arylex active family offer much wider spectrum of controlled weeds, very long application window and significantly better selectivity profile than Artus.

™ Trademark of The Dow Chemical Company (“Dow”) or an affiliated company of Dow.

References

- ANONYMOUS, 2017: Schlitzblättriger Storchschnabel Unkraut-Steckbrief, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft http://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/u_steckbriefe/053995/index.php?fontsize=1
- DZIKOWSKI, M., J. BECKER, D. LARELLE, B. KAMERICHS and R. GAST, 2016: Arylex™™ active - new herbicide active and base for new cereals herbicides, 2016: Zypar™™ and Pixxaro™™ EC to control wide range of broadleaf weeds in cereals in Europe. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 297-304.
- EPP, J.B., A.L. ALEXANDER, T.W. BALKO, A.M. BUYSSE, W.K. BREWSTER, K. BRYAN, J.F. DAEUBLE, S.C. FIELDS, R.E. GAST, R.A. GREEN, N.M. IRVINE, W.C. LO, C.T. LOWE, J.M. RENG, J.S. RICHBURG, J.M. RUIZ and N.M. SATCHIVI, 2015: The discovery of Arylex™™ active and Rinskor™™ active: Two novel auxin herbicides. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* **24**, 362-371.
- GEHRING, K., S. THYSSEN and T. FESTNER, 2012: Möglichkeiten der Kontrolle von Storchschnabel-Arten (*Geranium* spp.) mit Herbiziden im Ackerbau. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 671-678.
- KLINGENHAGEN, G., 2012: Stoppen Sie Unkraut-Exoten. *Top Agrar*, No.2/2012, 86-91.

Flufenacet an interesting mix partner for Viper™ Compact and GF-1546 against grass weeds in autumn

Flufenacet als interessanter Mischpartner für Viper™ Compact und GF-1546 gegen Ungräser im Herbst

Matthias Donner*, Marcin Dzikowski, Wolfgang Dietrichs, Jörg Becker

Dow AgroSciences GmbH Truderinger str. 15, 81677 München

*Corresponding author, mdonner@dow.com

DOI 10.5073/jka.2018.458.052



Abstract

Viper™ Compact herbicide consists of the three active ingredients penoxsulam (15 g/L), florasulam (3.75 g/L) and diflufenican (100 g/L). It is a broad-spectrum herbicide used to control loose silky-bent (*Apera spica-venti*), mono- and dicotyledonous weeds in winter wheat, winter barley, winter rye and winter triticale in the autumn. Penoxsulam and florasulam belong to the HRAC group B (ALS inhibitor), diflufenican to the HRAC group F1. Many loose silky-bent populations have a high risk of developing resistance to herbicides in the HRAC group B. For an effective resistance management, it is necessary to use herbicides from low resistance risk groups as mixing partner. A common mixing partner is the active substance flufenacet from the HRAC group K3.

In 2015, mixtures of Viper™ Compact (0.5 - 0.75 L/ha) with flufenacet (125-240 g/ha) were tested in field trials. While Viper™ Compact is able to control sensitive grass populations, the addition of flufenacet was able to successfully control less sensitive *Apera spica-venti* (APESV) biotypes. Furthermore, with the increased flufenacet application rate of 240 g/ha + Viper™ Compact, blackgrass was also controlled successfully. Overall the mixture was selective in the tested cultures. The tank mix of Viper™ Compact + flufenacet thus offers a high effectiveness against grasses and weeds, while at the same time reducing the risk of resistance development.

Keywords: APESV, ALOMY, flufenacet, penoxsulam, weed control

Zusammenfassung

Viper™ Compact bestehend aus den drei Wirkstoffen Penoxsulam (15 g/l), Florasulam (3,75 g/l) und Diflufenican (100 g/l) ist ein breit wirksames, im Herbst einzusetzendes Herbizid, zur Bekämpfung von Windhalm, sowie ein- und zweikeimblättrigen Unkräutern in Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen und Wintertriticale. Ein weiteres Herbizid ist GF-1546 welches aus der Wirkstoffkombination von Penoxsulam (15 g/l) und Diflufenican (100 g/l) besteht. Penoxsulam und Florasulam gehören der HRAC-Gruppe B (ALS-Hemmer) an, Diflufenican der HRAC-Gruppe F1. Da viele Windhalmpopulationen ein hohes Resistenzrisiko gegenüber Herbiziden der HRAC-Gruppe B aufweisen, ist es im Rahmen des Resistenzmanagements geboten Herbizide als Mischpartner einzusetzen, welche aus einer weniger resistenzgefährdeten HRAC-Gruppe stammen. Ein praxisüblicher Mischpartner ist hierbei der Wirkstoff Flufenacet aus der HRAC-Gruppe K3.

In 2015 wurden in Feldversuchen Mischungen von Viper™ Compact (0.5 - 0.75 l/ha) mit Flufenacet (125 - 240 g/ha) getestet. Während Viper™ Compact sensitive Gräserpopulationen sicher erfasst, konnten nun durch die Zugabe von Flufenacet auch weniger sensitive *Apera spica-venti* (APESV) Biotypen erfolgreich bekämpft werden. Desweiteren konnte mit der erhöhten Flufenacet Aufwandmenge von 240 g/ha + Viper™ Compact, Ackerfuchsschwanz erfolgreich bekämpft werden. Insgesamt war die Mischung verträglich in den getesteten Kulturen. Die Tankmischung von Viper™ Compact + Flufenacet bietet somit eine hohe Wirksamkeit gegenüber Ungräsern und Unkräutern bei gleichzeitig verringertem Resistenzrisiko gegenüber Ungräsern.

Stichwörter: Ackerfuchsschwanz, Flufenacet, Penoxsulam, Windhalm, Unkrautbekämpfung

Introduction

Viper™ Compact is an autumn herbicide which can be applied at a max use rate of 1 L/ha from BBCH 10-23 to winter wheat, winter barley, winter rye, and winter triticale. It consists of the three active ingredients penoxsulam (15 g/L), florasulam (3.75 g/L) and diflufenican (100 g/L). Viper™ Compact can be used on a broad spectrum of weeds in autumn sown cereals and provides consistent control on problematic weeds such as *Centaurea cyanus* (CENCY), *Matricaria sp.* (MATSS), *Galium aparine* (GALAP) and all Brassica weeds including volunteer oil seed rape. Furthermore, Viper™ Compact can control sensitive *Apera spica-venti* (APESV) populations. GF-

1546 is also an autumn herbicide which contains only penoxsulam (15 g/L) and diflufenican (100 g/L) and can be applied to winter cereals from BBCH 10-29.

Penoxsulam and florasulam belong to the HRAC group B (ALS inhibitor), diflufenican to the HRAC group F1. The grass weed APESV has a high inherent resistance risk towards herbicides belonging to the ALS (HRAC B) and ACCase (HRAC A) mode of action herbicides. To reduce the resistance risk it is necessary to use herbicides from a less resistant HRAC group as a mixed partner (RETZINGER et al., 1997; BALGHEIM, 2006). A common mixing partner is the active substance flufenacet from the HRAC group K3. APESV did not show any resistance to cell division inhibitors (HRAC K3) yet (HRAC, 2017). The mixture of Viper™ Compact/ GF-1546 + flufenacet (SPU5410) was evaluated in field trials to test selectivity and completeness of weed spectrum.

Materials and Methods

Trials with Viper™ Compact and GF-1546 in tank mix with SPU5410 (flufenacet) were conducted in Germany and in Austria by Dow AgroSciences in autumn of 2016. Weed control and crop tolerance were rated as % effect on a 0-100 scale by visual assessments in comparison with untreated control plots. Phytotoxicity assessments to cereal crops were started one week after application and continued as long as symptoms were visible. Viper™ Compact was applied at 0.75 L/ha in tank mix with 125 g/ha flufenacet against APESV and broadleaf weeds at crop stage BBCH 10-12. Against ALOMY and broadleaf weeds Viper™ Compact and GF-1546 were tested at the rate of 0.75 L/ha and with increased flufenacet rate of 240 g/ha applied at crop stage BBCH 10-11. In total 16 trials were conducted in winter wheat and 2 in winter barley.

Tab. 1 Tested products in the trial.

Tab. 1 *Verwendete Produkte in den Versuchen.*

Product	Formulation type	Active ingredients	HRAC-code of each a.s.
Viper™ Compact	SC	Diflufenican (100 g/L)	F1
		Penoxsulam (15 g/L)	B
		Florasulam (3.75 g/L)	B
GF-1546 (Dow AgroSciences)	SC	Diflufenican (100 g/L)	F1
		Penoxsulam (15 g/L)	B
SPU 5410	SC	Flufenacet (500 g/L)	K3

Results

Viper™ Compact herbicide applied at 0.75 L/ha in tank mix with 0.25 L/ha SPU5410 (125 g/ha flufenacet) performed very well in winter cereals with high levels of efficacy (>95%) against the weeds and grasses on *Apera spica-venti* (APESV), *Matricaria chamomilla* (MATCH), *Stellaria media* (STEME), *Centaurea cyanus* (CENCY), *Papaver rhoeas* (PAPRH), *Veronica hederifolia* (VERHE), *Viola arvensis* (VIOAR) and *Poa annua* (POAAN) (Fig. 1).

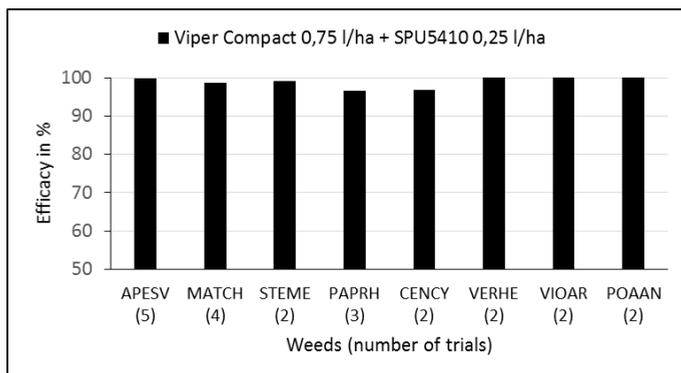


Fig. 1 Efficacy of Viper™ Compact in tank mix with SPU5410 (flufenacet) at 0.75 L/ha + 0.25 L/ha applied against grasses and broadleaf weeds applied at BBCH 10-12.

Abb. 1 Wirkung von Viper™ Compact in Tankmischung mit SPU5410 (Flufenacet) mit einer Aufwandsmenge von 0,75 l/ha + 0,25 l/ha gegen Ungräser und Unkräuter appliziert BBCH 10-12.

The application of the tank mix Viper™ Compact + SPU5410 (flufenacet) in winter wheat and winter barley also demonstrated good crop selectivity when applied at BBCH 10-13.

Viper™ Compact and GF-1546 each applied at 0.75 L/ha in tank mix with SPU5410 at 0.48 L/ha (240 g/ha flufenacet) controlled ALOMY over 97% when applied at BBCH 10-11 (Fig. 2).

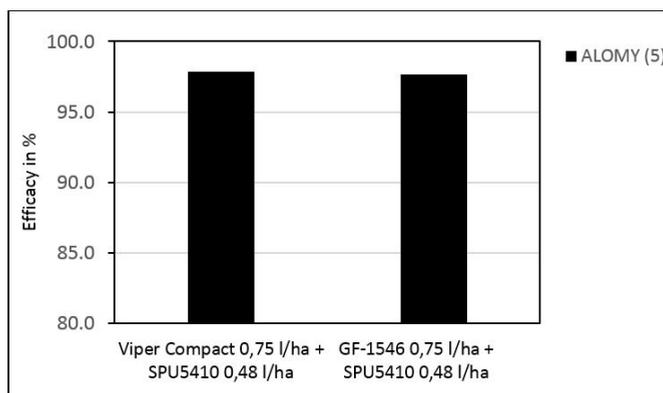


Fig. 2 Efficacy of Viper™ Compact or GF-1546 in tank mix with SPU5410 (flufenacet) at 0.75 L/ha + 0.48 L/ha applied against *Alopecurus myosuroides* applied at BBCH 10-11.

Abb. 2 Wirkung von Viper™ Compact oder GF-1546 in Tankmischung mit SPU5410 (Flufenacet) mit einer Aufwandsmenge von 0,75 l/ha + 0,48 l/ha gegen *Alopecurus myosuroides* appliziert BBCH 10-11.

Discussion

The tank mix of either Viper™ Compact herbicide or GF-1546 with SPU5410 showed high efficacies against all tested grasses and broadleaf weeds and can be applied very safely to winter cereals. Viper™ Compact has a broad weed spectrum among autumn applied cereal herbicides and in combination with flufenacet the herbicidal efficacy against *A. myosuroides* can be improved significantly. *A. spica-venti* populations showing some ALS resistance can also be sufficiently controlled with this tank-mix combination. The application timing against loose silky-bent is flexible, meaning that it is also possible to apply later than BBCH 10 because flufenacet provides good control on that grass weeds in post-em situations and supported by the fact that florasulam

in Viper™ Compact is used to its fullest potential against important weeds like CENCY when weeds have been emerged. Against blackgrass, early-applied applications of these tank-mixtures should be prioritized in order to tap the full potential of flufenacet against that grass weed.

The combination of Viper™ Compact or GF-1546 with SPU5410 not only provides more protection against important weeds, it can be also an important resistance management tool in autumn by reducing the resistance risk. Viper™ Compact and GF-1546 consist of penoxsulam of the HRAC group B and diflufenican of the HRAC F1 (MENNE et al., 2012). Viper™ Compact additionally contains florasulam which belongs also to the HRAC group B. Loose silky-bent has a high inherent resistance risk towards graminicides belonging to ALS herbicides (HRAC B). By combining flufenacet with Viper™ Compact and GF-1546 the resistance risk can be reduced since flufenacet belongs to the HRAC group K3 (RETZINGER et al., 1997; BALGHEIM, 2006). So far, no resistance was reported for flufenacet to *A. spica-venti* in Europe (HRAC, 2017).

Literatur

- BALGHEIM, R., 2006: Herbizidresistenz vermeiden, Wirkstoffe erhalten - Eine Gemeinschaftsaufgabe von Beratung, Forschung und Praxis am Beispiel des Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.). J. Plant. Dis. Prot. **XX**, 49-56.
- RETZINGER, JR., E.J. and C. MALLORY-SMITH, 1997: Classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. Weed Technology **11**, 384-393.
- MENNE, H. and H. KÖCHER, 2012: HRAC classification of herbicides and resistance development. Modern Crop Protection Compounds **1-3**, Second Edition, 5-28.
- HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (HRAC), [HTTP://www.weedscience.org](http://www.weedscience.org), 2017.

KORVETA™ - a new herbicide for the control of a wide range of broadleaf weeds in winter oilseed rape applied in spring

KORVETA™ - ein neues Herbizid zur Bekämpfung eines breiten Spektrums dikotyler Unkräuter in Winterraps im Frühjahr

Agnes Zotz*, Ulrich Bernhard, Jürgen Bonin

Dow AgroSciences GmbH, Truderinger Straße 15, 81677 München, Germany

*Corresponding author, azotz@dow.com

DOI 10.5073/jka.2018.458.053



Abstract

KORVETA™ herbicide is a novel selective post-emergence herbicide for use on winter oilseed rape applied as a spring application. KORVETA provides superior control of a wide range of important annual broad-leaved weeds in winter oilseed rape, including *Centaurea cyanus*, *Galium aparine*, *Matricaria* spp. and *Papaver rhoeas*, combined with a robust crop safety. KORVETA combines both actives Arylex and clopyralid and therefore contains two non-ALS mode of actions. While clopyralid has been widely used in oilseed rape in recent years, Arylex is a new auxinic herbicide for the post-emergence weed control of key broad-leaved weeds. Arylex is the first member of the 'Arylpicolinate' structural class, a new class within the HRAC Group O. The ISO common name of Arylex is 'halauxifen-methyl' (Dow AgroSciences, 2013). With a maximum use rate of 1 L/ha, KORVETA will deliver 4.8 g ae/ha of Arylex and 120 g ae/ha of clopyralid. KORVETA is formulated as an emulsifiable concentrate (EC). KORVETA will be applied as a single application from crop stage BBCH 30 up to BBCH 50 and will give growers a new tool to control the key broad-leaved weeds occurring in oilseed crop in the spring.

Keywords: Arylex, broadleaf weed control, clopyralid, KORVETA, winter oilseed rape

Zusammenfassung

KORVETA™ ist ein neues selektives Nachauflaufherbizid in Winterraps zur Anwendung im Frühjahr. KORVETA wird mit einmaliger Anwendung ab Vegetationsbeginn eingesetzt. Korveta kontrolliert ein breites Spektrum an wichtigen Unkräutern in Winterraps, einschließlich *Centaurea cyanus*, *Galium aparine*, *Matricaria* spp., und *Papaver rhoeas* und weist eine sehr gute Kulturpflanzenverträglichkeit auf. KORVETA enthält die beiden aktiven Wirkstoffe Arylex (4,8 g ae/L) und Clopyralid (120 g ae/L) und ist als Emulsionskonzentrat (EC) formuliert. Clopyralid wird schon seit vielen Jahren erfolgreich im Winterraps eingesetzt, der Wirkstoff Arylex ist ein neuer Wirkstoff aus der Gruppe der Auxin-ähnlichen Herbizide für die Nachauflauf-Bekämpfung von wichtigen zweikeimblättrigen Unkräutern. Arylex ist der erste Vertreter der Wirkstoffgruppe der 'Arylpicolinate', einer neuen Gruppe innerhalb der HRAC-Gruppe O. Der wissenschaftliche Name von Arylex ist 'Halauxifen-methyl' (Dow AgroSciences, 2013). Mit einer maximalen Aufwandmenge von 1 L/ha werden 4,8 g ae/ha Arylex und 120 g ae/ha Clopyralid ausgebracht. Mit KORVETA bietet sich dem Anwender in Zukunft ein neues Bekämpfungskonzept zur Unkrautbekämpfung im Frühjahr im Winterraps.

Stichwörter: Arylex, Bekämpfung dikotyler Unkräuter, Clopyralid, KORVETA, Winterraps

Introduction

Dow AgroSciences has developed the new herbicide Arylex™ active, which targets important broadleaf weeds.

Chemical properties of Arylex™ active

Common name	Halauxifen-methyl
Chemical family	Arylpicolinate
Empirical formula	C ₁₄ H ₁₁ Cl ₂ FN ₂ O ₃
Molecular weight	345.17 g/mol
Vapor pressure	5.9 x 10 ⁻⁹ Pa at 20°C
Solubility (water 20°C; in mg/L)	pH 5: 1,67; pH 7: 1,67; pH 9: 1,69
Octanol/Water Partition Co-Efficient (<i>log P_{ow}</i>)	pH 7 = 3.76
Soil Adsorption Constant (<i>K_{oc}</i>)	473 – 2659 mL/g (average = 1418 mL/g)

Beside the currently ongoing development of the active in the cereal segment (Dziukowski et al., 2016), two new products are developed for the use in winter oilseed rape based on this molecule.

The ready-to-use mix of Arylex in combination with the active clopyralid will have the trade name KORVETA™ herbicide. KORVETA will be available for the use as a spring application in winter oilseed rape. Arylex in combination with the active picloram will have the trade name BELKAR™ herbicide.

Characteristics of the formulated product KORVETA

Active ingredients	Halauxifen-methyl 4.8 g ae/L; clopyralid 120 g ae/L
Target crop	Winter oilseed rape
Formulation type	EC (Emulsifiable concentrate)
Mode of action	Synthetic auxins – both compounds; HRAC-group O
Application timing	Spring application; from beginning of vegetation until crop stage BBCH 50
Recommended dose rate	1.0 L/ha

KORVETA™ is a selective herbicide for the control of dicotyledonous weeds in winter oilseed rape. The product contains 120 g ai/L clopyralid and 4.8 g ae/L halauxifen-methyl and is formulated as an emulsifiable concentrate (EC). Both actives Arylex and clopyralid belong to the class HRAC O, so that KORVETA is a product without an active exhibiting an ALS mode of action. With a maximum use rate of 1 L/ha, the product will deliver 4.8 g ae/ha of Arylex and 120 g ae/ha of clopyralid. The application timing of KORVETA is a spring treatment.

Materials and Methods

Development trials with KORVETA as a spring applied herbicide from crop stage BBCH 30 with a dose rate of 1.0 L/ha were conducted in 2014 and 2015. Trials were carried out in the maritime EPPO zone in the Czech Republic, Germany, United Kingdom, Denmark and Sweden. Trials were set up 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 and plot sizes between 15m² and 40m². Visual assessments of the herbicidal efficacy of KORVETA and a commercial standard reference product were made in regular intervals during spring after the application. The commercial reference product used in the trials was Effigo™ applied with the registered dose rate of 0.35 L/ha. Effigo contains the 2 actives picloram and clopyralid and is well known in Germany for the use in winter oilseed rape as a spring application for several years now. The weed control was rated visually as an overall score of the percentage control relative to the non-treated check.

The potential impact of KORVETA on the selectivity of winter oil seed rape has been evaluated in specific weed free trials. Trials from the maritime EPPO zone (Czech Republic, Germany, United Kingdom and Denmark) imitated in spring 2015 are taken into account. The trials followed a randomized complete block design with 4 replicates and plot sizes between 24m² and 38m². Two application timings were chosen according to two different targeted crop stages: Timing A with targeted crop stage BBCH 30, timing B with targeted crop stage BBCH 50. Furthermore KORVETA™ herbicide was applied at the target dose rate of 1 L/ha and the double dose rate of 2 L/ha. The selectivity on the crop was rated visually as % injury and yield was recorded.

Results

Efficacy spectrum of KORVETA when applied as a single spring application

When applied as a single spring application from crop stage BBCH 30, KORVETA provides very good control of key weed species such as *Centaurea cyanus*, *Galium aparine*, *Cirsium arvense*, *Fumaria officinalis* and *Lamium purpureum* (>93% control). *Matricaria chamomilla*, *Geranium dissectum* and *Geranium pusillum* are also susceptible and sufficiently controlled (>92% control). *Papaver rhoeas* showed moderately susceptible with >88% control.

The standard reference product used in the trials was Effigo™ herbicide applied with the registered dose rate of 0.35 L/ha. As data show, KORVETA shows a broader spectrum of activity

compared to the activity spectrum of the reference standard Effigo, including hard to control weeds such as *Geranium* spp., *Papaver rhoeas*, *Fumaria officinalis* and *Lamium* spp. Furthermore the level of control of key weeds such as *Centaurea cyanus*, *Galium aparine* and *Matricaria* spp. is by trend higher as the tested standard.

Crop selectivity and yield response

The potential impact of KORVETA on the selectivity of winter oil seed rape has been evaluated in specific weed free trials carried out in the maritime EPO zone. In all trials, KORVETA showed very good crop safety when applied in spring at crop stages BBCH 30 resp. BBCH 50. Crop phytotoxicity symptoms > 5% were not seen in any trial at single or double dose rate tested. Injuries - if any - were transient and did not impact crop yield statistically significant.

Tab. 1 Efficacy of KORVETA applied once as a spring application with a dose rate of 1.0 L/ha in winter oilseed rape at crop stage BBCH 30. Data from Germany, Czech Republic, United Kingdom, Denmark and Sweden are summarized.

Tab. 1 Wirkung von KORVETA bei einmaliger Anwendung im Frühjahr mit 1.0 L/ha zu Raps im BBCH Stadium 30. Datengrundlage sind Versuche aus Deutschland, Tschechien, Vereinigtes Königreich, Dänemark und Schweden.

Weed species	Weed EPO code	Number of trials	Efficacy of KORVETA at 1.0 L/ha [% control]	Efficacy of Effigo at 0.35 L/ha [% control]
<i>Lamium purpureum</i>	LAMPU	11	97.6	29.3
<i>Centaurea cyanus</i>	CENCY	10	96.1	87.0
<i>Fumaria officinalis</i>	FUMOF	3	93.6	29.2
<i>Galium aparine</i>	GALAP	18	93.1	86.2
<i>Cirsium arvense</i>	CIRAR	2	93.0	91.1
<i>Geranium dissectum</i>	GERDI	5	92.1	37.3
<i>Geranium pusillum</i>	GERPU	12	92.0	33.4
<i>Matricaria chamomilla</i>	MATCH	6	91.5	90.3
<i>Papaver rhoeas</i>	PAPRH	17	87.9	34.9
<i>Descurainia sophia</i>	DESSO	5	80.1	25.1

Tab. 2 Yield response of KORVETA™ herbicide applied once as a spring application with a dose rate of 1.0 L/ha resp. 2 L/ha in winter oilseed rape at crop stage BBCH 30 and BBCH 50. Yield data from Germany, Czech Republic, United Kingdom and Denmark are taken into account.

Tab. 2 Ertrag von KORVETA bei einmaliger Anwendung im Frühjahr mit 1.0 L/ha bzw. 2 L/ha zu Raps BBCH 30 sowie BBCH 50. Datengrundlage sind Ertragsversuche aus Deutschland, Tschechien, Vereinigtes Königreich und Dänemark.

Treatment	Application timing (targeted BBCH stage crop)	Dose rate KORVETA	% yield relative to untreated	Number of trials
KORVETA	BBCH 30	1 L/ha	101.9	10
KORVETA	BBCH 30	2 L/ha	103.1	10
KORVETA	BBCH 50	1 L/ha	102.9	10
KORVETA	BBCH 50	2 L/ha	99.4	10
untreated			100	10

Discussion

Dow AgroSciences has developed the new herbicide Arylex™ active, which targets dicotyledonous weeds in various crops. For specific use in winter oilseed rape as a spring application, the product KORVETA™ herbicide is developed. The product contains 120 g ai/L clopyralid and 4.8 g ae/L Arylex and is formulated as an emulsifiable concentrate (EC). The product can be applied as a spring treatment at a dose rate of 1 L/ha from crop stage BBCH 30 up to BBCH 50.

KORVETA provides very good control of key weed species such as *Centaurea cyanus*, *Galium aparine*, *Cirsium arvense*, *Fumaria officinalis* and *Lamium purpureum*. *Matricaria chamomilla*,

Geranium dissectum and *Geranium pusillum* are also susceptible and sufficiently controlled. *Papaver rhoeas* showed moderately susceptible with >88% control.

KORVETA shows a broader spectrum of activity compared with the weed spectrum of the standard reference product Effigo™ herbicide, including control of key weeds such as *Geranium* spp., *Papaver rhoeas*, *Fumaria officinalis* and *Lamium* spp.. Efficacy against *Centaurea cyanus*, *Galium aparine* and *Matricaria chamomilla* is also by trend higher than the tested standard. Furthermore KORVETA shows very good crop safety when applied in spring at crop stage BBCH 30 up to crop stage BBCH 50. KORVETA will give growers a new tool for the ALS- free control of important broad-leaved weeds occurring in oilseed crop in the spring.

™Trademark of the Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow.

References

DZIKOWSKI, M., J. BECKER, D. LARELLE, B. KAMERICHS and R. GAST, 2016: Arylex™ active – new herbicide active and base for new cereals herbicides: Zypar™ and Pixxare™ EC to control wide range of breadleaf weeds in cereals in Europe. Julius-Kühn-Archiv **452**, 297-304.

DOW AGROSCIENCES, 2013: Arylex Active Technical Bulletin.

Sektion 7: Smart Farming

Session 7: Smart Farming

From traditional weed mapping to an autonomous robot: developments and results from Hungary

Von traditioneller Unkrauterfassung zum autonomen Roboter: Entwicklungen und Ergebnisse aus Ungarn

Péter Reisinger, István Borsiczky*

Széchenyi István University, H-9200-Mosonmagyaróvár, Vár tér. 2., Hungary

*Corresponding author, istvan@tomelilla.hu

DOI 10.5073/jka.2018.458.054



Abstract

We are developing precision weed control technology in Hungary since 2000. From the beginning, for financial reasons, we focused our attention on the map-based technology. The post-emergence weed control method developed for winter wheat begins with weed mapping, continues with post-processing of information and ends with creation of application maps with GIS software.

In the first five years, we have developed the weed mapping methodology. Based on experiments and calculations, we have found the solution in a Hungarian method based on weed coverage. The field is divided in 0.5-hectare quadrats and the weed coverage of each quadrat is estimated. The information is georeferenced with DGPS coordinates. The processing algorithm considers the coverage limits for all weed species with focus on the presence of dangerous weeds, selects the cells where chemical weed control is mandatory and the cells with low risk, where the absence of chemical protection can be allowed. At the beginning, we have used a conventional, tank mix sprayer, later we have switched to a twin tank, direct injection machine. From 2008 to 2016 the technology was tested on 1237 hectares, 38 fields, 2459 quadrates in total. We can report 51% average herbicide saving for the nine-year interval. The advantages of the developed method are cost-effectiveness and safe weed detection. The disadvantage is the high expenditure of time by the weed expert because the whole field must be covered.

As a further development, we have created an autonomous weed mapper in 2016. The result is a significant increase of image samples. The used office environment improves the accuracy of image processing, the identification of species and coverage estimation.

Keywords: Autonomous weed mapping, manual weed mapping, precision weed control, robot

Zusammenfassung

Seit dem Jahr 2000 entwickeln wir in Ungarn Techniken für die teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung. Seit Beginn konzentrierten wir uns aus finanziellen Gründen auf die Erstellung von Unkrautverteilungskarten (Kartentechnik). Die Methode zur Nachauflauf-Unkrautbekämpfung wurde für Winterweizen entwickelt und beginnt mit der Unkrautkartierung und der Datennachbearbeitung von Informationen und endet mit der Erstellung von Applikationskarten mit GIS-Software.

In den ersten fünf Jahren haben wir die Methoden zur Unkrautkartierung entwickelt. Nach Experimenten und Berechnungen fanden wir die Lösung in einer ungarischen Methode basierend auf dem Unkrautdeckungsgrad. Dabei wird das Feld in 0,5 Hektar große Quadrate geteilt und der Unkrautdeckungsgrad wird für jedes Quadrat erfasst. Die Informationen sind georeferenziert mit DGPS-Koordinaten. Der Verarbeitungsalgorithmus berücksichtigt Deckungsgrade mit Fokussierung auf das Vorkommen von gefährlichen Unkrautarten, wählt die Zellen, in denen eine chemische Unkrautbekämpfung erforderlich ist, sowie die Zellen mit geringem Risiko, in denen auf eine Unkrautbekämpfung verzichtet werden kann. Zu Beginn haben wir eine konventionelle Feldspritze verwendet, die wir später zu einem Twin Tank mit Direkteinspeisung verändert haben. Von 2008 bis 2016 wurde die Technologie auf 1237 Hektar, 38 Feldern auf insgesamt 2459 Parzellen getestet. Wir konnten für die neun Jahres-Intervall eine durchschnittliche Herbizideinsparung von 51 % ermitteln.

Die Vorteile des entwickelten Verfahrens sind die Wirtschaftlichkeit und die sichere Unkrauterkenntnis. Der Nachteil ist der hohe Zeitaufwand durch einen Unkrautexperten, da das gesamte Feld abgedeckt werden muss.

Als Weiterentwicklung wurde im Jahr 2016 ein autonomes Fahrzeug zur Unkrauterfassung konstruiert. Dies führt zu einer signifikanten Erhöhung der Bildanzahl. Die verwendete Office-Umgebung verbessert die Genauigkeit der Bildverarbeitung, die Unkrautartenerkennung und die Ermittlung des Deckungsgrades.

Stichwörter: Automatische Unkrauterfassung, manuelle Unkrauterfassung, präzise Unkrautbekämpfung, Roboter

Introduction

The research on precision plant production began 20 years ago in Hungary, primarily by developing methods for precision nutrient management. Since 2000 we have started to review the foreign experiences, study the details and the developed methods. We examined the possibility of adaptations for Hungary. The effective, mostly on-line methods developed in Western Europe were barely applicable due to financial reasons. On the other hand, the researchers and practicing professionals are using a well-developed Hungarian weed mapping method for more than 70 years.

Over the past 17 years, we have tried to develop our own, complete, off-line method with integration of the traditional Hungarian weed surveying method as the input side of the site-specific weed management. Additional tasks were the optimization of sampling grid, size of the sample plots, assets used for weed-mapping and finding solutions for many other logistical problems.

The following task was processing the information input, creation of the weed controlling algorithm and in the final phase we have prepared the controlling commands for the sprayer. We have used site specific weed management primarily in winter wheat, since 2008. At the beginning, we have used a conventional, tank mix sprayer, later we have switched to a twin tank, direct injection machine. From 2008 to 2016 the technology has been tested for 1237 hectares, 38 fields, 2459 quadrates in total. We can report 51% average herbicide saving for the 9-year interval.

The results of the robot-technological innovations of the recent years requested the re-thinking of our previously developed method. We have developed a weed-mapping, self-propelled robot and we have tested the device in different crops.

Weed mapping methods: presentation and qualification from the point of view of precision weed control

The most important element in planning precision weed control and herbicide application is the selection and development of the adequate weed surveying method. On cultivated areas weed populations show high heterogeneity regarding the occurring species and their density (GERHARDS et al., 2000; HAMOUZ et al., 2004). Many factors have an influence on the composition of a plant assemblage; the most important are ecological factors and agrotechnology, as an anthropogenic element.

According to UJVÁROSI (1957), a great eminence in the field of Hungarian agrobotanics, the effectiveness of weed control in a field is depending mostly on the knowledge of weed species and their quantitative proportions. As a further consideration, the effectiveness of site-specific weed control depends on the accuracy of surveying and detection of the weeds.

Weed surveying methods have developed from natural vegetation research procedures and can be divided into two groups: exact methods and estimation methods. In the European weed research publications, the authors do not mention the name or type of weed mapping methods. JOHNSON et al. (1995) pointed out that farmers are not taking the advantage of precision weed control, the high level of herbicide savings, because there is no standardized method for weed-map creation.

MERTENS et al. (2002) surveyed fields in Germany. In 2000 and 2001 they have surveyed the surroundings of 382, respective 500 villages, on untreated corn fields, counting the species and density of weeds on 0.1m² areas. CHIRILLA and BERCA (2002) surveyed 237.000 hectares on 3676 sampling plots from 1974 to 2000 in South East Romania. Weed phenology, height and density were recorded. KROHMANN et al. (2002) counted weeds on 0.4m². LITTERSKI and JÖRNS (2004) recorded the coverage of the species. For precision weed mapping HAMOUZ et al. (2004, 2006) used the weed density of the 0.25m² sampling areas. NORDMEYER (2006) used weed counting on 2x0.1m² areas.

The disadvantage of the exact method is the slowness and if the weeds are completely removed, the surveying cannot be repeated. Methods based on estimation are not as accurate, but they are faster, simpler, cost effective and with enough practice we can get good results.

BALÁZS (1944) laid the foundations of the most commonly used method for weed surveying in Hungary. The weed density (coverage) is estimated on a scale, based on bisection of the sampling area. Table 1 shows estimations of weed coverage (rows nr. 1, 3 and 5) and values of Balázs (rows nr. 2, 4 and 6).

Tab. 1 Relationship between Balázs values and weed coverage (%).

Tab. 1 *Beziehung zwischen Balázs Zahlen und Unkrautdeckung (%)*.

Weed coverage%	100,00	87,50	75,00	62,50	50,00	43,75	37,50	31,35	25,00
Balázs value	6	5-6-6	5-6	5-5-6	5	4-5-5	4-5	4-4-5	4
Weed coverage%	21,87	18,75	15,62	12,50	10,93	9,37	7,81	6,25	5,46
Balázs value	3-4-4	3-4	3-3-4	3	2-3-3	2-3	2-2-3	2	1-2-2
Weed coverage%	4,68	3,90	3,12	2,49	1,87	1,24	0,62	0,36	0,10
Balázs value	1-2	1-1-2	1	+1-1	+1	++1	+	0+	0

Miklós Ujvárosi, a leading personality of the Hungarian agrobotanics made further developments and as a result it became known as “Balázs-Ujvárosi weed surveying” method (furthermore B-U method).

The advantages of the B-U method:

- mathematically correct, the data can be processed with computers, versus the Braun-Blanquet scale
- no measuring instruments needed, can be learned and executed relatively quickly
- the estimation method can be developed to an exact method (it is compatible with photo-optical procedures)
- the intervals properly represent the small coverage differences, coverage percentage pictures better the damages caused by weeds (area-competition) than weed counting
- the measurements (samplings) are repeatable

The method is widespread only in the Hungarian practice, because the authors have not published it in the foreign literature. The Fifth National Weed Survey (2007-2008) was published in English language too, with a profound description of the Balázs-Ujvárosi method (NOVÁK et al., 2009).

Practical validation of the B-U method with a wide-spectrum handheld camera

The B-U surveying method is practiced by Hungarian herbologists for more than a half century. Regarding the mapping method we had no comparison between the estimated values and margin of error. We have tried to prove the relative accuracy of the B-U method. Our research was conducted on wheat fields (stubble), at the Training Establishment of the University. We took near-field pictures with a multispectral CMOS handheld camera and in the same time we have surveyed the plots according to the B-U method. The number of samples were 43 (n=43). After image calibration we have evaluated all pictures and the coverage (canopy %) values were calculated. Later we have removed the overexposed images and reduced the number of samples to 32 (n=32). For image processing we have used BRIVE 32 and ENVI 4.0, for statistical calculations the

SPSS 12 software. The coordinates of the sample quadrants were recorded with TRIMBLE geodetic instrument, Omnistar correction.

Table 2 shows the results of comparisons. Without the overexposed images, the average coverage (%) of the digital images dropped from 43.65% to 35.34% and the correlation rose from 0.63 to 0.92.

Tab. 2 Statistical results of comparison between digital image processing and traditional surveying.

Tab. 2 Statistische Ergebnisse des Vergleichs zwischen digitaler Bildverarbeitung und traditioneller Erfassung.

n=43	Coverage - evaluation of total digital images	Coverage - results of the traditional B-U surveying
Average	43,65	29,07
Variance	23,25	19,98
CV%	53	69
Correlation	0,63	
n=32	Coverage - evaluation of digital images (overexposed removed)	Coverage - results of the traditional B-U surveying
Average	35,34	30,2
Variance	20,04	21,45
CV%	56	71
Correlation	0,92	

The question of sample density and size of surveying plots

Key issues of successful precision weed control are the sample density and size of sample plots. The weed-mapping is a tiring and time-consuming field work. As a result, the number of samples is aimed to be at the lowest cost and maximum information content. HAMOUZ et al. (2004, 2006) investigated for several years the spatial and temporal stability of weed populations. It was found that the quality of the weed maps and the success of the site-specific weed management are affected first and foremost by the size of the sampling grid and the size of the sampling plot.

Several variations have been tried out, from a few meters sampling grids (5-7.5 m) versus large (50-90 m) grids. JOHNSON et al. (1995) created 711 sampling grids of 20 × 40 m parallel to the direction of cultivation, surveyed and counted weeds on the points of intersection. After processing the entire database (20 × 40 m), they have got to the 80 m × 80 m (93 surveying plots) grid. The German researchers in the development of the on-line precision weed control applied complete survey of the entire field. In this case, the sample rate is not a methodological problem (GERHARDS et al., 2002; OEBEL, 2004).

In our own research we have considered both above mentioned criteria to be important. The density of sampling sites was researched on cereal stubble at the University in Mosonmagyaróvár, on field No. 10. (Lat. 47.900356, Long. 17.256317) in August 2002. The field was divided in 18 m wide bands along the tramlines and we have created 0.2-hectare grids (18 m x 111 m). Accordingly, in the intersections we have placed the 2 × 2 m surveying and sampling plots, 85 pieces in total. We have performed weed-surveys on all 85 plots according to the B-U method and later we have optimized the number of trial plots with data reduction and data grouping. In the first data reduction every second survey has been deleted. As a result, we have got 43 plots, each representing 0.4 ha area. The next step was deleting every third sample from the original database. As a result, we have got 30 plots, each representing 0.6 hectares. After these steps we have created the dominance order and we have researched the changes in the ranking of species.

Tab. 3 Relationship of weed species frequency and size of sampling area.

Tab. 3 Beziehung der Unkrautartenhäufigkeit und der Größe der Probenahmeflächen.

Dominance order	Area represented by sampling plots		
	0.2 ha	0.4 ha	0.6 ha
1.	<i>Chenopodium hybridum</i>	<i>Chenopodium hybridum</i>	<i>Mercurialis annua</i>
2.	<i>Mercurialis annua</i>	<i>Mercurialis annua</i>	<i>Chenopodium hybridum</i>
3.	<i>Vicia</i> spp.	<i>Vicia</i> spp.	<i>Vicia</i> spp.
4.	<i>Chenopodium album</i>	<i>Chenopodium album</i>	<i>Chenopodium album</i>

It was found that the frequency of weed species does not change significantly depending on 0.2, 0.4, 0.6 hectares sampling rate (Tab. 3). Processing the data, we have found no significant difference between the headlands, middle of field, or the intersections of the sampling grids (REISINGER et al., 2003). In spring 2005 we have researched sample density in the outskirts of the Baracska village (Lat.: 47.263470; Long.: 18.740297), in an untreated, 0.5-hectare winter wheat. Typically, a composition of dicots occurred: *Helianthus annuus* (volunteer), *Papaver rhoeas*, *Cannabis sativa*, *Sisymbrium sophia*, *Galium aparine*. Perennial weed species were not found in the area. The 18 m × 278 m plot was divided with braids into 2 × 2 m quadrants (sub-plots), (n=1251; 9 rows and 139 columns) then we have measured the coordinates in the center of the plots with high accuracy Trimble Pathfinder Power DGPS instrument. Later we have surveyed each quadrant according to the B-U method. The data was recorded in Excel spreadsheets and processed according to various criteria:

- mean coverage of weed species in 1251 trial plots
- occurrence of different weed species
- optimization of the number of samples with data reduction

For optimizing the number of sampling plots the following reductions were made from the database:

- only the rows from extremes were considered (n=278)
- only the middle row has been processed (n=139)
- every 10.-th plots of the middle row was taken into consideration (n=14)

The following table shows the high degree of significance between the results of various data reductions and the full set of data. We examined data obtained from every 10-th surveying plot of the middle row (n=14) and we have found significant results with the full set of data.

Tab. 4 Sample reduction and occurrence of weed species.

Tab. 4 Probenreduzierung und Auftreten von Unkrautarten.

Species	Data from all plots	Data from the plots of the extreme rows	Data from the plots of the middle row	Data from every 10-th plot of the middle row
	n=1251	n= 278	n=139	n=14
Incidence % of weed species				
<i>Helianthus annuus</i> (volunteer)	99,84	100	100	100
<i>Cannabis sativa</i>	99,84	100	100	100
<i>Papaver rhoeas</i>	88,41	87,36	88,5	71,43
<i>Sisymbrium sophia</i>	69,86	67,87	74,8	78,57
<i>Galium aparine</i>	0,32	0	0	0

SD 5 % 0.989***

From the experiments and practical experience, we found that the 0.5 hectares sample grid provides sufficient information for weed surveying- if the winter wheat is in good, even condition in the spring. It is important, however, to point out a few details. For precision weed control a sampling grid of 0.5 hectares (71 m x 71 m) should be overlaid on the field. The surveying plots should be positioned in the center of the quadrates formed by the grid. Navigation in the field, the coordinates of the numbered surveying plots and direction of travel should be planned and executed with a DGPS instrument. The surveying expert should keep a record of weeds of the first plot. While walking to the second plot, the expert is scanning the canopy with his eyes and records the weed species with 0.1% coverage, which have not occurred on the previous plot. Considering an average human line of sight this way we can survey 100-110 m² of every 0.5 hectares.

The size of surveying plots

In practice, the Balázs-Ujvárosi method uses 2 m x 2 m plots for precision weed control. The sub-meter accuracy of the used Trimble Pathfinder Power DGPS during development provided acceptable return accuracy to the 2m x 2m plots. The 2 x 2-meter quadrate is perspicuous, well manageable and walking around the perimeter the weed coverage can be exactly surveyed.

Optimization of precision weed control process in winter wheat

In countries with advanced agriculture the environmental approach is continuously growing, and pesticide and herbicide reduction programs are being introduced gradually (NORDMEYER, 2006). The precision weed control can be effective on fields with low or medium weed infestation, (GERHARDS et al., 2000). NORDMEYER and ZUK (2002) in their three years investigations found that the herbicide savings against monocotyledonous weeds was from 16.6% up to 55.3%, against dicotyledonous weeds from 23.9% up to 53.5%, against the *Galium aparine* from 25.5% up to 66.7%. NORDMEYER (2006) pointed attention on the possibility of large herbicide savings because of postemergence precision weed control in winter wheat (1999 to 2005). In some years 70-85% of the area remained untreated. Herbicide savings exceeded 50%. Regarding the yield, there was no difference between the treated and untreated areas. Considering the weed conditions of Hungary, the introduction of precision weed control methods is possible mainly in cereals and winter rape.

The almost two decade-long development of precision weed control around the world developed two distinct models, which are:

- online (real time)
- offline (post processing, map based)

Western European researchers and developers focused on the on-line (real-time) precision weed control models. Precision herbicide applications are based on detection software, developed focusing mainly on the morphological characteristics of weeds. On-line precision weed control methods are based on RGB or the multi-spectral cameras, fitted on the spraying tractor (OEBEL et al., 2004). After image conversions and special processing, they have received a set of binary images where the weed species are characterized by distinct white silhouettes, while the soil and environment are black. The images and coordinates are stored in the computer of the tractor. The other precision weed control model is the "map-based" procedure. The results of weed surveys are collected and sorted in databases and spraying maps are prepared with different algorithms. In map-based methods, collection and processing of data are separated in time from spraying, unlike the online method, where data collection and execution of the process are in real-time.

The Hungarian precision developments did not follow the mainstream Western European trends. In our vision precision spraying a second step is used, previously the weed species of the field and their quantities should be surveyed. We can select the appropriate active herbicide substance based on the survey data. Today we are using a smartphone application to carry out the field work. The application starts with importing or recording (walking around) the field boundaries. In the next step the surveying grid and numbered surveying plots are generated. 254 weed species are

included in the application with their life-forms and the coverage values of the B-Ú method, all selectable from menus with a push of a button.

Materials and Methods

The RAU Spidotrain 2800/18 sprayer was equipped with two, GPS-controlled, variable rate ready, direct injection tanks, 70 liter each (Injection Pump, Raven Industries, Sioux Falls, USA). The output of the injection tanks was connected directly into the water pipe, just before the section control valves via a „Turbo“ mixer. This device creates a very strong turbulence in the water and the injected chemical is mixed with water instantaneously. Based on the procedure and algorithm described earlier we have created and imported the spraying map into the console. We have used AgLeader SMS software and AgLeader InSight console with steering system, Trimble RTK base station. The "A" tank contained the stock solution of Aurora Super SG (carfentrazone-ethyl + mecoprop-p), herbicide for monocotyledonous weeds, and the "B" tank was liquid Axial One (pinoxaden + florasulam + cloquintocet-mexyl) commercial herbicide. In the main tank of the RAU sprayer we have mixed Stable SL (chlormequat) stem strengthener. The sprayer was programmed to work with a 300 l/ha water volume, with the constant 2 l/ha Stable SL mixture. The tractor was spraying continuously the water + strengthener mixture. When it reached a cell containing more T1 life-form dicotyledonous weeds with coverage more than 5%, or zero tolerance weeds, the „A“ tank switched on and Aurora Super SG 1 kg/ha dose was sprayed. The "B" tank worked only when the sprayer reached cells infected with *Apera spica-venti* and 1 l/ha Axial One was sprayed. All important details of the precision treatments were stored in the tractor's console.

The converted machine is capable of handling the following 4 variations:

- spraying the 2800 liter strengthening mixture from the main tank, without herbicides
- strengthening mixture + direct injection tank „A“ with selective herbicide for dicotyledonous weeds
- strengthening mixture + direct injection tank „B“ with selective herbicide for monocotyledonous weeds
- strengthening mixture + direct injection tanks „A“ + „B“ with selective herbicide for dicotyledonous and monocotyledonous weeds

Results

The 71.16-hectare Vadépuszta field (Lat. 46.611771, Long. 17.791038) was treated with Aurora Super SG (1 kg/ha) on 40.54 hectares, 57% of the total area (Fig. 1) The Axial One herbicide, 1 l/hectare, was used on 18.71hectares, on 24% of the total area (Fig. 2). It can be concluded that we have reached a 43% saving for Super Aurora SG and 76% for the Axial One herbicides. We have surveyed the wheat field before the harvest and concluded that there has been no damage arising from weed infestation and the field remained free of weeds.

The precision weed control cannot be used in all agronomic conditions. The basic rule is that precision control technology is not applicable to crop failures caused by poor drilling, sparse, or poor condition plants. It is not recommended in cases where stricter rules override the economic threshold approach (e.g. zero weed tolerance for seed production). Beyond the technical requirements of precision weed control trained technicians and herbologists are the key factors of success. In the development stages the field should be inevitably evaluated before and after harvest (REISINGER et al., 2008). In the light of all the above, precision weed control is a solution to major herbicide savings.

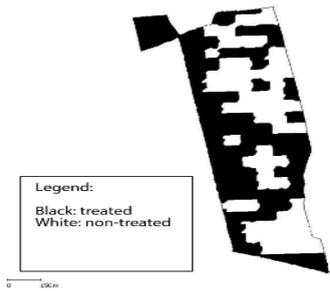


Fig. 1 Distribution of non-treated area (white) and area (black) treated with Aurora Super SG herbicide, 1 kg/ha.

Abb. 1 Verteilung der unbehandelten (weiß) und Bereich (schwarz) mit Aurora Super SG Herbizid, 1 kg/ha behandelt.

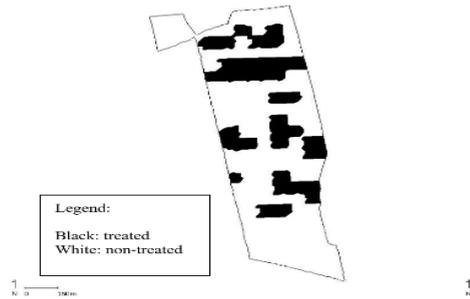


Fig. 2 Distribution of non-treated area (white) and area (black) treated with Axial One herbicide, 1 L/ha.

Abb. 2 Verteilung der unbehandelten (weiß) und Bereich (schwarz) behandelt mit Axial One Herbizid, 1 l/ha.

Tab. 5 Precision weed control in Vadépuszta, Hungary, results from 2008-2016.

Tab. 5 Präzise Unkrautbekämpfung in Vadépuszta, Ungarn, Ergebnisse von 2008-2016.

Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Area	184	195	102	177	119	126	170	69	95	1237
Number of fields	6	3	3	4	4	4	10	2	2	38
Surveys	368	390	204	342	237	241	335	141	201	2459
Untreated area %	68	76	38	51	65	55	31	25	52	51

The autonomous weed mapping robot

We have started to research the different weed surveying methods 40 years ago (REISINGER, 1977). We tried out many tools for weed mapping (hot-air balloon, powered hang gliders, helicopters, helicopter drones), but none of these was suitable for precise detection of weed species and their quantitative conditions. Then we tried satellite imagery, hyperspectral cameras for identification of *Ambrosia artemisiifolia* (KARDEVÁN et al., 2006). The results were unsatisfactory. After a lot of extensive research, we concluded, that precision weed control technology requires near field weed surveying by skilled professionals. The method developed by us is not widely spread, primarily due to the tedious and time-consuming walking.

As a further development, we have turned to robotics and we have created an autonomous weed mapper in 2016. The autonomous vehicle is moving on the field towards the preprogrammed surveying plots and is capturing georeferenced, perfect quality, sub-millimeter resolution images of the canopy. The images are analyzed by experts on high-resolution displays in the office, and processed according to the B-U method. The results are processed in Excel sheets based on the developed algorithm and prescription maps are generated with AgLeader SMS software. This tool (the robot) allows us to significantly increase the number of surveys without walking on the field. The main components of the weed robot: the camera system (20/21), electric drive train (33/44), steering, guidance and machine control (34, 41), GPS navigation system (51), telemetry system (54), are visualized on Figure 3.

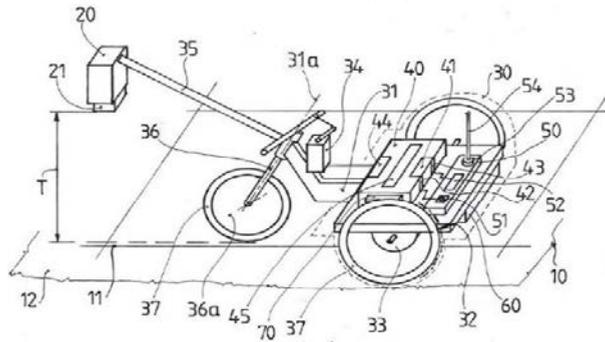


Fig. 3 Weed robot - Structural image from the patent description.

Abb. 3 Unkrautroboter - Strukturbild der Patentbeschreibung.

In spring 2017, we have tested the robot in winter wheat, winter barley, spring barley and beans. The number of digital images collected in four days exceeded more than 1000. We have processed the images under office conditions, on high resolution screens. Due (or despite) to the initial lack of routine, the images were processed and the excel sheets were created in 8 hours. The robot and the method are covered with patent protection.

Acknowledgements

We thank ing. Laszlo Farkas for the machinery, GIS instruments and land for the research we have carried out. Thank you for your helpful advice.

References

- BALÁZS, F., 1944: A növényöcnológiai felvételek készítésének újabb módja. *Bot.Közl.* **41**, 18-33.
- BORSICZKY, I. and P. REISINGER, 2017: Demonstration of an autonomous photo-optical weed mapper. Joint EWRS workshop of the Working Groups Physical and Cultural Weed Control and Crop-Weed Interactions. Nyon, Switzerland, 2-5 April 2017.
- CHIRILLA, C. and M. BERCA, 2002: Wichtige annuelle Unkräuter im Südosten Rumäniens in Abhängigkeit von Bodentyp und textur. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*, 131-139.
- GERHARDS, R., M. SÖKEFELD, C. TIMMERMANN, P. KROHMANN and W. KÜCHBAUCH, 2000: Precision weed control – more than just saving herbicides. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII*, 179-186.
- GERHARDS, R., M. SÖKEFELD, A. NABAUT, R. THERGURG and W. KÜHBAUCH, 2002: Online weed control using digital image analysis. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheit und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*, 421-427.
- HAMOUC, P., J. SOUKUP, J. HOLEC and K. NOVAKOVA, 2004: Field-scale variability of weed distribution on arable land. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIX*, 445-45.
- HAMOUC, P., K. NOVAKOVA, J. SOUKUP and L. TYSER, 2006: Evaluation of sampling and interpolation methods used for weed mapping. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz (Journal of Plant Diseases and Protection) Stuttgart, Sonderheft XX*, 205-215.
- KARDEVAN, P., P. REISINGER, J. TAMÁS and A. JUNG, 2006: A parlagfű detektálás távérzékelési módszereinek vizsgálata. I. rész. -A távérzékelési képek osztályozási hatékonyságának növelése a parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia* L.) reprezentatív spektrumainak terepi DGPS mérésekkel történő kiválasztásával, *Magyar Gyomkutatás és Technológia*. **6**(2), 53-69.
- KROHMANN, P., C. TIMMERMANN, R. GERHARDS and W. KÜCHBAUCH, 2002: Ursachen für die Persistenz von Unkrautpopulationen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*, 261-268.
- LITTERSKI, B. and S. JÖRNS, 2004: Der Einfluss extensiven Anbaus von Winterroggen auf die Segetalflora und – vegetation – eine Untersuchung in Nordostdeutschland. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIX*, 65-72.
- MERTHENS, J., M. SCHULTE, C. STEDEN and K. HURLE, 2002: Deutschlandweites Unkrautmonitoring in Mais – erste Ergebnisse aus den Jahren 2000 und 2001. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*, 115-122.
- MOLENAAR, M., 1994: Remote Sensing and Geographical Information Processing. Wageningen University, The Netherlands.
- MOORE, I.D., E. GESSLER, G.A. NIELSEN and G.A. PETERSON, 1993: Terrain analysis for soil specific crop management. Second International Conference on Site-Specific Management for Agricultural Systems, ASA-CSSA-SSSA. 27-51.
- NORDMEYER, H. and A. ZUK, 2002: Teilflächenunkrautbekämpfung in Winterweizen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*, 459-466.
- NORDMEYER, H., 2006: Teilflächenunkrautbekämpfung im Rahmen des Reduktionsprogramms chemischer Pflanzenschutz. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XX*, 165-172.

28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig

- NOVÁK, R., I. DANCZA, L. SZENTÉY and J. KARAMÁN, 2009: Arable Weeds of Hungary. Fifth National Weed Survey (2007-2008). Ministry of Agricultural and Rural Development, Budapest, 93 pp.
- OEBEL, H., R. GERHARDS, G. BECKERS, D. DICKE, M. SÖKEFELD, R. LOCK, A. NABAUT and R.D. THERBURG, 2004: Teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung durch raumbegrenzte Bildverarbeitung im Offline (und Online)-Verfahren (TURBO) – erste Erfahrungen aus der Praxis. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XIX**, 459-465.
- REISINGER, P., 1977.: A gyomfelvételezés módszereinek összehasonlító vizsgálata, Növényvédelem, **XIII**, évf. 8. Sz, 359-361.
- REISINGER, P. and B. CSUTORÁS, 2008: Precíziós gyomszabályozás tapasztalatai és eredményei őszi búzában. Magyar Gyomkutatás és Technológia (Hungarian Weed Research and Technology) **IX**, 1, 39-47.
- REISINGER, P. and T. KÖMIVES, 2012: Map-based precision weed control in winter wheat. Magyar Gyomkutatás és Technológia (Hungarian Weed Research and Technology) **13**(1), 65-73.
- REISINGER, P., G. PINKE, I. DANCZA and R. NOVÁK, 2012: Gyomfelvételezési módszerek In: Novák R., Dancza I., Szentey L., Karamán J. (szerk.) Az ötödik országos gyomfelvételezés Magyarország szántóföldjein. 570 p. Budapest: Vidékfejlesztési Minisztérium Élelmiszerlánc-felügyeleti Főosztály, Növény- és Talajvédelmi Osztály, 2012. pp. 16-27.
- TAMÁS, J. and P. REISINGER, 2004: Széles spektrumú kézi kamera alkalmazhatósága a terepi gyomfelvételezés során. Magyar Gyomkutatás és Technológia (Hungarian Weed Research and Technology) **5**(2), 43-51.
- Ujvárosi, M., 1957: Gyomnövények, gyomirtás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest, 78-80.

Teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung - eine Innovation zur präzisen Applikation im Pflanzenbau

Site-specific weed control by direct injection - an innovation for precision spraying in crop production

Jan-Philip Pohl^{1*}, Dirk Rautmann¹, Henning Nordmeyer², Dieter von Hörsten¹

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

²Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

*Korrespondierender Autor, jan-philip.pohl@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.055



Zusammenfassung

Oft werden in der Landwirtschaft Tankmischungen mit mehreren Pflanzenschutzmitteln (PSM) eingesetzt, wodurch eine teilflächenspezifische Applikation einzelner PSM unmöglich wird. Bei Direkteinspeisesystemen ist dagegen ein teilflächenspezifischer Einsatz möglich, da PSM und Wasser aus getrennten Behältern in Echtzeit dosiert und erst kurz vor der Anwendung vermischt werden, ohne Restmengen zu verursachen. Die technische Umsetzung in praxistaugliche Geräte, welche allen Anforderungen an Dosierung, Reaktionszeit und Reinigung/Restmengen gerecht werden, soll mit einem Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung erfüllt werden. Hierzu wurde ein Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung entwickelt und in Praxistests eingesetzt. Ziel der Versuche war die Zuverlässigkeit des Systems und die Auswirkungen der ortsspezifischen Applikation unter Feldbedingungen zu bewerten. Hierfür wurde das System intensiv geprüft, wobei die Optimierung der Handhabung und der Elektronik sowie die Erprobung im praktischen Betrieb eine hohe Bedeutung hatten. Die Ergebnisse zeigen, dass ein praxiserrechtes System zur verzögerungsfreien Direkteinspeisung realisiert werden kann und eine teilflächenspezifische Anwendung verschiedener Pflanzenschutzmittel möglich ist.

Stichwörter: Direkteinspeisungssystem, Herbizideinsparung, teilflächenspezifische Applikation, Unkraut, Unkrautbekämpfung

Abstract

In agriculture tank mixes with several pesticides are often used, where it is impossible to apply individual pesticides to specific areas. However, direct injection systems can be used for the specific use of individual pesticides on a sub-area basis, since they dose pesticides and water from separate containers in real time and mix them before application without causing residues. The technical conversion into practical equipment, which meets all requirements for dosage, reaction time and cleaning/residual quantities, is to be fulfilled with a fieldsprayer prototype with direct injection. In the practical tests a fieldsprayer with direct injection was developed and used. The aim of the project was to carry out an intensive examination of the direct injection under field conditions to assess the reliability of the system and the effects of the site-specific application. An important question in this context is the optimization of handling and electronics as well as the application in practical operation. The results show that a practical system for instantaneous direct injection could be implemented and that it is possible to use different crop protection agents for specific areas.

Keywords: Direct injection system, herbicide reduction, site-specific application, weed, weed control

Einleitung

Das System der Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) für Feldspritzgeräte ermöglicht im Ackerbau eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung des Pflanzenbestandes. Durch Teilflächenapplikation von PSM kann die Menge an PSM bei heterogenem Aufkommen von Schaderregern oder Unkräutern reduziert werden, wenn die Schadensschwelle in Teilflächen unterschritten wird und damit keine Applikation indiziert ist, ohne dass Ertragsdepressionen zu erwarten sind. Durch die gezielte Applikation kann PSM eingespart und die Wirtschaftlichkeit des Pflanzenbaus intensiviert werden ohne die Belastung der Umwelt zu erhöhen. Um Feldüberfahrten einzusparen, werden bisher üblicherweise Tankmischungen mit mehreren PSM eingesetzt, was eine teilflächenspezifische Anwendung einzelner Pflanzenschutzmittel unmöglich macht. Eine Lösung dieses Problems bietet das System der Direkteinspeisung auf Feldspritzgeräten. Die Vorteile der Direkteinspeisung sind, dass auch bei einer

teilflächenspezifischen Behandlung, mit vorher unbekannter Behandlungsfläche, keine Restmengen an Spritzflüssigkeit entstehen, da sich nur klares Wasser im Tank befindet bzw. die Spritzbrühe unmittelbar vor der Behandlung angemischt wird.

Bisher entwickelte Direkteinspeisesysteme konnten sich in der Praxis nicht durchsetzen, weil die Verzögerungszeiten zwischen der Einspeisung von Pflanzenschutzmitteln und der Ausbringung zu groß waren. Weitere Probleme betrafen die Dosiergenauigkeit in Abhängigkeit von den rheologischen Eigenschaften des Pflanzenschutzmittels (Elastizität, Viskosität, Plastizität) 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 eines BLE-Innovationsprojektes wurde ein Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung entwickelt und gebaut, welches sich aktuell im intensiven Praxiseinsatz befindet. Dabei soll unter anderem der kleinräumige Mittelwechsel getestet, die Anwenderfreundlichkeit des Systems und der Betrieb im praktischen Einsatz geprüft & verbessert werden.

Material und Methoden

Um die Applikationsgenauigkeit des Direkteinspeisungssystems zu überprüfen, wurden in einem Feldversuch auf einer mit Grünroggen bewachsenen Ackerfläche Spritzparzellen angelegt. Das Einmessen der Parzellen erfolgte mit Hilfe von RTK-GPS (Trimble Geo 7x mit Referenzsignal über Mobilfunk) auf 2 cm genau, so dass nach dem Vermessen eine georeferenzierte Applikationskarte erzeugt werden konnte. Anhand dieser Karte sollte der Prototyp der Feldspritze die komplette Fläche abfahren und die ausgewählten Parzellen mit zwei verschiedenen Aufwandmengen eines nichtselektiven Herbizides behandeln. Die Parzellen wurden so angelegt, dass mit unterschiedlichen Parzellengrößen ganz verschiedene Teilbreitenkombinationen und Längen abgerufen wurden. Hinzu kommen die Einsätze des Feldspritzgerätes auf zwei Praxisbetrieben, die weitere Erfahrungen einbringen.

Der Prototyp, ein Anhängerspritzgerät, hat eine Arbeitsbreite von 30 m und besteht aus einem Hauptbehälter, der in vier einzelne Behälter unterteilt ist. Zwei Behälter versorgen die Spritzsysteme (System I, System II). Weitere Behälter sind der Frischwasserbehälter mit 500 l und der Spülflüssigkeitsauffangbehälter mit 200 l Fassungsvermögen. Am Gestänge befinden sich zwei parallele Düsenleitungen. Jeder Düsenleitung ist eine Direkteinspeiseeinheit, bestehend aus PSM-Behälter und Dosierpumpe, sowie je eine eigene hydraulisch angetriebene Kolbenmembranpumpe zur Förderung der Trägerflüssigkeit, zugeordnet. In Spritzsystem I ist zusätzlich eine weitere Dosiereinheit mit kleinerem Vorratswechselbehälter verbaut. Diese wird dazu benötigt, einen möglichst großen Bereich von Ausbringmengen abzudecken. Hierzu sind eine kleine und zwei große Direkteinspeisepumpen am Gerät verbaut. Es ergeben sich zwei Systeme auf einem Fahrgestell, die voneinander unabhängig voll funktionstüchtig sind. Der Wasserbehälter von System I ist zusätzlich mit einem Rührwerk und Reinigungsdüsen ausgestattet, so dass hier zudem die Möglichkeit besteht, neben der Direkteinspeisung mit einer Tankmischung zu arbeiten. Das Gerät ist für diesen Zweck mit einer Einspülschleuse ausgerüstet. Somit können auch fest formulierte Pflanzenschutzmittel mit dem Gerät appliziert werden.

Die Versuchsfläche umfasste vier Fahrgassen mit jeweils einer Gerätearbeitsbreite von 30 m. In Abbildung 1 ist die Aufteilung der Versuchsfläche dargestellt. Alle dunkelgrau eingefärbten Parzellen sollten mit einem glyphosathaltigen Herbizid (Taifun Forte, 360 g/l) und mit einer Aufwandmenge von 2,0 l/ha behandelt werden. Die grau eingefärbten Parzellen werden mit einem glyphosathaltigen Herbizid (Taifun Forte, 360 g/l) und mit einer Aufwandmenge von 1,0 l/ha behandelt. Die hellgrau hinterlegten Parzellen bleiben unbehandelt. Die Ackerfläche wurde in drei verschiedene Applikationszonen aufgeteilt. Diese Flächen simulieren Teilflächen auf denen zum Beispiel die Schadschwelle nicht überschritten wird und eine Applikation somit nicht nötig

ist. Die Anordnung der Parzellen ist so gewählt, dass mit den beiden Systemen des Feldspritzgerätes möglichst unterschiedliche Schaltprozesse und Teilbreiten in verschiedensten Kombinationen überprüft werden können. Ein besonderes Augenmerk liegt auf den schmalen Parzellen, bei denen nur eine Teilbreite beziehungsweise wenige Düsen eingeschaltet sind, um zu zeigen, wie das Gerät mit geringen Dosiermengen (KREBS, 2015) arbeitet.

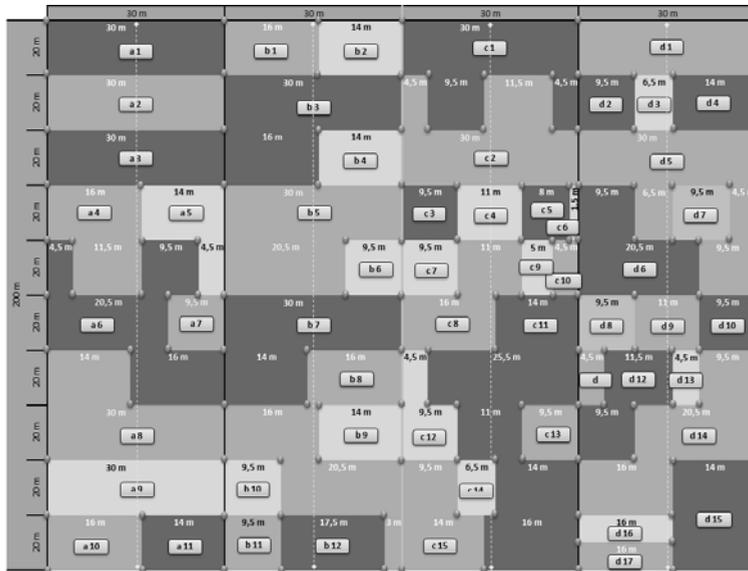


Abb. 1 Versuchsplan für teilflächenspezifische Applikation (dunkelgraue Flächen 2l/ha Aufwandmenge, graue Flächen 1l/ha Aufwandmenge, hellgraue Flächen unbehandelt). Die Parzellennummer (a1, a2,...) gibt mit dem Buchstabe die Fahrgasse an und ist dann durchnummeriert, um jede Parzelle eindeutig zu identifizieren. Die gestrichelten Linien zeigen die Fahrwege im Versuch.

Fig. 1 Experimental design for site-specific application (dark grey areas 2l/ha application rate, grey areas 1l/ha application rate, light grey areas untreated). The plot number (a1, a2,...) indicates the driving lane with the letter and is numbered consecutively in order to uniquely identify each plot. The dashed lines show the driveway in the fieldtest.

Der Versuchsplan (Abb. 1) wurde in eine Applikationskarte übertragen, so dass das Feldspritzgerät danach die Versuchsfläche behandeln kann. Ziel des Versuches war es, Unterschiede bei der Dosierung sichtbar zu machen. Desweiteren sollten die Parzellen mit dem Feldspritzgerät randscharf appliziert werden. Das eingesetzte nicht-selektive Herbizid dient zum Sichtbarmachen der drei Zonen. Dazu wurden Luftbilder der Versuchsfläche 11 Tage nach der Applikation erstellt und ausgewertet. Es erfolgten Befliegungen (NORDMEYER, 2006) mit einem Hexakopter und einer RGB-Kamera sowie einer Infrarotkamera in 50 m Flughöhe. Die entstandenen Einzelbilder ergeben ein RGB- und ein Spektralluftbild der Versuchsfläche, das auf 2 cm genau georeferenziert wurde. Der Versuch kann mit Hilfe dieser Orthofotos exakt analysiert werden, alle Parzellen konnten genau vermessen werden. Die Vermessung sowie das erzeugte Spektralbild lassen genaue Rückschlüsse auf die Funktion der Direkteinspeisung zu.

Ergebnisse

Die ersten Erfahrungen mit dem Feldspritzgeräteprototyp zeigen, dass praxistaugliche Systeme zur verzögerungsfreien Direkteinspeisung realisierbar sind. Die Parzellen waren in Fahrtrichtung entsprechend der vorgegebenen Arbeitsbreite präzise behandelt worden. In wenigen Parzellen konnte ein verzögerter Konzentrationsaufbau von der Gestängemitte nach außen beobachtet

werden (Abb. 2). Ungenauigkeiten bei der Durchflussmessung führten zu einer Über- bzw. Unterdosierung. Diese Fehlfunktion konnte mittlerweile behoben werden.

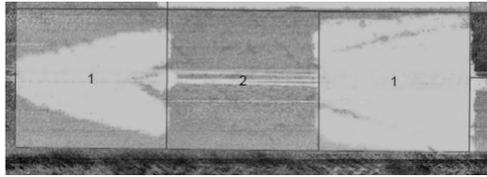


Abb. 2 Luftbildausschnitt der Versuchsfläche mit verzögertem Konzentrationsaufbau.

Fig. 2 Aerial image of the experimental area with delayed concentration build-up.

Wirkungsbonituren haben die parzellenscharfe Applikation nachgewiesen und die Dosiergenauigkeit der Direkteinspeisungssysteme bestätigt. Beim Ein- und Ausschalten am Anfang bzw. Ende der Parzellen zeigte sich, dass das Feldspritzengerät durch die Funktion des Gestängevorladens verzögerungsfrei arbeitet. In Abbildung 3 ist zu erkennen, wie exakt das Feldspritzengerät die vorher eingemessene Parzelle appliziert hat. Der Markierstab zeigt das Ende der Parzelle an.



Abb. 3 Versuchsparzelle mit Markierstab.

Fig. 3 Test plot with marking stick.

Die Abbildung 4 zeigt die behandelten Parzellen in einem Luftbild. 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 auf der Feldspritze eingesetzt wurde. Der Versuchsplan hat eine Abfolge verschiedenster Parzellen vorgesehen. Dies heißt im Detail, dass verschiedene Längen und Breiten der Parzellen auf die Gesamtarbeitsbreite der Feldspritze abgestimmt sind.



Abb. 4 Luftbildausschnitt der Versuchsfläche 11 Tage nach der Herbizidapplikation.

Fig. 4 Aerial image of the experimental area 11 days after herbicide application.

Die Wirkungsbonituren der Behandlung haben die Dosiergenauigkeit der Direkteinspeisungssysteme bestätigt. Gut zu erkennen ist dies am Spektralluftbild (Abb. 5). An der einheitlichen Grünfärbung wird deutlich, dass es zwischen den Parzellen oder innerhalb der Parzellen zu keiner Fehldosierung, also einer Abweichung von mehr als ± 5 Prozent gekommen ist. Dies führt zu dem Schluss, dass eine exakte Dosierung nach Vorgabe stattgefunden hat. Für das Spektralluftbild wurde der NDVI (normalisierter differenzierter Vegetationsindex) berechnet und somit konnte der Pflanzenzustand ermittelt werden. Je gesünder eine Pflanze ist, desto höher ist die Reflexion im nahen Infrarotbereich. Boden, Fels oder auch tote Pflanzen zeigen dagegen keinen deutlichen Unterschied des Reflexionsgrades beider Bereiche. Im erzeugten Spektralbild wurde zwischen Boden und totem Pflanzenmaterial unterschieden. Zudem lassen sie Rückschlüsse auf die photosynthetische Aktivität, Vitalität sowie die Dichte der Vegetationsdecke zu.

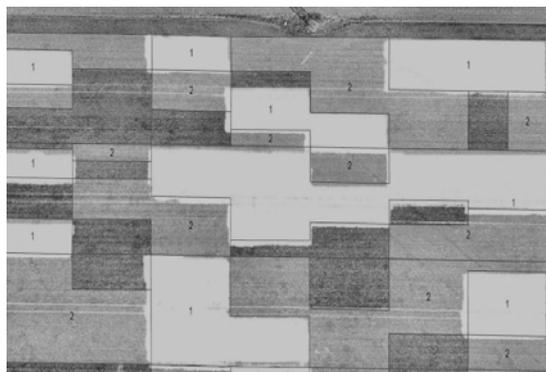


Abb. 5 Spektralluftbildausschnitt der Versuchsfläche 11 Tage nach der Herbizidapplikation.

Fig. 5 Spectral air image of the experimental area 11 days after herbicide application.

Diskussion

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Feldspritzgeräte-Prototyp mit Direkteinspeisung in der Lage ist innerhalb des Arbeitsbereiches der Dosierpumpen mit hoher Dosiergenauigkeit flüssig formulierte Pflanzenschutzmittel teilflächenspezifisch und ohne Verzögerungszeiten zu applizieren. Die Nachteile gegenüber anderer Systeme (KREBS, 2016) wurden gelöst. In der aktuellen Entwicklungs- und Testphasen haben die Applikationsversuche gezeigt, dass Bedienung und Anwenderfreundlichkeit des Prototyps weiter vereinfacht werden müssen (POHL et al., 2017). Die Wirkung der eingesetzten Herbizide war bei Einsatz der Direkteinspeisung sichergestellt. Die

gleichmäßige Pumpleistung der Dosierpumpen zeigt die exakte Funktion der Direkteinspeisung, was durch die Wirkungsergebnisse der Herbizide in den einzelnen Versuchspartellen belegt wird. Dank der gesammelten Praxiserfahrungen konnte das Feldspritzgerät wesentlich weiterentwickelt werden. Weitere Feldversuche auf Praxisflächen zur Demonstration der Praxistauglichkeit des Systems sind in der Durchführungsphase. Ziel der praxisnahen Versuche sowie des Praxiseinsatzes war es, die intensive Erprobung des Direkteinspeisungssystems, um die Funktionssicherheit des Systems und die Auswirkungen einer teilflächenspezifischen Behandlung zu bewerten und die Praxistauglichkeit zu belegen. Feldspritzgeräte mit Direkteinspeisungssystemen eröffnen neue Möglichkeiten bei der teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmitteln im Rahmen von Precision Farming zur Erreichung ökologischer und ökonomischer Ziele durch eine kleinräumige, differenzierte und gezielte Applikation.

Precision Farming im Pflanzenschutz, welches eine teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln voraussetzt, ist ohne die Direkteinspeisung nicht umzusetzen. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Feldspritzgeräte-Prototyp mit Direkteinspeisung in der Lage ist, innerhalb des Arbeitsbereiches der Dosierpumpen mit hoher Dosiergenauigkeit flüssig formulierte Herbizide per Direkteinspeisung teilflächenspezifisch und ohne Verzögerungszeiten zu applizieren. Im aktuellen Entwicklungsschritt wurden die Bedienung und Anwenderfreundlichkeit des Prototyps vereinfacht. Hierzu sind viele Informationen von den Praxisbetrieben gesammelt und umgesetzt worden, wie zum Beispiel die Reduktion der Anzahl von Bedienterminals.

Literatur

- KREBS, M., D. RAUTMANN und H. NORDMEYER, 2016: Situationsgerechte Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 232-240.
- KREBS, M., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER und J.-K. WEGENER, 2015: Entwicklung eines Direkteinspeisungssystems ohne Verzögerungszeiten zur Pflanzenschutzmittelapplikation. *Landtechnik* **70**(6), 238-253.
- NORDMEYER, H., 2006: Reduction program for chemical plant protection - Contribution of the area-specific weed control. *News sheet of the German Plant Protection Service* **58**, 317-322.
- NORDMEYER, H. und M. PFLANZ, 2016: Aus der Vogelperspektive betrachtet: Drohnen helfen bei der Unkrautbekämpfung. *Der Pflanzenarzt* **69**, 7-9.
- POHL, J., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER und D. VON HÖRSTEN, 2017: Site-specific application of plant protection products in Precision Farming by direct injection. *Advances in Animal Biosciences* **8**(2), 255-258.

Räumlich hochauflösende Unkrauterkenkung mittels Flugroboter und merkmalsextrahierender Bildverarbeitung

Drone based weed monitoring with an image feature classifier

Michael Pflanz^{1*}, Michael Schirrmann², Henning Nordmeyer¹

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig

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

*Korrespondierender Autor, michael.pflanz@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.056



Zusammenfassung

Für ein teilflächenspezifisches Unkrautmanagement sind Informationen über die Anzahl und die Verteilung verschiedener Unkrautarten auf einer Flächeneinheit erforderlich. Ist diese Voraussetzung erfüllt, kann die Applikation von Herbiziden hinsichtlich Aufwandmenge und Herbizidwahl an räumlich variable Unkrautsituationen landwirtschaftlicher Flächen angepasst werden. Neben einer online-Erfassung am Traktor oder Feldspritze werden künftig autonom fliegende Sensorplattformen eingesetzt, deren hochauflösende Luftbildaufnahmen Basis sind für die Generierung von artspezifischen Unkrautkarten. Damit würden ausreichend Informationen zur Verfügung stehen, um Aufwandmengen für Pflanzenschutzmittel bereits vor der Applikation exakt zu ermitteln und Restmengen zu reduzieren.

Für die Unkrauterkenkung selbst werden zunehmend Methoden des maschinellen Lernens adaptiert, die eine objektbasierte Klassifikation anhand eindeutiger Merkmale vieler Unkrautarten weiter voranbringt. Während spektral-optische Klassifikatoren bereits intensiv genutzt werden, um variable Nährstoff- und Wasserdefizite räumlich auflösen, hat die objektbasierte Klassifikation für eine artspezifische Unterscheidung von Leitunkräutern ihr volles Potential bisher noch nicht erreicht.

In der vorliegenden Studie wurde ein neuer Ansatz objekt-basierter Unkrauterkenkung getestet. Die Klassifikation unterschiedlicher Pflanzenarten erfolgte mit dem Bag-of-visual-Word (BoVW) Ansatz auf der Basis hochauflösender Luftbildaufnahmen von autonomen Luftfahrzeugen (UAV). BoVW ist ein objektbasierter Klassifizierer der bereits seit einiger Zeit in der landwirtschaftlichen Forschung diskutiert wird.

Die Ergebnisse zeigen, dass der BoVW-Ansatz eine artspezifische Unterscheidung zwischen *Matricaria recutita* L. und *Papaver rhoeas* L. mit guter Erkennungsleistung ermöglicht, wenn parallel eine objekt-basierte Klassifizierung der Kulturpflanzen (*Triticum aestivum* L.) und Boden erfolgt. Für die Erstellung praxisrelevanter Unkrautkarten als Basis für eine künftige teilflächenspezifische Herbizidapplikation müssen noch weitere Unkrautarten in den Klassifikator integriert werden. Hierzu erfolgen derzeit weitere Untersuchungen.

Stichwörter: Bilderkennung, Bildklassifikation, maschinelles Lernen, Präzisionslandwirtschaft, teilflächenspezifischer Pflanzenschutz, UAV, Unkrautarten, Unkrautverteilung

Abstract

Site specific weed management needs detailed weed information down to the species level. Then herbicides can be used more specifically according to weed occurrence and their spatial distribution. The accurate identification of weeds is one of the major prerequisites to generate weed maps. Next to predominant implementations of online monitoring approaches on agricultural machinery, unmanned aerial vehicles (UAV) platforms will be used in future to generate weed maps of different species by using high-resolution imagery. While colour-based indices are already applied for mapping nutritional deficits or water deficiency, they have failed to identify different weed species. In contrast, object-based image analysis looks much more promising to separate plant characteristics by means of form and morphology yet are much more complex.

This study proposes a new computer vision approach to discriminate weed species based on a bag-of-visual-word (BoVW) framework using high resolution aerial images. BoVW is an object-based image classifier that has recently gained interest in agricultural research. In our trials this technology has been applied in laboratory tests and field trials for automatic weed sampling with digital cameras.

The results showed that the BoVW model allows the discrimination between *Matricaria recutita* L., *Triticum aestivum* L., *Papaver rhoeas* L. and soil with good accuracy. For providing consistent weed maps in terms of precise herbicide applications in the future, the robustness of the classifier must be evaluated with more crops and weed species acknowledging the natural plant variability observed in the fields.

Keywords: Image classification, image recognition, machine learning, precision farming, site-specific weed control, UAV, weed distribution, weed species

Einleitung

Teilflächenspezifische Ertragsunterschiede können neben variierenden Bodeneigenschaften im Wesentlichen auf eine starke Konkurrenzwirkung von Unkräutern bezüglich Licht-, Wasser- und Nährstoffaufnahme zurückgeführt werden (MILBERG, 2004). Ertragsverluste und Unkrautdichte verhalten sich zwar annähernd proportional, werden aber im Rahmen des Schadschwellenkonzeptes nur ungenügend räumlich aufgelöst. Für eine teilflächenspezifische Anwendung von Herbiziden sind Schadschwellenwerte von großer Bedeutung (SAN MARTIN et al., 2016).

Für eine Optimierung der Aufwandmenge und die Auswahl von Herbiziden ist daher sowohl die Identifikation als auch die Lokalisierung verschiedener Unkrautarten erforderlich. Dazu gehören die Dichte und die räumliche Verteilung auf einer Fläche (HÄUSLER et al., 1999; CHRISTENSEN, 2003; NORDMEYER, 2006; LOPEZ-GRANADOS, 2011). Während manuelle und zufällige Stichproben oder Rasterbonituren sehr aufwendig und teuer sind (WILES und SCHWEIZER, 1999), kann der Einsatz autonom fliegender Sensorplattformen (UAV) dazu beitragen, Einzelpflanzen mit Hilfe bildgebender Sensorik und photogrammetrischer Analyse zu erfassen (PFLANZ und NORDMEYER, 2014). Dabei konnte gezeigt werden, dass derzeit verfügbare UAV-Systeme in der Lage sind, in sehr geringer Flughöhe über dem Boden zu navigieren (PFLANZ und NORDMEYER, 2016), was es erlaubt den Detailgrad von Luftbildaufnahmen zu erhöhen, um somit die Identifikation verschiedener Unkrautarten zu ermöglichen. Unter der Voraussetzung hoher Bodenauflösungen wurden bereits Texturmodelle entwickelt, die mit wenigen eindeutigen Merkmalen für eine Reihe von Unkrautarten Gültigkeit haben (SOGAARD, 2005). In ähnlicher Weise separierte MANH et al. (2001) individuelle Unkräuter auf der Basis von parametrisierbarer Formvektoren einzelner Laubblätter.

Neuere Ansätze in der Bildanalyse berücksichtigen lokale invariante Formenmerkmale in hochauflösenden Bildaufnahmen, um Unkräuter, Kulturpflanzen und Boden voneinander zu unterscheiden. Im Bag-of-Word (BoVW) Framework werden diese Merkmale mit Hilfe von Clusterverfahren um eine große Anzahl ähnlich optischer Merkmale gruppiert, um so eine Datenbank eindeutiger Basismerkmale (Wörterbuch) zu erstellen. Über direkte Bezüge zum Wörterbuch können für Bildaufnahmen Signaturen erstellt werden, die sich leicht in maschinelle Lernverfahren integrieren lassen, um einen Klassifikator für Pflanzenarten zu erlernen. In der vorliegenden Studie wurde der BoVW Ansatz kombiniert mit einer Mustererkennung auf der Basis von Support Vector Machines, um zwei verschiedene Unkrautarten unter Feldbedingungen zu identifizieren und zu kartieren.

Material und Methoden

UAV-Befliegung und photometrische Aufnahmen

Für die Segmentierung verschiedener Unkrautsituationen wurde der BoVW Klassifizierer mit Luftbildaufnahmen unter realen Feldbedingungen von Echter Kamille (*Matricaria recutita* L., MATCH), Klatschmohn (*Papaver rhoeas* L., PAPRH) sowie von Winterweizen (*Triticum aestivum* L., TRZAX) und von Boden trainiert. Hierfür wurden Versuchsflächen des Julius Kühn-Instituts (Standort Sickte, 52°12'54.6"N 10°37'25.7"E) mit einem Multirotorsystem (Hexakopter, Hexa XL, HiSystems GmbH Moormerland, Deutschland) und modifizierter Flugsteuerung auf der Basis von Paparazzi (BRISSET et al., 2006; CiS GmbH, Rostock-Bentwisch, Deutschland) befliegen. Die photometrischen Aufnahmen erfolgten an insgesamt 52 Wegpunkten in einer Flughöhe von 5 m. Eingesetzt wurde eine modifizierte RGB Kompaktkamera (NEX 5N, Sony, Japan), die maximal 4912 x 3264 Bildpunkte auf einer Sensorfläche von 23,7 x 15,8 mm (APS-C Sensor) auflöst. Verwendet

wurde weiterhin ein Objektiv mit einer Festbrennweite von 60 mm (Sigma 2.8 DN, Sigma Corp., Japan), wodurch eine mittlere Bodenauflösung von 2,5 Pixel/mm erreicht wurde (Abb. 1).

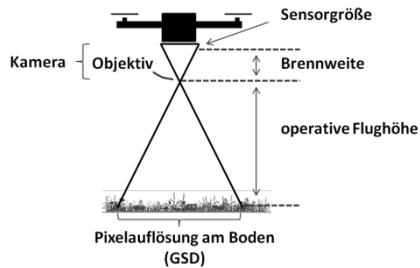


Abb.1 Aus der Brennweite von 60 mm und der geringen Flughöhe von 5 m ergibt sich eine Bodenauflösung von etwa 2,5 Pixel / mm.

Fig. 1 The focal length of 60 mm and the low altitude of 5 m results in a ground sample distance of 2.5 pixel / mm.

Bildanalyse

Die über dem Versuchsfeld aufgenommenen Luftbilder wurden später manuell am PC bonitiert. Hierzu wurde eine selbst entwickelte graphische Oberfläche (HerbCount GUI Ver. 0.2) entwickelt. Durch Auswahl und Setzen von Markierungen können in den Luftbildern Einzelpflanzen artspezifisch identifiziert und verortet werden. Eine Segmentierung 200 x 200 Pixel großer Ausschnitte erfolgt im Anschluss auf Basis der Position der Einzelpflanzen. Alle Einzelbilder ergeben den Basisdatensatz für das Training des BoVW-Klassifizierers (Abb. 2a). Insgesamt wurden auf diese Weise n=3968 für MATCH, n=548 für PAPRH, n=1401 für TRZRX und n=2469 Einzelbilder für Boden mit Hilfe der UAV-Befliegung innerhalb eines Tages aufgezeichnet.

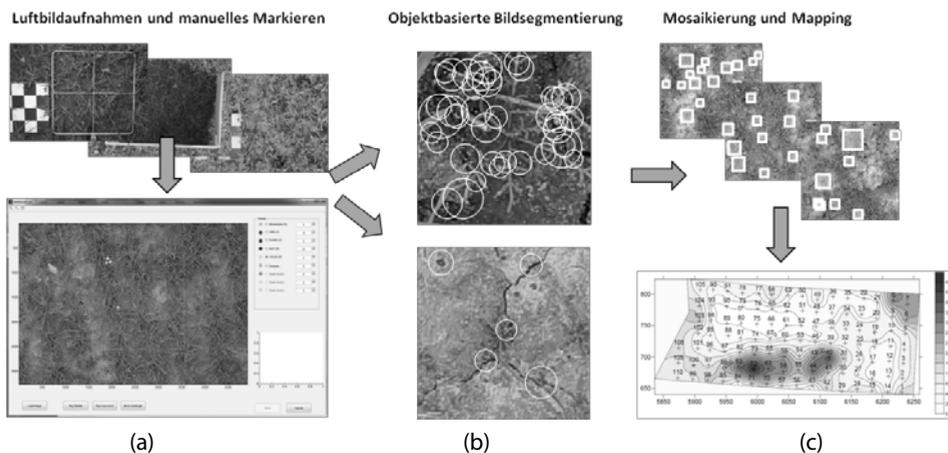


Abb. 2 Schematischer Ablauf der objekt-basierten Unkrauterkenntnis. (a) Verschiedene Verunkrautungssituationen, aufgenommen aus einer Flughöhe von 5 m und artspezifisch annotiert mit Hilfe eines grafischen Benutzerinterfaces zur manuellen Unkrautbonitur am PC (b) Aufbau einer Bilddatenbank auf Basis von Einzelpflanzen (am Beispiel von *Matricaria chamomilla* L.) (c) Erstellung von Unkrautverteilungs- bzw. Herbizidapplikationskarten nach Mosaikierung der analysierten Luftbildaufnahmen.

Fig. 2 Diagram of object based weed detection. (a) Different spatial weed distributions captured from an altitude of 5m above ground and counted by species on PC, (b) Object-based image segmentation and composition of an image database (*Matricaria chamomilla* L.), (c) Generated application map from analysed aerial photographs.

Für das Training des BoVW-Klassifizierers wurden anschließend lokale Bildmerkmale (image key points) aus den Luftbildaufnahmen mit Hilfe der Extraktoren SURF and MSER ermittelt (BAY et al., 2006; MATAS et al., 2004). Zuvor wurden die Ausgangsbilder durch Graustufen- (gray) bzw. vegetationsbetonte Konvertierungen (VEG) umgewandelt. Die Graustufenumwandlung erfolgte mit Hilfe des in Matlab implementierten `rgb2gray` Scriptes. Die vegetationsbetonte Graustufenumwandlung erfolgte mit einem angepassten Skript nach HAMUDA et al. (2016), welche im Wesentlichen die Relation zwischen grünem zu rotem und blauem Kanal berechnet. Das BoVW-Wörterbuch wurde auf Basis von k-means Clusterverfahren erstellt und schließlich trainiert mit Support Vektor Machines (SVM).

Die Präzision des BoVW-Modells wurde mit nicht trainierten Einzelbildern von Unkrautaufnahmen (der randomisierte Anteil von Testdaten am Gesamtdatensatz betrug 25 %) unterschiedlicher Pflanzendeckungsgrade evaluiert (Abb. 3). Hierfür wurde der Vegetationsindex I_G pixelbasiert mit der Formel $I_G = 2 * R - G - B$ nach Segmentierung der Farbbilder in seine Kanäle rot (R), grün (G) und blau (B) errechnet und das Bild anschließend binarisiert. Dieser Ansatz wird häufig genutzt, um die grüne Vegetation vom Hintergrund in Farbbildern zu trennen (WOEBECKE et al., 1995; SØGAARD and OLSEN, 2003). Alle Analysen wurden mit Hilfe von Matlab (Version 2016b, The Mathworks, USA) durchgeführt.

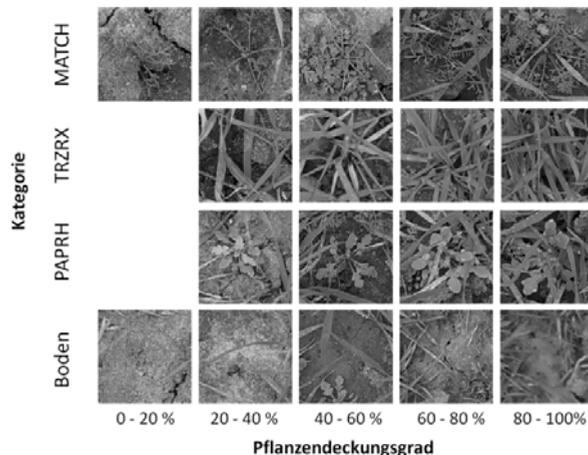


Abb. 3 Bilddatensatz (Auswahl) verschiedener Verunkrautungssituationen für die BoVW Klassifikation nach Bedeckungsgrad.

Fig. 3 Exemplary image subset of different plant coverage for BoVW category classification.

Ergebnisse und Diskussion

Die Erkennungsraten unterschiedlicher Trainingsdatensätze (Unkräuter, Kulturpflanze und Boden) wurden für verschiedene Merkmalsextraktoren und Graustufenkonvertierungen untersucht. Eine Übersicht der Ergebnisse zeigt Tabelle 1. Die höchste Erkennungsrate lag bei 97,03 % für Bildausschnitte, die das Trainingselement Boden bei geringem Pflanzendeckungsgrad enthalten. Die geringste Erkennungsrate von 16,07 % wurde bei MATCH für die Detektor/Graustufenkombination MSER-Gray errechnet. Hierbei zeigte sich eine deutliche Abhängigkeit zum Pflanzendeckungsgrad, denn die Rate stieg bis auf 65,35 % bei einem Pflanzendeckungsgrad von 80 %. Bei geringen Pflanzendeckungsgraden konnten bessere Ergebnisse erzielt werden, wenn für die Graustufenberechnung der Ausgangsbilder ein vegetationsbetonter Konvertierer benutzt wurde. Dagegen zeigte sich die einfache RGB2Gray Graustufenkonvertierung robuster gegenüber Ausgangsdatsätzen mit hohem Pflanzendeckungsgrad.

Insgesamt zeigten die errechneten BoVW-Modelle bezüglich ihrer Vorhersagegenauigkeit der Kategorien MATCH und PAPRH teilweise widersprüchliche Ergebnisse. Die höchste Erkennungsrate für MATCH lag bei 73,49 % bei einem Pflanzendeckungsgrad von 60 % für die Detektor/Graustufenkonvertierung SURF-veg. Eine ähnliche hohe Rate von 78,57 % wurde für PAPRH bei gleichem Pflanzendeckungsgrad für SURF-gray ermittelt. Die höchste Erkennungsrate für PAPRH lag bei 96,91% (100 % Pflanzendeckungsgrad, SURF-gray).

Tab. 1 Zusammenhang zwischen Erkennungsrate und Pflanzendeckungsgrad unterschiedlicher Trainingsdatensätze (Unkräuter, Kulturpflanze und Boden) auf Basis von Einzelpflanzenausschnitten aus Luftbildern. Gezeigt werden die Ergebnisse für verschiedene Merkmalsextraktoren und Graustufenkonvertierungen.

Tab. 1 *The accuracy of object detection (weeds, cultivated plants and soil) based on images separated from aerial images as a function of plant coverage shown for different detector and preprocessing combinations.*

Bedeckungsgrad (%)	20	40	60	80	100
MATCH	41,07	68,37	73,49	69,55	51,30
TRZR	-	58,97	76,92	76,73	72,56
PAPRH	-	25,00	53,57	62,15	66,02
Boden	97,03	85,77	75,30	72,54	47,06
SURF-Gray Genauigkeit (%)					
Bedeckungsgrad (%)	20	40	60	80	100
MATCH	23,21	49,18	56,67	61,39	48,86
TRZR	-	43,59	76,07	91,04	89,84
PAPRH	-	25,00	78,57	91,59	96,91
Boden	79,79	69,53	69,05	67,61	61,76
MSER-veg Genauigkeit (%)					
Bedeckungsgrad (%)	20	40	60	80	100
MATCH	37,50	55,51	64,21	61,82	38,64
TRZR	-	76,92	76,07	67,14	40,04
PAPRH	-	43,75	53,57	50,00	36,29
Boden	92,08	77,85	71,13	68,31	70,59
SURF-Gray Genauigkeit (%)					
Bedeckungsgrad (%)	20	40	60	80	100
MATCH	16,07	47,76	58,99	65,35	46,59
TRZR	-	28,21	67,52	85,69	87,80
PAPRH	-	25,00	55,36	79,91	91,12
Boden	79,29	69,26	71,43	78,17	70,59

Fazit

Zusammenfassend deuten die Ergebnisse der vorliegenden Studien darauf hin, dass eine Segmentierung mit Hilfe des vorgestellten BoVW-Ansatzes die Unterscheidung von Unkrautarten ermöglicht, wenn weitere Bildbestandteile (Boden, Kulturpflanze) in das Training der Modelle einbezogen werden. Um eine praxisrelevante Unkrauterkenntnis auf der Basis verschiedener Leitunkräuter nach dem Schadschwellenprinzip umzusetzen, muss der Ansatz mit Hilfe von weiteren Luftbilddatensätzen unter Feldbedingungen evaluiert werden, damit die natürliche Variabilität auf landwirtschaftlich genutzten Flächen besser abgebildet werden kann.

Danksagung

Wir danken den Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland des Julius-Kühn-Instituts in Braunschweig für Ihre tatkräftige Unterstützung bei den Versuchsdurchführungen. Besonderer Dank gilt hierbei Herrn Feistkorn und Herrn Littmann für die Befliegungen, sowie Frau Behme und Herrn Löhr für die manuelle Unkrautbonitur am PC.

Literatur

- BAY, H., A. ESS, T. TUYTELAARS und L. VAN GOOL, 2008: Speeded-Up Robust Features (SURF). *Comput. Vis. Image Underst.* **110**, 346–359.
- BRISSET, P., A. DROUIN, M. GORRAZ, P.-S. HUARD und J. TYLER, 2006: The paparazzi solution. In: *MAV 2006, 2nd US-European Competition and Workshop on Micro Air Vehicles*, pp. 1-15.
- CHRISTENSEN, S., T. HEISEL, A.M. WALTER und E. GRAGLIA, 2003: A decision algorithm for patch spraying. *Weed Research* **43**, 276–284.
- HÄUSLER, A. und H. NORDMEYER, 1999: Characterizing spatial and temporal dynamics of weed seedling populations. In: *Sheffield Academic Press*, 463–472.
- LOPEZ-GRANADOS, F., 2011: Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches. *Weed Research* **51**, 1–11.
- MANH, A.G., G. RABATEL, L. ASSEMAT und M.J. ALDON, 2001: Weed leaf image segmentation by deformable templates. *Journal of Agricultural Engineering Research* **80**, 139–146.
- MATAS, J., O. CHUM, M. URBAN und T. PAJDLA, 2004: Robust wide-baseline stereo from maximally stable extremal regions. *Image and Vision Computing* **22**, 761–767.
- MILBERG, P. und E. HALLGREN, 2004: Yield loss due to weeds in cereals and its large-scale variability in Sweden. *Field Crops Research* **86**, 199–209.
- NORDMEYER, H., 2006: Patchy weed distribution and site-specific weed control in winter cereals. *Precision Agriculture* **7**, 219–231.
- PFLANZ, M., D. FEISTKORN und H. NORDMEYER, 2014: Unkrautererkennung mit Hilfe unbemannter Luftfahrzeuge. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 396-403.
- PFLANZ, M. und H. NORDMEYER, 2016: Automatisierte Unkrautererkennung auf dem Acker – Möglichkeiten und Grenzen. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 241-248.
- SAN MARTÍN, C., D. ANDÚJAR, J. BARROSO, C. FERNÁNDEZ-QUINTANILLA und J. DORADO, 2016: Weed Decision Threshold as a Key Factor for Herbicide Reductions in Site-Specific Weed Management. *Weed Technology* **30**, 888–897.
- SØGAARD, H.T., 2005: Weed classification by active shape models. *Biosystems Engineering* **91**, 271–281.
- WILES, L.J. und E.E. SCHWEIZER, 1999: The cost of counting and identifying weed seeds and seedlings. *Weed Science* **47**, 667–673.
- SØGAARD, H.T. und H.J. OLSEN, 2003: Determination of crop rows by image analysis without segmentation. *Computers and Electronics in Agriculture* **38**, 141–158.
- WOEBBECKE, D.M., G.E. MEYER, K. VON BARGEN und D.A. MORTENSEN, 1995: Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE* **38**, 259–269.

Precision harrowing using a bispectral camera and a flexible tine harrow

Präzises Striegeln mit justierbarem Kamerastriegel

Gerassimos Peteinatos*, Fiona Gierer, Roland Gerhards

Institut für Phytomedizin (360), Fachgebiet Herbologie, Otto-Sander-Str. 5, 70599 Stuttgart, Germany *Corresponding author, g.peteinatos@uni-hohenheim.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.057



Abstract

In the given study an adjustable harrowing system is presented and tested. The automatic harrow can increase or decrease the harrowing intensity during operation. A gentle (20%), medium (40%) and aggressive (60%) harrow intensity was chosen. Prior to the application, measurements were performed in each plot concerning the weed density and composition. With this information, a Decision Support System based on fuzzy logic was used in order to trigger an appropriate tine angle movement. Thus, areas with high crop and weed densities were applied with more aggressive harrowing treatments and areas with lower weed densities with a gentler treatment.

A spring barley field was adopted to evaluate the suitability and effectiveness of the system at the University of Hohenheim, Germany. A harrow application was conducted at the maximum permitted harrow intensity (60%), as the farmer would have applied it on the field and an automatic adaptation, based on the results of the decision support system. A further herbicide treatment and an untreated control were also included. Weed counting was performed prior to and after the application, along with biomass cuts and yield in order to estimate the treatment efficacy. The automatic system performed well, providing similar results as the non-automatic harrowing, but with lower intensity levels. Dicotyledonous weeds were, in both mechanical applications, reduced as well as by the herbicide application, without any significant differences.

Keywords: Bi-spectral camera, harrow, mechanical weed control, precision farming

Zusammenfassung

In dieser Studie wird ein justierbarer Kamerastriegel vorgestellt und getestet. Während des Striegeln kann die Intensität automatisch an die ortsspezifische Verunkrautung angepasst werden. Hierbei wurden die drei Striegeleinstellungen leicht (20%), mittel (40%) und stark (60%) getestet. Vor der Überfahrt mit dem Kamerastriegel wurden in jedem Plot die Unkrautdichte und -zusammensetzung erhoben. Diese Informationen dienen einem Decision Support System, basierend auf Fuzzylogik, zur Anpassung des Einstellwinkels der Striegelzinken. Somit konnten Bereiche mit großer Unkraut- und Getreidedichte aggressiver gestriegelt werden als Bereiche mit geringer Biomasse.

Die Handhabung und Effektivität des Systems zur Unkrautregulierung wurde in Sommergerste auf einem Feld an der Universität Hohenheim getestet. Hierzu wurde in einer Variante die maximale Striegeleinstellung (60%), wie sie bei nicht automatisch justierbaren Maschinen angewandt wird getestet. Diese wurde verglichen mit der automatischen Striegeleinstellung, welche durch das Decision Support System vorgenommen wurde. Zusätzlich wurden eine unbehandelte Kontroll- und eine Herbizidvariante angelegt. Die Bonituren zur Erfassung der Verunkrautung und Biomasse erfolgten vor und nach der Behandlung, um die Wirksamkeit der verschiedenen Verfahren zu ermitteln. Das automatische System erwies sich als praxistauglich und lieferte vergleichbare Ergebnisse wie der fest voreingestellte Striegel, obwohl mit geringerer Intensität gestriegelt wurde. Zweikeimblättrige Unkräuter wurden mit dem automatischen Kamerastriegel ebenso gut behandelt, wie in der Herbizidvariante.

Stichwörter: Bi-Spektralkamera, mechanische Unkrautregulierung, Präzisionslandwirtschaft, Zinkenstriegel

Introduction

Chemical control has been the most common weed management method for the last decades (GERHARDS and CHRISTENSEN, 2003). Yet, this development has caused unintended, drawbacks such as weed resistance to herbicides and residues in the environment (STORRIE and WALTER, 1999; KROPFF and WALTER, 2000). In 2017 485 unique cases of herbicide resistant weeds have been reported globally, covering over 252 different species and 163 different herbicides (HEAP, 2017). Non-chemical weeding technologies, such as mechanical weed control, provide an option for controlling weeds without harming the environment, not only in organic but also in conventional

farming (RUEDA-AYALA et al., 2013). On the other hand, mechanical weed control cannot be weed-specific and even more, it usually provides a lower weed control efficacy with higher costs than chemical control. Therefore, there is an imperative need for mechanical weed control to evolve towards a site-specific weeding approach, in order to be able to compete with the current conventional herbicide applications. For example, using a flexible-tine harrow can be quite effective in controlling small broad-leaved weeds, but less effective concerning deep-rooted weeds and grasses (RASMUSSEN et al., 2008).

One way that weed harrowing can improve is by increasing its selectivity. That means that weed harrowing has to obtain a high degree of weed control without damaging the crop in a considerable manner (RASMUSSEN et al., 2008). The crop soil cover can be correlated with the soil conditions during the application but the cultivation intensity is also an indicator for crop damage (CIRUJEDA et al., 2003). The fact that weed populations in arable fields present a high spatial variability can be taken into account and utilized as an advantage for mechanical weed control (GERHARDS and CHRISTENSEN, 2003). Therefore, harrow intensity should be adapted accordingly: increased at high-density weed patches and decreased at locations with low weed infestation, or no weeds. More aggressive intensity levels can be obtained by changing the tine angle in relation to the field surface, increasing driving speeds or including more than one consecutive passes on the same day of cultivation (RASMUSSEN et al., 2008).

In the last 15 years, various attempts were made to achieve an automatic control of the harrowing intensity by using a tractor equipped with an adjustable spring-tine harrow (SØGAARD 1998; ENGELKE 2001). This system has been providing some encouraging results concerning weed harrowing (SØGAARD 1998; RUEDA-AYALA et al., 2013; RUEDA-AYALA et al., 2015). Discriminating between weed and crop plants is paramount for autonomous weed control. In order to perform selective weed control applications, it is important to differentiate between different weed species, especially between dicotyledonous and monocotyledonous. Different methods for weed identification have been proposed (e.g. offline maps, an ultrasonic sensor). Offline maps need manual sampling prior to the application, while a calibration on the current field status and crop/weed information is imperative for the ultrasonic sensor. A typical approach is the recognition of plant species based on their shape. Binary images deriving from a combination of near-infrared and red light have been used for plant identification and weed recognition (GERHARDS and CHRISTENSEN, 2003; SÖKEFELD, 2005; OEBEL, 2006; WEIS and GERHARDS, 2007)

In the current paper, we evaluated the use of a bispectral camera for sensor-based weed harrowing. In the proposed system the harrowing intensity is regulated based on the calculated weed density from the bispectral camera and a decision support system (DSS). This study aimed to test a harrowing system, which can gather information on weed variability by the bispectral camera, use this information to decide the treatment intensity needed and adjust the required treatment intensity. The specific objectives were i) to evaluate the feasibility of such a system, ii) to investigate the performance, and outcome of the system and finally to iii) to test the weed control effectiveness of the harrowing system in a field experiment.

Materials and Methods

Experimental setup

A spring barley (*Hordeum vulgare* L.) field was treated at the research station Ihinger Hof of the University of Hohenheim, Germany. Spring barley was sown in the end of April 2016, with a seeding rate of 350 seeds/ m² and a row distance of 15 cm. The experimental setup was a randomised complete block design. Three different weed management treatments were implemented, along with an untreated control (C). The utilized treatments were: a) sensor guided harrowing (S), b) plain harrowing with an intensity of 60% of the full harrowing potential (N) and c) a herbicide application (H). Using 60% of the full harrowing potential was chosen by an expert as the optimum harrowing intensity for the specific field conditions. This was also the highest

intensity used on the sensor guided treatment. For the herbicide treatment plots were sprayed with a herbicide mixture against both mono- and dicotyledonous weeds at an application rate of 200 L/ha (active ingredients: 60 g/ha *pinoxaden*, 15 g/ha *cloquintocet-mexyl*, 4.15 g/ha *metsulfuron-methyl*, 4.15 g/ha *tribenuron-methyl*, 5.25 g/ha *florasulam*, 75 g/ha *fluroxypyr*, 1.875 g/ha *florasulam* and 60 g/ha *clopyralid*). Each plot had a size of 6 x 25 m with an intermediate distance of 10 m between different blocks. Weed counting was performed prior to and after the application, along with biomass cuts and yield measurements in order to estimate the treatment efficacy.

System Description

A bispectral camera was used for the weed identification of the current field. The sensor is based on the principle that plant material absorbs light in the visible red spectrum (610-670nm) and reflects light in the near-infrared spectrum (770-1150nm), while soil, mulch, and stones reflect similarly in both regions. When taking images, a prism embedded in the camera divides incoming light into visual and near infrared, leading each spectral range into two different monochrome sensors. These images are automatically overlapped and a difference image is calculated, which was used for further analysis. From a collection of such images, a training set of geometric shape features and Fourier descriptors of the outer contour of plants was created. This consisted of barley and weed species commonly occurring in barley. Based on this training set a classifier was developed for automatic weed/crop classification. Three different harrowing intensities were selected, based on the in-field weed density (Tab. 1)

Concerning the harrow, a 6-m-wide flexible-tine harrow (Hatzenbichler Austrian Agrotechnik) was used. This implement was divided into four autonomous subunits, 1.5 m, each with six rows of tines with 8 tines each. For each subunit, all the tines were connected together and moved simultaneously by an actuator, which changed the tine angle for cultivating operations. The actuator was an electric cylinder which could expand (0% -100%) or compress (100% - 0%) in a total time of 7.5 s. The tine angle could change from 34 degrees (0% harrowing power) to 82 degrees (100% harrowing power).

Tab. 1 Classification of weed density in three harrow intensities for the performance of mechanical weed control with a flexible tine harrow. The 3 different intensities represent 20%, 40% and 60% of the maximum harrowing intensity, respectively.

Tab. 1 Klassifizierung der Unkrautdichte in drei Striegelintensitäten für die mechanische Unkrautkontrolle mit einem justierbaren Zinkenstriegel. Die 3 verschiedenen Einstellungen entsprechen jeweils 20 %, 40 % und 60 % der maximalen Striegelintensität.

Class	Grass density (plants m ⁻¹)	Broad leaved density (plants m ⁻²)	Harrowing intensity
1	0	0-25	light
2	1	26-50	strong
3	≥2	>50	strongest

Results

Concerning the weed composition, *Polygonum convolvulus* L. was the most dominant weed species, followed by *Galium aparine* L. and *Stellaria media* Vill. Additionally, *Cirsium arvense* L., *Veronica* ssp. and *Alopecurus myosuroides* Huds. were also observed.

Based on the weed count after the second and final harrowing all three weed treatments showed a significant reduction in the weed density compared to the control (164 weeds/m²)(Fig. 1). Sensor-based harrowing and nonsensor based harrowing showed similar weed densities with the herbicide treatments (45, 42, 17 weeds/m² respectively). Even though the herbicide-treated plots showed the lowest weed density, there was no statistical difference between the three treatments. Yet further experimentation is needed to establish this outcome.

Concerning the final yield, all treatments performed similarly (Fig. 2). The herbicide treated plots showed the highest yield compared to the mechanical treatments and the control. Both mechanical treatments led to a higher yield than the control. In all cases, there was no significant difference between all treatments based on a Tukey Honest Significant difference test at 5% confidence interval.

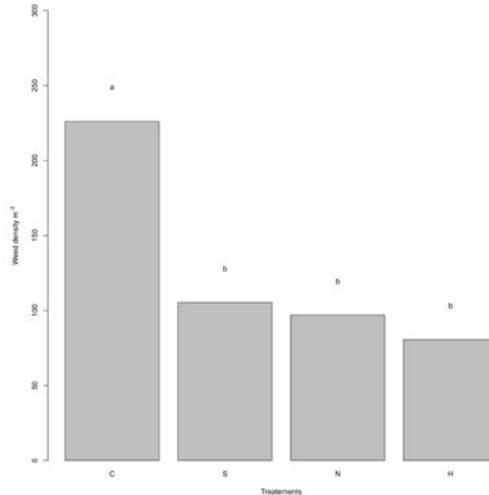


Fig. 1 Weed densities in spring barley one week after the final (second) harrowing treatment. Different letters indicate significant differences at $p \leq 0.05$ performed by a Tukey HSD test. C= control, H= herbicide plot, S= sensor guided plot, N= non-sensor/ plain intensity plot (60%).

Abb. 1 Unkrautdichte in Sommergerste eine Woche nach der zweiten Striegelüberfahrt. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede. Ermittelt mit einem Tukey HSD test ($p \leq 0,05$). C= Kontrollparzelle, H= Herbizidparzelle, S= Sensor gesteuerter Striegel, N= ohne Sensor, gleichbleibende Striegelintensität (60 %).

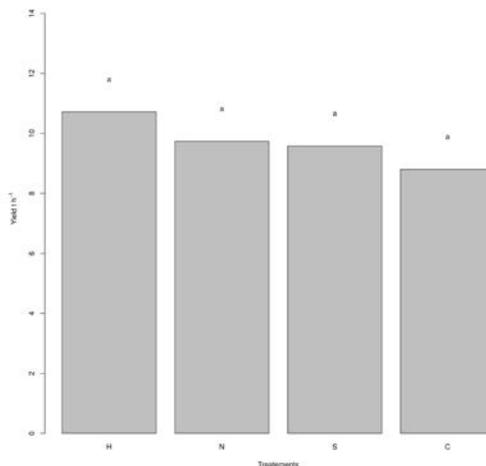


Fig. 2 Mean yield of the spring barley. There were no significant differences at $p \leq 0.05$ performed by a Tukey HSD test. C= control, H= herbicide plot, S= sensor guided plot, N= non-sensor/ plain intensity plot (60%).

Abb. 2 Mittlerer Kornertrag der Sommergerste. Keine signifikanten Unterschiede. Ermittelt mit einem Tukey HSD test ($p \leq 0,05$). C= Kontrollparzelle, H= Herbizidparzelle, S= Sensor gesteuerter Striegel, N= ohne Sensor, gleichbleibende Striegelintensität.

Discussion

Chemical weed control performed higher weed suppression and gathered a slightly higher yield than the mechanical counterpart. Nevertheless, the results showed no significant differences between both control types regarding weed densities, the determined biomass of crop or weeds and the yield. Hence mechanical control was as successful as the chemical one although the weed population remained slightly higher in the mechanical plots. Similar results were already recorded by RASMUSSEN and SVENNINGSON (1995) and by RUEDA-AYALA et al. (2011). The relatively low weed infestation and the absence of high densities of monocotyledonous weeds, like *A. myosuroides*, possibly hid the potential of different treatments or their expected disadvantages. Though weather conditions were rather unfavorable for harrowing, good results in weed reduction and yield were achieved. The good soil conditions in combination with sufficient nutrient provision and low weed infestations resulted in a vigor crop and high yield of the field. Another positive effect of mechanical weed control was produced at the second harrowing date. Because of heavy rainfall, the soil was very muddy and had formed a crust. The mechanical treatment loosened the soil surface. That way, aeration, evaporation, and mineralization can be improved and can have a positive effect on crop growth (DIERHAUER and HOLGER, 1994). Though weed seeds can get a light stimulus and might germinate, the crop had already been big enough to be competitive and could suppress new germinating weeds. The system performed well, providing similar results with the non-automatic harrowing, but with lower intensity levels. Though, further experimentation and more information are needed for the potential implementation of the sensor based harrowing.

References

- CIRUJEDA, A., B. MELANDER, K. RASMUSSEN and I.A. RASMUSSEN, 2003: Relationship between speed, soil movement into the cereal row and intra-row weed control efficacy by weed harrowing. *Weed Research* **43**, 285–296.
- DIERHAUER, H.U. and S.Z. HOLGER, 1994: Unkrautregulierung ohne Chemie. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- ENGELKE, B., 2000: Zur Regelung von Geräten in der ganzflächig mechanischen Unkrautbekämpfung. *Landtechnik–Agricultural Engineering* **55**, 146–147.
- 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.
- HEAP, I.M., 2017: International survey of Herbicide Resistant Weeds. Available online: <http://weedsociety.org/> (accessed on 3 November 2017).
- KROPFF, W., 2000: EWRS and the challenges for weed research at the start of a new millennium. *Weed Research* **40**, 7–10.
- OEBEL, H., 2006: Teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung durch raumbezogene Bildverarbeitung im Offline- und (Online-) Verfahren (TURBO). Dissertation. Available online: <http://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2006/150/> (accessed on Dec 20th 2016).
- RASMUSSEN, J., B. BIBBY and A. SCHOU, 2008: Investigating the selectivity of weed harrowing with new methods. *Weed Research* **48**, 523–532.
- RASMUSSEN, J. and T. SVENNINGSON, 1995: Selective weed harrowing in cereals. *Biological Agriculture & Horticulture* **12**, 29–46.
- RUEDA-AYALA, V., G. PETEINATOS, R. GERHARDS and D. ANDÚJAR, 2015: A Non-Chemical System for Online Weed Control. *Sensors* **15**, 7691–7707.
- RUEDA-AYALA, V., J. RASMUSSEN, R. GERHARDS and N.E. FOURNAISE, 2011: The influence of post-emergence weed harrowing on selectivity, crop recovery and crop yield in different growth stages of winter wheat. *Weed Research* **51**, 478–488.
- RUEDA-AYALA, V., M. WEIS, M. KELLER, D. ANDÚJAR and R. GERHARDS, 2013: Development and Testing of a Decision Making Based Method to Adjust Automatically the Harrowing Intensity. *Sensors* **13**, 6254–6271.
- STORRIE, A. and S. WALKER, 1999: Coping with the threat of herbicide resistance in weeds. In *Proceedings 2nd National Conservation Farming and Minimum Tillage Conference, Toowoomba, Australia*, pp. 71–74.
- SØGAARD, H.T., 2005: Weed classification by active shape models. *Biosystems engineering* **91**, 271–281.
- SÖKEFELD, M., 1997: Automatische Erkennung von Unkrautarten im Keimblattstadium mit digitaler Bildverarbeitung. Dissertation. Shaker Verlag, Aachen.
- WEIS, M. and R. GERHARDS, 2007: Feature extraction for the identification of weed species in digital images for the purpose of site-specific weed control. In: *Precision agriculture '07, Papers presented at the 6th European Conference on Precision Agriculture* (Ed J. V. Stafford), pp. 537–545, Wageningen Academic Publishers, Netherlands.

Does weed control by precision spray technology favour the emergence of resistance?

Begünstigt die teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung die Entwicklung von Resistenzen?

Otto Richter^{1*}, Roland Beffa², Dirk Langemann

¹Technische Universität Braunschweig, Institut für Geoökologie, Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig, Germany

²Bayer CropScience AG, Frankfurt am Main, Germany

³Technische Universität Braunschweig, Institut Computational Mathematics, Universitätsplatz 2, 38106 Braunschweig, Germany

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

DOI 10.5073/jka.2018.458.058



Abstract

Weed control by precision farming is recommended both by economic and ecological reasons. It is still unclear whether precision weed control favours the emergence of herbicide resistant biotypes. To investigate this, the cellular automaton model of Sandt et al. (2008) for the simulation of precision weed control was extended to resistant biotypes and their genetic interactions. The model is capable of simulating the emergence of resistant biotypes in dependence of weed control thresholds, application rates and initial distribution of biotypes. Examples are shown for the case of polygenic inheritance of resistance involving three loci and thus 27 biotypes. Preliminary simulation results hint that precision farming can delay the emergence of resistance at high weed control thresholds.

Keywords: Metabolic herbicide resistance, polygenic inheritance, population dynamics, population genetics, precision agriculture, weed control

Zusammenfassung

Teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung ist eine Methode für eine umweltschonende Landwirtschaft. Es ist jedoch unklar, wie diese Methode die Entwicklung von Herbizidresistenzen beeinflusst. Zur Untersuchung dieser Fragestellung wurde das von SANDT et al. (2008) für die Simulation der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung entwickelte Modell durch die Hinzunahme resistenter Biotypen und ihrer genetischen Interaktion erweitert. Das Modell ermöglicht die Simulation der Entwicklung resistenter Biotypen in Abhängigkeit von der Schadschwelle, Aufwandmengen, Fruchtfolgen und der Anfangsverteilung resistenter Biotypen in der Population. Es werden Beispiele gezeigt für eine polygene Vererbung von metabolischer Resistenz unter Beteiligung von 3 Loci und damit 27 Biotypen. Erste Simulationsergebnisse deuten darauf hin, dass teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung die Entwicklung resistenter Biotypen verzögern kann.

Stichwörter: Metabolische Herbizidresistenz, polygene Vererbung, Populationsdynamik, Populationsgenetik, teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung

Introduction

In the last decade herbicide resistance has become a major issue for many weeds (BECKIE, 2006; POWLES et al., 2010). In recent years the adoption of precision farming has been promoted as a means to reduce herbicide input. Currently, commercial equipment to perform the identification and spraying of weeds in real time appears on the market, e.g. WEEDit and WeedSeeker. Whereas the short term economic benefit of site-specific herbicide management seems to be obvious especially at high weed infestations, the influence of precision farming on the long term development of herbicide resistance is not quite clear. However, in recent years it has been shown that low dose application rate favour the emergence of polygenic resistance. There are quite a few examples such as the evolution of polygenic herbicide resistance in *Lolium rigidum* by low-dose herbicide selection (BUSI et al., 2013; YU et al., 2013). So the question arises whether precision farming might have the same effect on resistance development as low dose application. To this end a model was developed comprising population genetics and dynamics and dispersal in the frame of a cellular automaton.

Materials and Methods

The model

General structure

A cellular automaton model is set up (cf. Fig. 1). At each grid cell the model comprises a time discrete population dynamic model of the life cycle of an annual plant with the stages seed (S), seedling (K), young plant (J) and adult plant (R). Biotypes of different resistance factors are linked by a genetic submodel. The model allows for both target site and metabolic resistance. Polygenic inheritance is described by a new approach based on tensor products of heredity matrices (RICHTER et al., 2016).

Polygenic inheritance

Polygenic inheritance is described by a new approach based on tensor products of heredity matrices (LANGEMANN et al., 2012). Biotypes with indices i , are ordered lexicographically with respect to the alleles X_j and x_j occurring in the gene. Biotype densities c_i are combined in a vector $c=(c_1, \dots, c_n)^t$. Rather simple combinatorial investigations in the case of a single gene with $n=3$ biotypes show that the amount of off-springs is proportional to a quadratic form. Since the amount of off-springs is related to the rate of change of biotype i , we find c_i' proportional to $c^t W_i c$ with a matrix W_i , which is called heredity matrix and elementary heredity matrix in the particular case of one gene locus. These elementary heredity transmission matrices for the single genes X_i, X_j can be fixed as $W_i = V_i$ with

$$V_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 0 \\ 1/2 & 1/4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$V_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1/2 & 1 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \\ 1 & 1/2 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$V_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

and they can be written as the tensor products

$$V_1 = v_x \otimes v_x^t \quad (4)$$

$$V_2 = v_x \otimes v_x^t + v_x \otimes v_x^t \quad (5)$$

$$V_3 = v_x \otimes v_x^t \quad (6)$$

with

$$v_x = (1 \ 1/2 \ 0)^t$$

$$v_x = (0 \ 1/2 \ 1)^t$$

In the multi loci case transmission matrices W_i are obtained from the Kronecker product of the single transmission matrices

$$W_i = V_{i1} \otimes V_{i2} \otimes \dots \otimes V_{im} \tag{7}$$

with the number m of gene loci and with biotypes ordered again lexicographically with respect to multiple gene-loci. The reason for the tensor product lies in the fact that inheritance follows Mendel's law separately at every gene locus. The fraction of biotype " i " in the population after random mating is termed normed heredity function and is derived via the hereditary matrices as

$$g_i(c) = \frac{c^t W_i c}{c_{sum}^2} \tag{8}$$

Equation (8) gives the rates of off-springs of each biotype and thus, it is the basic for dynamic population genetic models.

Resistance factors

This general approach is taken from the paper of RENTON et al. (2011). A genotype with n_g loci is presented by the vector

$$G_i = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n_g}] \tag{9}$$

where $x_i \in [0,1,2]$. For $x_i = 0$ there is no resistant gene at locus i , for $x_i = 1$ there is one resistant gene at locus i and for $x_i = 2$ there are two resistant genes at locus i . Weights are allocated to the x_i in the following way

$$w(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{if } x_i = 0 \\ dom & \text{if } x_i = 1 \\ 1 & \text{if } x_i = 2 \end{cases} \tag{10}$$

where $dom \in [0,1]$. If the resistant gene is dominant, dom takes the value of one, if it is recessive it takes the value of 0. Intermediate values are also possible. We define the resistance factor r via the ED_{50} value (cf. Eq. 15), i.e. $ED_{50}(\text{resistant}) = r ED_{50}(\text{sensitive})$. It is related to the genotype via

$$r(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n_g}) = 1 + (R_{max} - 1) \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_g} w(x_i)}{n_g} \right)^{2^{epis}} \tag{11}$$

The parameter $epis$ is called the epistasis factor and is a measure for the synergy between different genes. This is a sensitive parameter, which determines the pattern of resistance in the biotypes as was shown in the paper of RENTON et al. (2011). Dose response curves are described by the log-logistic model

$$Su_i(d) = \frac{1}{1 + \exp[b(\log(d) - \log(e_i))]} \tag{12}$$

The parameter d denotes the dose, b determines the steepness of the curve and e_i is the ED_{50} value of biotype i , i.e. $Su(e_i)=0.5$.

Population dynamic and genetic model

The model is derived from the life cycle graph of an annual plant (cf. Fig. 10) with the stages seed (S), seedlings (K), young plants (K) and adult plants (R). The transitions between the stages are mediated by the probabilities of emergence, p_A , survival of seedlings, p_K , survival of young plants, p_J , survival of seeds in soil during summer, p_S and during winter, p_W . The seed bank is restocked by the number of seeds (A) produced per adult plant. For each biotype a model is set up differing with respect to the survival probabilities under herbicide treatment. The biotypes are linked by a genetic submodel. This conceptual model is transferred to the following time discrete equations. Note that the model comprises 2 density dependent processes: seedling survival (eq. 14) and seed production (eq. 16). This is important to ensure that the population is bounded. At the beginning of a cycle K seedlings germinate from the seed bank (eq. 12). The index i denotes the biotype

$$K_i = p_A S_i \quad (13)$$

The survival of the seedlings is density dependent. The number of seedlings which can develop to juvenile plants is limited by D_{max} .

$$J_i = \frac{D_{max} K_i}{K_i + L} \quad (14)$$

The development to mature plants depends on the survival probability $Su_i(d)$ under herbicide dose d , which is given by a dose response function with biotype specific parameters.

$$R_i = J_i Su_i(d) \quad (15)$$

Seed production (A) is determined by the density of adult plants R and by competition by the crop (F).

$$A_i = \frac{A_{max_i} R_{total}}{(1 + \varepsilon R + \varphi F)^\lambda} g_i(R) \quad (16)$$

where the portion of seeds of biotype, $g_i(R)$, is given by equation (8). Finally, at the beginning of the next cycle the seedbank (S) is updated taking into account the dormant seed of the previous period, the surviving seed produced by mature plants in the previous period and the gain or loss by immigration (I) from and migration (E) to adjacent plots. The indices t, i, s, w denote time, biotype, summer and winter respectively.

$$S_{(t+1)_i} = (S_{t_i}(1 - p_A) p_S + A_{t_i}) p_W + I_i - E_i \quad i = 1, \dots, m \quad (17)$$

Cellular automaton model

The local population dynamic model is embedded into a cellular automaton approach. The area under study has the size of 180x360 m and is partitioned into rectangular grid cells of size 1x1 m. For the simulation of precision spraying the field is portioned into subareas of size 25x36 m. According to the weed density in a subarea, spraying is turned on or off. On each cell, the population dynamic processes take place. Between cells, an exchange of seeds is mediated by a bivariate Gaussian distribution. The range of seed exchange is determined by this distribution and

in addition by the Moore radius. Layers of soil properties such as the pH-value or sand content influence basic parameters of the population dynamic model. Details are given in the paper of SANDT et al. (2008).

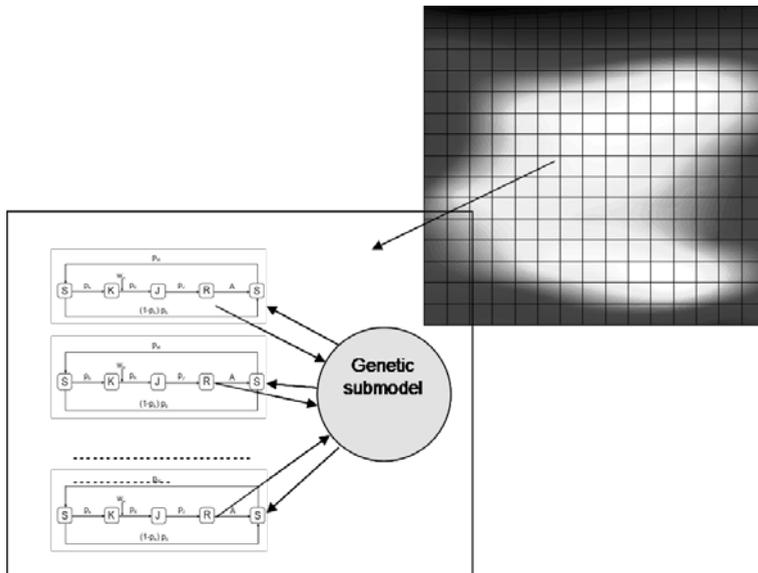


Fig. 1 Basic model structure: a population dynamic- and genetic model is embedded into a cellular automaton. The gray scale symbolizes soil properties such as pH value or sand content.

Abb. 1 Modellstruktur: ein populationsdynamisches -und genetisches Modell ist in einen zellulären Automaten eingebettet. Die graue Skala symbolisiert Bodeneigenschaften wie pH Werte oder Sandgehalte.

Model input

The dynamic behaviour of the model is determined by plant specific parameters such as D_{max} , A_{max} and resistance factors, environmental parameters such as soil properties, emergence probabilities of the seed (plant specific but dependent on climatic conditions), dispersion parameters such as the Moore radius and management parameters comprising application rates, weed density threshold for spraying, size of the subareas and crop rotation. In addition, the initial distribution of the seedbank in relation to biotypes is essential. General answers to the question posed in the headline therefore must be backed up by a large number of simulations with parameters out of a feasible parameter space. It should be kept in mind that the following results obtained by this model are only examples however interesting but cannot at this stage be generalized.

Results and discussion

The following examples refer to weeds exhibiting metabolic resistance which is assumed to be coded at three loci, giving rise to $n=27$ biotypes. Resistance factors were obtained as described above (eq. 11). Weed parameters were taken from the paper of SANDT et al. (2008). The cellular automaton generates spray maps based on the actual weed density in a subarea. Figure 2 shows an example.

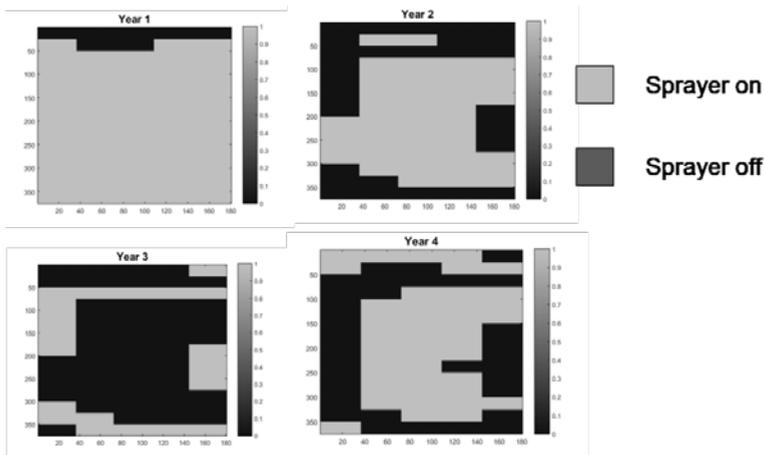


Fig. 2 Herbicide Spray maps generated by the model.

Abb. 2 Durch das Modell erzeugte Herbizid-Applikationskarten.

The next figure shows what might happen, if the management scheme favours the emergence of resistant biotypes. In this example, there was no crop rotation and weed density threshold was high and application rate low.

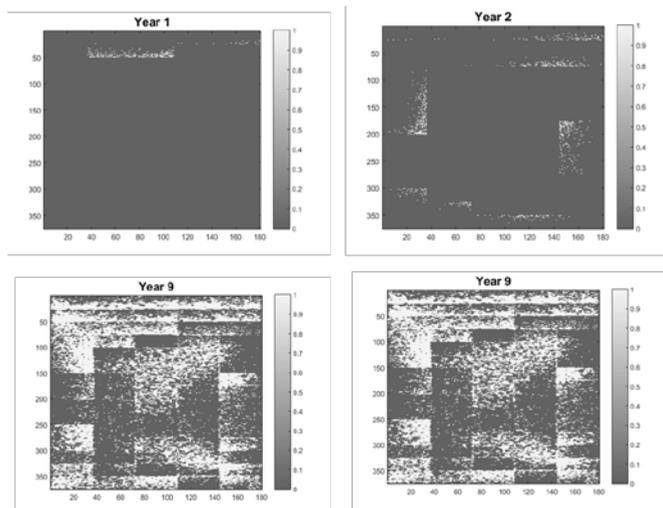


Fig. 3 Example for mismanagement. The number of plots with densities above threshold (in yellow) increases.

Abb. 3 Beispiel für missglücktes Management. Die Anzahl der Parzellen mit Unkrautdichten über dem Schwellenwert nimmt mit der Zeit zu.

Weed density thresholds in combination with application rates have an important influence of the emergence of resistant biotypes. Figure 4 shows the development in time of the seedbanks of biotypes 1,5,12 and 27 for a high (Fig. 4a) and for a low threshold (Fig. 4b). The biotypes presented are ordered with respect to their resistance factors. Biotype 1 has the lowest, biotype 27 the highest resistance factor. These simulations were run with 40% of the possible application rates. Low thresholds favour the emergence of resistant biotype 27. In the case of a low threshold (10 plants/m²) the development of resistance biotypes immediately sets in. At high threshold

(50 plants/m²) the development of resistant biotypes is suppressed albeit at a cost of a high seedbank of sensitive biotypes.

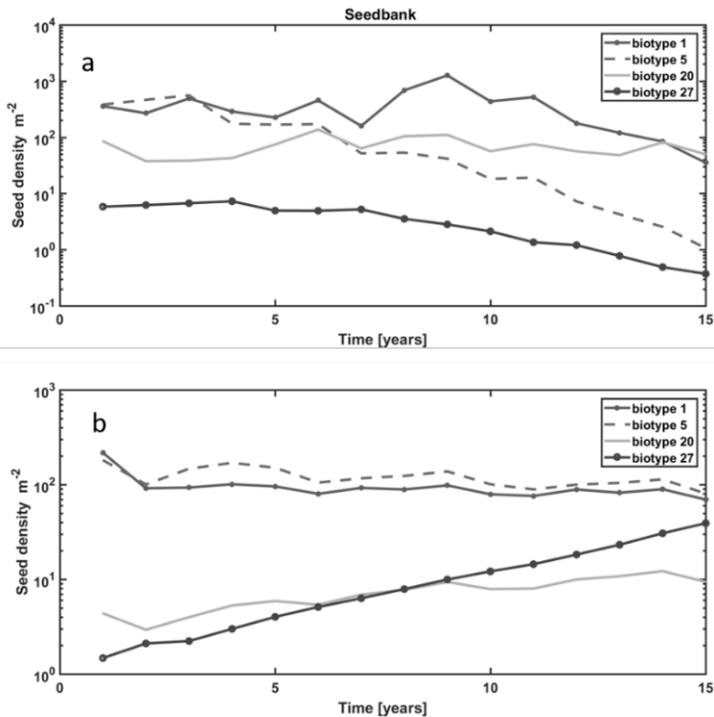


Fig. 4 Influence of weed control thresholds on the emergence of resistance. Fig 4a: 50 plant /m², Fig 4b: 15 plants/m². Biotype 1 has the lowest; biotype 27 has the highest resistance factor. Note that the plot is semilogarithmic.

Abb. 4 Einfluss der Bekämpfungsschwelle auf das Aufkommen resistenter Biotypen. Fig. 4a: Bekämpfungsschwelle 50 Pflanzen /m², Fig. 4b: 15 Pflanzen/m². Biotyp 1 hat den niedrigsten, Biotyp 27 den höchsten Resistenzfaktor. Man beachte die semilogarithmische Darstellung.

Figure 5 demonstrates the influence of the application rate on the dynamics of resistance. If the application rate is high (Fig. 5a), under high thresholds (here 50 plants/m²) no outbreaks of resistance occurs. Under low doses (here 40% of the maximum feasible dose) the seedbank of resistant biotypes is increasing from the beginning (Fig. 5b).

The simulation examples support (tentatively) the formulation of the following hypotheses:

- i) Weed control by precision spray technology favours the emergence of resistance at low application rates.
- ii) At high application rates even high control thresholds are tolerable.

These findings are only preliminary and have to be substantiated by exploration of the model behaviour in the feasible parameter space together with the exploration of a large body of field data.

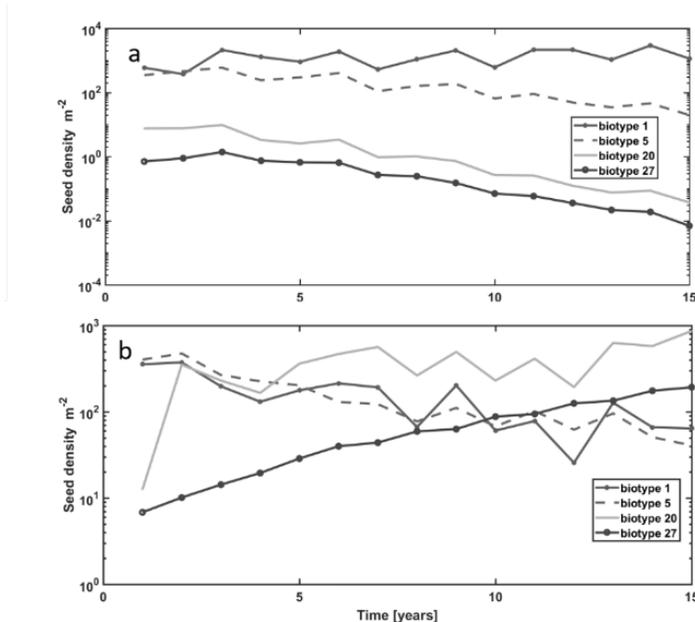


Fig. 5 Influence of application rates on the emergence of resistance. Fig 5a: threshold 50 plant /m²and maximum application rate, Fig 5b: threshold 50 plants/m² and 50% of maximum application rate. Biotype 1 has the lowest; biotype 27 has the highest resistance factor. Note that the plot is semilogarithmic.

Abb. 5 Einfluss der Aufwandmenge auf das Aufkommen resistenter Biotypen. Fig 5a: Bekämpfungsschwelle 50 Pflanze /m² und maximale Aufwandmenge. Fig 5b: Bekämpfungsschwelle 50 Pflanzen/m² und 40% der maximal möglichen Aufwandmenge. Biotyp 1 hat den niedrigsten, Biotyp 27 den höchsten Resistenzfaktor. Man beachte die semilogarithmische Darstellung.

References

- BECKIE, H. J., 2006: Herbicide-Resistant Weeds: Management Tactics and Practices. *Weed Technology* **20**, 793-814.
- BUSI, R., P. NEVE and S. POWLES, 2013: Evolved polygenic herbicide resistance in *Lolium rigidum* by low-dose herbicide selection within standing genetic variation. *Evol Appl* **6**(2), 231-242.
- LANGEMANN, D., O. RICHTER and A. VOLLRATH, 2012: Multi-gene-loci inheritance in resistance modling. *Mathematical Biosciences* **242**, 17-24.
- POWLES, S.B. and Q. YU, 2010: Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. *Annu. Rev. Plant Biol* **61**, 317-47.
- RENTON, M., A.A.DIGGLE, I.S. MANALI and S. POWLES, 2011: Does cutting herbicide threaten the sustainability of weed management in cropping systems? *Journal of Theoretical Biology* **283**, 14-27.
- RICHTER, O., D. LANGEMANN and R. BEFFA (2016): Genetics of metabolic resistance. *Mathematical Biosciences* **279**, 71-82.
- SANDT, N., O. RICHTER and H. NORDMEYER, 2008: Ein raum-zeitliches Modell zur Simulation der Populationsdynamik von Unkräutern in Hinblick auf ihre Anwendung für umweltschonender Bekämpfungsstrategien. *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Isssue XXI*, 203-208.
- YU, Q., H. HAN, G.R. CAWTHRAY, S.F. WANG and S.B. POWLES, 2013: Enhanced rates of herbicide metabolism in low herbicide-dose selected resistant *Lolium rigidum*. *Plant Cell Environ.* **36**(4), 818-827.

Sektion 8: Populationsdynamik

Session 8: Population dynamics

Bekämpfung und Entwicklung ausdauernder Rasenunkräuter

Control and development of perennial lawn weeds

Hans-Peter Söchting*, Peter Zwerger

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

*Korrespondierender Autor, hans-peter.soechting@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.059



Zusammenfassung

In einem Freilandversuch wurden die Bekämpfung und die Entwicklung ausdauernder Rasenunkräuter (ohne Rasengräser) modelhaft untersucht. Dazu wurden zehn Arten (*Achillea millefolium*, *Bellis perennis*, *Glechoma hederacea*, *Medicago lupulina*, *Ornithopus perpusillus*, *Plantago major*, *Prunella vulgaris*, *Ranunculus repens*, *Taraxacum officinale* und *Trifolium repens*) verwendet, deren Auswahl sich nach Stetigkeitsnennung in der Literatur und tatsächlichem Auftreten auf versuchsnahen Rasenflächen richtete.

Es wurden vier Herbizid-Varianten mit und ohne N-Düngung geprüft. Erfasst wurden neben der Überdauerung Wachstumsparameter wie Pflanzendurchmesser und -höhe sowie der Blühzeitpunkt.

In den mit Herbiziden behandelten Varianten konnten die meisten Unkrautarten gut bekämpft werden. Schwierig niederzuhalten waren *Glechoma hederacea*, *Taraxacum officinale* und *Prunella vulgaris*. In den Varianten ohne Herbizidbehandlung waren im Folgejahr nach der Pflanzung *Bellis perennis* und *Ornithopus perpusillus* nicht mehr vorhanden. Bei den anderen Arten traten kaum Pflanzenverluste auf. Obwohl die gewonnenen Versuchsergebnisse aufgrund der Versuchsanstellung nur bedingt auf die Praxis zu übertragen sind, ließen sich dennoch grundlegende Erkenntnisse zur Bekämpfung von ausdauernden Rasenunkräutern gewinnen.

Stichwörter: Herbizide, Lebenszyklus, N-Düngung, Rasen, Schnitt, Unkräuter

Abstract

In an outdoor experiment, the control and development of perennial lawn weeds were investigated. Ten species (*Achillea millefolium*, *Glechoma hederacea*, *Plantago major*, *Ranunculus repens*, *Medicago lupulina*, *Bellis perennis*, *Prunella vulgaris*, *Trifolium repens*, *Taraxacum officinale* and *Ornithopus perpusillus*) were cultivated, selected on the basis of continuous naming in the literature and actual occurrence on the lawns near the test site. In addition, all four variants were tested with and without N-fertilization. Apart from the persistence, growth parameters such as plant diameter and height as well as flowering time were recorded.

In the herbicide variants, most weed species were controlled well. One year after application there were only few remaining plants of the species *Glechoma hederacea*, *Taraxacum officinale* und *Prunella vulgaris*. In the variants without herbicide treatment *Bellis perennis* and *Ornithopus perpusillus* were no longer available in the following year after planting. The other species hardly show plant losses. Due to the experimental approach, the results can be transferred only partially to the practice, but basic knowledge could be achieved to control perennial lawn weeds.

Keywords: Cut, herbicides, lawn, life cycle, N-fertilization, weeds

Einleitung

Unkräuter auf Rasenflächen sind nicht erwünscht, da sie die Nutzung der Flächen, die in erster Linie Sport- und Freizeitaktivitäten dienen, beeinträchtigen können. Nach ZWERGER (2002) ist die Schädigung der Unkräuter vielfältig und wird durch die unterschiedlichen Wuchseigenschaften der Pflanzen bestimmt. Die Verbreitung der Unkrautarten auf Rasenflächen kann durch Samen oder vegetative Pflanzenteile erfolgen. Samenunkräuter können sich vor allem nach Narbenverletzungen ausbreiten, während sich ausdauernde Arten oftmals in Phasen ausbreiten, in denen die Konkurrenz der Gräser herabgesetzt ist wie zum Beispiel in Trockenzeiten. Denn

durch die tiefe Verwurzelung werden einige ausdauernden Unkrautarten im Gegensatz zu den Gräsern immer noch ausreichend mit Feuchtigkeit versorgt. Neben der Störung der Funktionalität sind es optische Erwägungen, aufgrund deren ein Entfernen der Unkräuter für notwendig erachtet wird. Um den Unkrautwuchs im Rasen zu kontrollieren, werden üblicherweise zunächst pflegerische und pflanzenbauliche Maßnahmen durchgeführt. So kann bereits ein regelmäßiger Rasenschnitt dazu beitragen, bestimmte Unkrautarten zu beseitigen und auch eine entsprechende Düngung kann helfen, manche Art zu unterdrücken. Aufgrund der Vielzahl der möglichen im Rasen vorkommenden Unkräuter bleibt aber oftmals nur ein Herbizideinsatz übrig, um die Unkräuter von der Rasenfläche zu beseitigen. In Deutschland waren am 01.08.2017 laut BVL-Datenbank 220 Herbizide zur Anwendung im Rasen zugelassen. Sieht man von Übertragungen, glyphosathaltigen und gegen Moos-Arten eingesetzten Herbiziden ab, bleiben neun Herbizide übrig, die gegen zweikeimblättrige Unkräuter im Rasen zugelassen waren. Alle diese Herbizide enthalten mindestens zwei Wirkstoffe, bei denen es sich mit Dicamba, MCPA, 2,4-D, Mecoprop-P, Clopyralid und Fluroxypyr um synthetische Auxine handelt. Lediglich der Wirkstoff Diflufenican aus der Gruppe der Carotin-Biosynthesehemmer ist noch in einem der Herbizide enthalten.

In einem normalen Rasenbestand ist es nahezu unmöglich, die Überdauerung und Entwicklung einzelner Unkrautpflanzen im Zeitverlauf nachzuvollziehen, da diese von der Grasnarbe eingeschlossen, oftmals kaum zu erkennen und nach einem Mähdurchgang fast unauffindbar sind. Zuweilen dominiert auch nicht eine Unkrautart ganzjährig eine Rasenfläche, sondern im Zeitverlauf wechseln die vorherrschenden Unkrautarten. Mitunter sind Unkrautpflanzen zwischen Rasenfilz und Unkrautdominanzbeständen zwar latent vorhanden, aber augenscheinlich verschwunden, um bei veränderten Ausgangsbedingungen (Niederschläge, Jahreszeit) wieder deutlicher in Erscheinung zu treten. Der Einfluss von Schnitt, Düngung und Herbizideinsatz auf die Verunkrautung ist somit auf einer normalen Rasenfläche nur schwer zu ermitteln, da man bestimmte Entwicklungen nicht unmittelbar einer durchgeführten Maßnahme zuordnen kann. Nach EPPO Standard PP 1/136 (Weeds in amenity grassland; EPPO 2009) soll die zweite Wirkungsbonitur nach einer Herbizidbehandlung 4-6 Wochen nach der Applikation durchgeführt werden. Da in dem Zeitraum von der Applikation bis zu dieser Bonitur aber in der Regel schon einige Mähdurchgänge durchgeführt worden sind, kann man nicht eindeutig zuordnen, ob ein Unkraut bekämpft worden ist oder nur abgeschnitten wurde und ein Wiederaustrieb bevorsteht. Eine weitere Bonitur (z. B. im Folgejahr) ist laut EPPO Standard lediglich vorgesehen, wenn in der Gebrauchsanleitung eine Langzeitkontrolle ausgelobt wird.

Aufgrund dieses Sachverhaltes wurden auf Basis einer modelhaften Versuchsanlage, in der die Unkräuter ohne Rasen etabliert wurden, entsprechende Faktoreinflüsse überprüft. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Überdauerung der Arten gelegt, da die Hypothese im Raum stand, dass einige der ausdauernden Arten auch ohne jegliches Zutun nach Durchleben der generativen Phase absterben würden.

Material und Methoden

Die Versuchsdurchführung erfolgte auf dem Gelände des JKI in Braunschweig. Vor Versuchsbeginn wurde die aus vier jeweils 12,6 m² großen Betonrahmenparzellen bestehende Fläche gedämpft, damit keine keimfähigen Unkrautsamen mehr im Boden vorhanden waren. Die vier Betonrahmenparzellen wurden alle einmal geteilt, so dass die Versuchsfläche in acht Abschnitte gegliedert war, die jeweils ein Versuchsglied bildeten. Vier Versuchsglieder wurden „ohne Düngung“ (A, B, C, D), die anderen vier „mit Düngung“ (A', B', C', D') geprüft. In Tabelle 2 werden die durchgeführten Maßnahmen beschrieben und in Abbildung 1 ist die Anordnung der Varianten skizziert.

Kriterien für die Auswahl der Rasenunkräuter im Versuch waren Stetigkeitsnennungen in der Literatur (BUNDESINSTITUT FÜR SPORTWISSENSCHAFTEN 1995; BOCKSCH 2011) und das Auftreten der Arten auf versuchsnahen Rasenflächen, um dort Pflanzen für die Anzucht zu erhalten. Die im Versuch

verwendeten Unkrautarten (Tab. 1) werden in der Literatur als ausdauernd beschrieben. Von den ausgewählten Arten sind *Medicago lupulina* und *Ornithopus perpusillus* in der Lage, ihren Entwicklungszyklus auch schon nach einem Jahr abzuschließen. Die übrigen Arten sollten grundsätzlich in der Lage sein mehrfach zu blühen und fruchten. Nach Anzucht der Versuchspflanzen aus Samen (*Plantago major*, *Medicago lupulina* und *Ornithopus perpusillus*) oder nach der Entnahme aus dem Freiland (*Achillea millefolium*, *Glechoma hederacea*, *Ranunculus repens*, *Bellis perennis*, *Prunella vulgaris*, *Trifolium repens* und *Taraxacum officinale*) wurden die Unkräuter bis zum endgültigen Auspflanzen in Multipaletten pikiert. Nach Bildung eines ausgeprägten Wurzelballens erfolgte die Pflanzung am 15.04.2015 in die Versuchsfläche. Für jedes Versuchsglied wurden alle zehn Arten in 6-facher Wiederholung im Abstand von 30 x 30 cm in eine Kleinparzelle (6,3 m²) ausgepflanzt (Abb. 2).

Tab. 1 Im Versuch verwendete Unkrautarten (Lebensdauer nach HANF, 1990).

Tab. 1 Weeds used in the experiment (livespan after HANF, 1990).

Art	Deutscher Name	EPPO-Code	Lebensdauer	
1	<i>Achillea millefolium</i>	Gemeine Schafgarbe	ACHMI	ausdauernd
2	<i>Bellis perennis</i>	Gänseblümchen	BELPE	ausdauernd
3	<i>Glechoma hederacea</i>	Gundermann	GLEHE	ausdauernd
4	<i>Medicago lupulina</i>	Hopfen-Luzerne	MEDLU	einjährig, zweijährig, ausdauernd
5	<i>Ornithopus perpusillus</i>	Kleiner Vogelfuß	OROPE	einjährig überwinternd, ausdauernd
6	<i>Plantago major</i>	Breitwegerich	PLAMA	ausdauernd
7	<i>Prunella vulgaris</i>	Gewöhnliche Braunelle	PRUVU	ausdauernd
8	<i>Ranunculus repens</i>	Kriechender Hahnenfuß	RANRE	ausdauernd
9	<i>Taraxacum officinale</i>	Löwenzahn	TAROF	ausdauernd
10	<i>Trifolium repens</i>	Weißklee	TRFRE	ausdauernd

Tab. 2 Versuchsvarianten.

Tab. 2 Treatments.

Variante A	Die Pflanzen dürfen sich ungehindert entwickeln, blühen und Samen ausbilden. Die Variante wird nicht gemäht.
Variante A´	Wie A zuzüglich 300 kg/ha Compo Rasendünger (15+5+8)+(3))
Variante B	Die Pflanzen werden regelmäßig 3-4 cm über dem Boden abgeschnitten und sollten möglichst nicht zur Blüte kommen.
Variante B´	Wie B zuzüglich 300 kg/ha Compo Rasendünger (15+5+8)+(3))
Variante C	Die Pflanzen werden mit dem Herbizid Dicotex [70 g/l 2,4-D + 70 g/l MCPA + 20 g/l Dicamba + 42 g/l Mecoprop-P mit 1ml/m ²] behandelt und werden, soweit sie die Behandlung überleben, ebenfalls regelmäßig 3-4 cm über dem Boden abgeschnitten.
Variante C´	Wie C zuzüglich 300 kg/ha Compo Rasendünger 15+5+8+(3))
Variante D	Bei Variante D´ ist der Dünger im Herbizid enthalten. Für die Variante D (also ohne Düngung), wurden die im UV Rasen Floranid enthaltenen Wirkstoffe 2,4-D und Dicamba in gleicher Wirkstoffmenge/m ² appliziert wie beim UV Rasen Floranid in Granulatform. Dazu wurden die korrespondierenden Mengen der Herbizide U46 D-Fluid und MaisBanvel in einer Tankmischung ausgebracht. Soweit die Pflanzen die Behandlung überleben werden sie ebenfalls regelmäßig 3-4 cm über dem Boden abgeschnitten.
Variante D´	Die Pflanzen werden mit dem Herbizid UV Rasen Floranid [7 g/kg 2,4D + 1 g/kg Dicamba mit 30 g/m ²] behandelt. Bei diesem Herbizid ist der Dünger im Herbizid enthalten (15+5+8+(3)). Soweit die Pflanzen die Behandlung überleben werden sie ebenfalls regelmäßig 3-4 cm über dem Boden abgeschnitten.

In den Düngervarianten wurden einen Tag vor der Herbizidapplikation am 13.05.2015 300 kg/ha Compo Rasendünger 15+5+8+(3) ausgebracht. Ausnahme war die Variante D´, da hier Dünger und Herbizid kombiniert waren. In dieser Variante erfolgten Düngung und Herbizidbehandlung in

einem Arbeitsgang am 14.05.2015. Bei einer Aufwandmenge von 30 g/m² Rasen Floranid UV wurden aber die gleichen Nährstoffmengen/ha ausgebracht wie in den Varianten A', B' und C'.

D' (mit Düngung)	D (ohne Düngung)	B' (mit Düngung)	B (ohne Düngung)
C (ohne Düngung)	C' (mit Düngung)	A (ohne Düngung)	A' (mit Düngung)

Abb. 1 Versuchsanordnung.

Fig. 1 Experimental design.

	← 150cm →														
		8		6		4		2		10		8		6	
	4		2		10		8		6		4		2		10
		7		5		3		1		9		7		5	
	3		1		9		7		5		3		1		9
140cm		6		4		2		10		8		6		4	
	2		10		8		6		4		2		10		8
		5		3		1		9		7		5		3	
	1		9		7		5		3		1		9		7
Reihe	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.

Abb. 2 Anordnung der ausgewählten Unkrautarten (1 - 10) innerhalb einer Variante.

Fig. 2 Plant design within a variant. Arrangement of the ten weeds species (1 - 10) in a special grid.

Die Varianten B, B', C, C', D und D' wurden 2015 insgesamt acht Mal geschnitten (04.05., 21.05., 09.06., 24.06., 03.07., 10.07., 19.08. und 22.10.). Im Jahr 2016 erfolgte keine Mahd mehr.

Insgesamt erfolgten 12 Boniturtermine (nicht dargestellt), an denen Entwicklungsstadium (BBCH), Durchmesser (cm) und Wuchshöhe (cm) der Pflanzen bestimmt wurden. Da die Voraussetzungen für ein statistisches Testverfahren bei der hier skizzierten Versuchsanlage nicht gegeben sind, erfolgt die Beschreibung der Daten lediglich tabellarisch anhand der Mittelwerte einer Variante.

Ergebnisse

Überdauerung

Wichtigster Zweck der Versuchsanstellung war es, das Überdauerungsverhalten der Unkrautarten in Abhängigkeit von den Versuchsfaktoren zu ermitteln. In Tabelle 3 ist prozentual die Anzahl der Pflanzen angegeben, die rund drei Monate (08.07.2015) und ein Jahr (28.04.2016) nach der Pflanzung noch vorhanden waren. In Variante A, in der die Pflanzen komplett ungestört aufwachsen konnten, waren nach einem Jahr sieben der zehn Arten noch in unveränderter Pflanzenzahl vorhanden. *Bellis perennis* war bereits zur Bonitur am 08.07.2015 und *Ornithopus perpusillus* am 28.04.2016 nicht mehr nachzuweisen. Bei *Prunella vulgaris* reduzierte sich die Pflanzenzahl im Laufe eines Jahres auf 50 % der Ausgangspflanzen.

Nach einem Schnitt (Variante B) waren kaum Abweichungen gegenüber Variante A festzustellen. Lediglich *Prunella vulgaris* wies tendenziell eine etwas höhere Überlebensfähigkeit (83 % statt 50 %) auf. Eine zusätzliche Düngung der Varianten (A' und B') veränderte das Überdauerungsverhalten der Arten nicht.

Großen Einfluss nahmen erwartungsgemäß die Herbizide, die in den Varianten C und C' (jeweils Dicotex 1 ml/m²), D (Tankmischung aus U46 D-Fluid und Mais Banvel) und D' (UV Rasen Floranid 30 g/m²) ausgebracht wurden. Die Wirkung des Herbizids Dicotex in Variante C und C' war bis auf leicht abweichende Werte bei *Taraxacum officinale* ein Jahr nach der Applikation gleich. Vollständig bekämpft wurden *Achillea millefolium*, *Bellis perennis*, *Medicago lupulina*, *Ornithopus perpusillus*, *Plantago major*, *Ranunculus repens* und *Trifolium repens*. Bei den Arten *Glechoma hederacea*, *Prunella vulgaris* und *Taraxacum officinale* überlebten einige Pflanzen. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass *Bellis perennis* und *Ornithopus perpusillus* auch ohne Herbizidbehandlung nicht mehr vorhanden gewesen waren (siehe Varianten A, A', B und B'). Die Wirkung der Tankmischung aus U46 D-Fluid und Mais Banvel in Variante D war vergleichbar mit der Wirkung in C und C'. In Variante D waren allerdings bereits zur Bonitur am 08.07.2015 alle *Glechoma hederacea*-Pflanzen verschwunden. Zu diesem Zeitpunkt waren in C noch 50 % und in C' sogar noch 83 % der Pflanzen dieser Art vorhanden. Die Variante D' muss gesondert betrachtet werden, da hier das Herbizid im Dünger enthalten war und somit in fester Form ausgebracht wurde. Die Wirkung war hier deutlich schlechter als in den Varianten C, C' und D.

Tab. 3 Verbliebene Pflanzen drei Monate nach der Pflanzung (08.07.2015) und zur Abschlussbontitur (28.04.2016) in % zur Ausgangspflanzendichte.

Tab. 3 Remaining plants three months after planting (08.07.2015) and on the final assessment (28.04.2016) in % of the plant density of beginning of the experiment.

Art	Datum	A	A'	B	B'	C	C'	D	D'
<i>Achillea millefolium</i>	08.07.15	100	100	100	100	0	0	0	100
	28.04.16	100	100	100	100	0	0	17	83
<i>Bellis perennis</i>	08.07.15	0	0	0	34	0	0	0	0
	28.04.16	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Glechoma hederacea</i>	08.07.15	100	83	100	100	50	83	0	83
	28.04.16	100	83	100	100	17	17	0	50
<i>Medicago lupulina</i>	08.07.15	100	100	100	100	0	0	0	17
	28.04.16	100	83	100	100	0	0	0	0
<i>Ornithopus perpusillus</i>	08.07.15	100	100	100	100	0	17	17	83
	28.04.16	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Plantago major</i>	08.07.15	100	100	100	100	0	0	0	34
	28.04.16	100	100	100	100	0	0	0	17
<i>Prunella vulgaris</i>	08.07.15	100	100	100	100	83	83	68	100
	28.04.16	50	50	83	83	34	34	17	17
<i>Ranunculus repens</i>	08.07.15	100	100	100	100	0	0	0	50
	28.04.16	100	100	100	100	0	0	0	50
<i>Taraxacum officinale</i>	08.07.15	100	100	100	100	0	17	0	100
	28.04.16	83	100	100	100	0	34	18	17
<i>Trifolium repens</i>	08.07.15	100	100	100	100	0	0	17	100
	28.04.16	100	100	100	100	0	0	0	50

Es muss wiederum berücksichtigt werden, dass *Bellis perennis* und *Ornithopus perpusillus* auch ohne Herbizidbehandlung nicht mehr vorhanden gewesen waren (siehe A, A', B und B'). Bei *Achillea millefolium*, *Glechoma hederacea*, *Ranunculus repens* und *Trifolium repens* waren die Pflanzenzahlen ein Jahr nach der Applikation maximal um 50 % reduziert und auch *Plantago major*, *Prunella vulgaris* und *Taraxacum officinale* konnten nicht vollständig bekämpft werden.

Wuchsverhalten

Die in Tabelle 1 beschriebenen Unkrautarten lassen sich aufgrund ihrer Wuchseigenschaften grob in zwei Gruppen einteilen (siehe max. mittlere Höhe in Tabelle 4 und max. mittlerer Durchmesser in Tabelle 5). Zum einen die rosettenbildenden Arten mit ausgeprägter Hauptwurzel (*Bellis perennis*, *Plantago major* und *Taraxacum officinale*), zu denen auch noch die halbrosettenbildende Art *Achillea millefolium* gezählt werden kann. Zum anderen die ausläuferbildenden

Rasenunkräuter *Glechoma hederacea*, *Medicago lupulina*, *Prunella vulgaris*, *Ornithopus perpusillus*, *Ranunculus repens* und *Trifolium repens*. Sieht man einmal von *Bellis perennis* mit 8 cm Höhe ab, so zeigten die übrigen Rosettenbildner *Achillea millefolium*, *Plantago major* und *Taraxacum officinale* einen höheren Wuchs als die ausläuferbildenden Arten (Tabelle 4 – Spalte A). Im Umkehrschluss erzielten *Ranunculus repens* und *Glechoma hederacea* als ausläufertreibende Arten die größten Durchmesser.

Die Düngung als Versuchsfaktor zeigte hier keinen Einfluss auf das Wuchsverhalten der Arten.

Dem BUNDESINSTITUT FÜR SPORTWISSENSCHAFT (1995) zufolge sind alle hier aufgeführten Arten als schnittresistent zu bezeichnen, was der Versuch durchweg bestätigt (Tab. 5). Das Wuchsverhalten der Arten auf den Schnitt war allerdings variabel. Sieht man von *Bellis perennis* ab, zeigte sich bei den übrigen drei Rosettenbildnern *Achillea millefolium*, *Plantago major* und *Taraxacum officinale* eine Reduktion der Wuchshöhe (Tab. 4). Die generell niedrigwachsenden, ausläufertreibenden Pflanzen *Glechoma hederacea*, *Medicago lupulina*, *Prunella vulgaris*, *Ornithopus perpusillus*, *Ranunculus repens* und *Trifolium repens* zeigten beim Höhenwachstum praktisch keine Reaktion auf einen Schnitt. Bei *Ranunculus repens* und *Ornithopus perpusillus* wurde durch die Mahd allerdings das Breitwachstum angeregt. Die anderen ausläuferbildenden Arten zeigten hier keine nennenswerte Reaktion. Bei dem Halbrosettenbildner *Achillea millefolium* wurde neben der Pflanzenhöhe auch der Pflanzendurchmesser reduziert.

Tab. 4 Maximale Höhe (cm) der untersuchten Unkrautpflanzen.

Tab. 4 Maximum height (cm) of tested weed plants.

Art	A	A'	B	B'	C	C'	D	D'
<i>Achillea millefolium</i>	49 28.10.	43 28.10.	25 23.06.	22 23.06.	6 26.05.	7 26.05.	6 26.05.	24 03.07.
<i>Bellis perennis</i>	8 26.05.	10 26.05.	8 03.06.	9 03.06.	6 12.05.	7 12.05.	6 12.05.	7 12.05.
<i>Glechoma hederacea</i>	14 03.06.	10 23.06.	10 12.05.	10 08.07.	8 12.05.	7 12.05.	10 12.05.	9 12.05.
<i>Medicago lupulina</i>	12 03.07.	12 28.10.	9 23.06.	10 23.06.	3 12.05.	3 12.05.	3 26.05.	5 26.05.
<i>Ornithopus perpusillus</i>	7 16.07.	7 16.07.	5 16.07.	8 16.07.	2 26.05.	3 26.05.	3 26.05.	4 03.07.
<i>Plantago major</i>	36 28.10.	37 28.10.	19 05.08.	19 05.08.	3 26.05.	3 26.05.	3 26.05.	5 23.06.
<i>Prunella vulgaris</i>	16 23.06.	15 23.06.	14 23.06.	13 23.06.	4 16.07.	4 11.06.	3 11.06.	8 03.07.
<i>Ranunculus repens</i>	10 16.07.	9 05.08.	7 16.07.	8 29.07.	5 12.05.	4 12.05.	6 12.05.	13 03.06.
<i>Taraxacum officinale</i>	23 29.07.	33 29.07.	13 23.06.	15 23.06.	6 12.05.	16 12.05.	11 12.05.	11 03.07.
<i>Trifolium repens</i>	14 23.06.	12 03.07.	12 23.06.	15 23.06.	3 12.05.	3 12.05.	3 26.05.	7 23.06.

Da alle Herbizidbehandlungen zumindest eine Teilwirkung erzielten, beeinflussten sie das Wuchsverhalten erwartungsgemäß deutlich, indem Durchmesser und Pflanzenhöhe reduziert waren. Bei den Werten in den Tabellen 3 bis 6 muss bei den Herbizidvarianten beachtet werden, dass die Datenbasis zur Ermittlung der Mittelwerte durch komplett abgestorbene und dann verschwundene Pflanzen reduziert war.

Tab. 5 Max. Durchmesser (cm) der untersuchten Unkrautpflanzen.**Tab. 5** Maximum diameter (cm) of tested weed plants.

Art	A	A'	B	B'	C	C'	D	D'
<i>Achillea millefolium</i>	61 16.07.	54 16.07.	42 28.10.	44 28.10.	17 12.05.	17 12.05.	15 12.05.	45 28.04.16
<i>Bellis perennis</i>	10 26.05.	12 26.05.	11 26.05.	13 11.06.	9 26.05.	10 26.05.	9 26.05.	10 26.05.
<i>Glechoma hederacea</i>	69 16.07.	56 03.06.	65 23.06.	76 16.07.	19 26.05.	26 23.06.	16 26.05.	28 26.05.
<i>Medicago lupulina</i>	50 23.06.	52 23.06.	47 03.07.	51 23.06.	10 26.05.	11 26.05.	7 26.05.	10 26.05.
<i>Ornithopus perpusillus</i>	61 03.07.	54 03.07.	72 08.07.	73 23.06.	9 12.05.	9 26.05.	10 12.05.	17 11.06.
<i>Plantago major</i>	40 16.07.	46 16.07.	40 16.07.	47 16.07.	14 03.06.	11 26.05.	13 26.05.	15 03.06.
<i>Prunella vulgaris</i>	42 23.06.	43 23.06.	39 23.06.	42 23.06.	15 23.06.	13 03.07.	11 11.06.	25 16.06.
<i>Ranunculus repens</i>	81 23.06.	74 23.06.	107 03.07.	110 03.07.	11 12.05.	11 12.05.	13 12.05.	30 16.07.
<i>Taraxacum officinale</i>	49 03.06.	46 03.06.	47 23.06.	50 23.06.	26 26.05.	25 28.10.	17 12.05.	29 26.05.
<i>Trifolium repens</i>	40 23.06.	42 23.06.	46 16.07.	49 16.07.	15 26.05.	15 26.05.	19 03.06.	21 03.06.

Blühverhalten

Vielfach lagern mehrjährige Pflanzen Nährstoffe über einen längeren Zeitraum ein und treten dann, wenn ausreichend Reservestoffe zur Verfügung stehen, in die generative Phase über und sterben danach ab. Auch bei der hier durchgeführten Untersuchung wurde im Vorfeld gemutmaßt, dass einige der geprüften Arten sich dementsprechend verhalten würden. Daher wurde der Blühbeginn (mindestens 1 Pflanze der Art blüht) und die Vollblüte (mind. 2/3 der Pflanzen einer Art blühen) ermittelt (Tab. 6).

Der oben geschilderte Sachverhalt, traf auf die beiden Arten *Bellis perennis* und *Ornithopus perpusillus* zu, die beide nach der Blüte bzw. vollzogener Samenbildung nicht mehr auf der Versuchsfläche zu finden waren. In der ungeschnittenen und unbehandelten Varianten A kamen noch *Achillea millefolium*, *Glechoma hederacea*, *Medicago lupulina*, *Plantago major*, *Prunella vulgaris* und *Trifolium repens* zur Blüte und Samenbildung. Bei diesen Arten waren aber bis auf *Prunella vulgaris* (50 % Reduktion) keine nennenswerten Pflanzenverluste auf der Fläche zu verzeichnen. Die übrigen Arten waren im Folgejahr vollständig ausgetrieben und hatten zudem noch ihre Samen auf der Fläche hinterlassen. Nur sporadisch blühende Pflanzen wurden bei *Ranunculus repens* ermittelt.

Tab. 6 Blühbeginn (a) und Vollblüte (b) der untersuchten Unkrautpflanzen.**Tab. 6** *Begin of flowering (a) and complete flowering (b) of tested weed plants.*

Art	Termin	A	A'	B	B'	C	C'	D	D'
<i>Achillea millefolium</i>	a	23.06.	23.06.	05.08.	05.08	k.B.	k.B.	k.B.	03.07.
	b	04.07.	04.07.	-	-	-	-	-	-
<i>Bellis perennis</i>	a	12.05.	12.05.	12.05.	12.05.	12.05.	12.05.	k.B.	12.05.
	b	03.06.	03.06.	03.06.	-	-	-	-	-
<i>Glechoma hederacea</i>	a	12.05.	12.05.	12.05.	12.05.	12.05.	12.05.	k.B.	k.B.-
	b	03.06.	-	-	-	-	-	-	-
<i>Medicago lupulina</i>	a	26.05.	03.06.	03.06.	03.06.	k.B.	k.B.	k.B.	23.06.
	b	03.06.	03.06.	03.06.	03.06.	-	-	-	-
<i>Ornithopus perpusillus</i>	a	11.06.	11.06.	11.06.	11.06.	k.B.	k.B.	k.B.	23.06.
	b	11.06.	11.06.	11.06.	11.06.	-	-	-	-
<i>Plantago major</i>	a	23.06.	23.06.	23.06.	23.06.	k.B.	k.B.	k.B.	04.08.
	b	04.07.	04.07.	04.07.	04.07.	-	-	-	-
<i>Prunella vulgaris</i>	a	11.06.	11.06.	11.06.	11.06.	23.06.	23.06.	23.06.	23.06.
	b	11.06.	11.06.	11.06.	11.06.	05.08.	03.07.	-	04.07.
<i>Ranunculus repens</i>	a	k.B.	03.06.	23.06.	k.B.	k.B.	k.B.	k.B.	23.06.
	b	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Taraxacum officinale</i>	a	12.05.	12.05.	12.05.	12.05.	12.05.	12.05.	12.05.	12.05.
	b	03.07.	23.06.	-	-	-	-	-	-
<i>Trifolium repens</i>	a	26.05.	26.05.	26.05.	26.05.	k.B.	k.B.	03.06.	26.05.
	b	03.06.	03.06.	03.06.	11.06.	-	-	-	04.07.

a = Blühbeginn: mindestens 1 Pflanze ist zur Blüte gekommen. Es ist zu beachten, dass Pflanzen die sich bereits vor der Herbizidapplikation am 13.05.2015 in der Blüte befanden, meistens nicht mehr zur Samenreife kamen, da die Pflanzen durch das Herbizid bekämpft wurden. Anders verhält es sich, wenn bei diesen Varianten unter b noch ein Termin angegeben ist. In diesem Fall kann man davon ausgehen, dass das Herbizid keine ausreichende Wirkung gegenüber der Unkrautart hatte.

b = mindesten 2/3 der ausgepflanzten Pflanzen blühen. Wenn unter b ein Termin eingetragen ist, zeigt dieses, dass diese Pflanzenart mehrheitlich zur Blüte kam und in der Regel auch Samen gebildet wurden. Es ist möglich, dass die Pflanzenart zu mehreren Terminen 2/3 oder mehr blühende Pflanzen aufwies. Angegeben ist hier immer der erste Termin an dem dieses der Fall war.

k.B. = Pflanzenart hat in dieser Variante keine Blüte gebildet.

- = abgesehen von Termin a keine blühende Pflanze mehr aufgetreten

Diskussion

In Variante A, in der weder gedüngt, geschnitten noch ein Herbizid eingesetzt wurde, waren bei den Arten *Achillea millefolium*, *Glechoma hederacea*, *Medicago lupulina*, *Plantago major*, *Ranunculus repens*, *Taraxacum officinalis* und *Trifolium repens* innerhalb eines Jahres keine oder nur einzelne Pflanzenausfälle zu verzeichnen. Der Lebenszyklus „ausdauernd“ war für diese Arten, wie in Tabelle 1 aufgeführt, zutreffend. Auch, dass die Art *Ornithopus perpusillus* nach einem Jahr nicht mehr vorhanden war, kann aufgrund des Lebenszyklus der Pflanze, der eben auch einjährig sein kann, erklärt werden. Überraschend war das schnelle und vollständige Verschwinden von *Bellis perennis*. Die Art war bereits zur Bonitur am 08.07.2015 in fast allen Varianten komplett verschwunden, obwohl sie als ausdauernd eingestuft wird. Eine Recherche in der Datenbank Bioflor am 04.10.2017 ergab, dass die Art dort als plurienn-pollakanth aufgeführt ist. Das bedeutet, die Pflanze blüht und fruchtet mehr als einmal in ihrem Leben, was in dem Versuch nicht bestätigt werden konnte. Auch andere Autoren wie WEYMAR (1957) und OBERDORFER (1983) beschreiben die Art als ausdauernd. Eventuell ist *Bellis perennis* weniger ausdauernd als angenommen. Hinsichtlich der Überdauerung zeigte noch *Prunella vulgaris* Besonderheiten. Hier verringerte sich der Pflanzenbestand innerhalb eines Jahres in den ungeschnittenen Varianten A und A' auf 50 % des Ausgangsbestandes, wohingegen in der Schnittvariante noch 83 % der Pflanzen vorhanden waren. Bei dieser Art könnte es sein, dass sich der Schnitt förderlich auf die Überdauerung ausgewirkt hat. Bei anderen Arten war ein solcher Zusammenhang nicht ersichtlich.

Nimmt man die Pflanzenhöhe und den Durchmesser als Kriterium für die Biomassebildung, waren als Folge des Schneidens bei den zehn Unkrautarten sowohl Biomasserückgänge als auch -zunahmen festzustellen. Eine besonders deutliche Zunahme zeigte sich bei *Ranunculus repens*. Diese Art wies in Variante B und B' einen erheblich größeren Durchmesser auf, als in den Varianten ohne Schnitt. Dass der Schnitt auf die übrigen Arten aber nur geringen Einfluss hatte, könnte damit zusammenhängen, dass die Arten *Bellis perennis*, *Glechoma hederacea*, *Medicago lupulina*, *Ornithopus perpusillus*, *Plantago major*, *Prunella vulgaris*, *Ranunculus repens* und *Trifolium repens* sehr niedrig wachsend waren und nur bedingt vom Schnitt in Mitleidenschaft gezogen wurden. Vermutlich aus diesem Grund kamen sie auch durchweg zu einer fast vollständigen Blüte, obwohl diese ja gerade durch das Schneiden verhindert werden sollte. Letztendlich sind sowohl die Unkräuter mit vegetativer Ausbreitung (z. B. *Glechoma hederacea*) in der Lage, unter häufigem Schnitt durch unter- und oberirdische Ausläufer zu überleben als auch Rosetten bildende Unkrautarten wie *Taraxacum officinale* oder *Plantago major*, deren Vegetationskegel unterhalb der Schnitthöhe liegt.

Hatte schon der Schnitt nur bedingt Auswirkungen auf das Wachstum und das Absterben der Pflanzen, so war durch die Düngung mit 300 kg/ha Compo Rasendünger so gut wie kein Einfluss auf das Unkrautwachstum auszumachen. Vermutlich war die Düngermenge mit 45 kg N/ha zu gering, um nennenswerte Effekte zu erzielen. Es ist allerdings möglich, dass auf einer Rasenfläche das Gräserwachstum damit angeregt und auf diese Weise die Entwicklung der Unkrautarten gehemmt werden könnte. Denn die Stickstoffdüngung fördert in der Regel das Wachstum und die Bestockung der Gräser und erhöht dadurch die Konkurrenzfähigkeit gegenüber den Unkräutern. In diesem modellhaften Versuch war dieser Zusammenhang nicht zu überprüfen. Für Variante D', bei der die herbiziden Wirkstoffe im Dünger enthalten waren, gilt dieser Sachverhalt natürlich nicht, da hier durch die Herbizidwirkstoffe entsprechende Effekte erzielt wurden.

Das Herbizid Dicotex, das vier herbizide Wirkstoffe enthält, die alle zu den synthetischen Auxinen gehören, konnte gegenüber den meisten Arten eine gute oder sogar sehr gute Wirkung erzielen. Schwächen waren gegenüber *Prunella vulgaris*, *Glechoma hederacea* und *Taraxacum officinale* festzustellen. Diese Arten werden auch in der Gebrauchsanleitung des Herbizids als „weniger gut zu bekämpfen“, eingestuft. Bei Variante D (Tankmischung aus zwei Wirkstoffen s. o.) war das Ergebnis ähnlich.

Sieht man von *Medicago lupulina* und den Arten ab, die sowieso auch ohne Herbizideinsatz im Jahresverlauf abgestorben waren, war die Wirkung bei Variante D' (Dünger mit Herbizid) deutlich schlechter und nicht immer ausreichend. Hier muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass in der Gebrauchsanleitung von UV Rasen-Floranid vermerkt ist, dass die Anwendung vorwiegend im Tau auf den Rasen zu erfolgen hat. Zwar erfolgte auch im Versuch die Anwendung am Morgen und bei noch taunassen Pflanzen, allerdings fehlte der im wahrsten Sinne des Wortes stützende Effekt des feuchten Rasens, der in der Lage gewesen wäre, das Granulat zu halten, so dass der gelöste Dünger mit den darin enthaltenen Herbizidwirkstoffen auch an die Unkräuter gelangt wäre. Im Versuch perlt die Granulatkörner von den Unkrautpflanzen ab und blieben am Boden liegen. Zwar fielen im Zeitraum von fünf Tagen nach der Behandlung rund 10 mm Niederschlag, so dass eine ausreichende Bodenfeuchte für eine Bodenwirkung der Herbizide vorhanden gewesen sein sollte, vermutlich ist jedoch die Taubenetzung wichtiger, die hier nicht gegeben war.

Als Fazit des Versuches lässt sich festhalten, dass die Herbizide die meisten Unkräuter gut bekämpfen konnten, der Schnitt und die Düngung hingegen kaum Einfluss auf die Überdauerung der Arten hatten. Eine Langzeitwirkung der Herbizide war mit Ausnahme der Arten, die generell schlecht bekämpft werden (z.B. *Prunella vulgaris*), gegeben. Aufgrund des enormen Neuaufbaus von Unkrautpflanzen musste der Versuch nach dem ersten Versuchsjahr abgebrochen werden. Die Ergebnisse sind ohne die Konkurrenz der nicht vorhandenen Rasengräser nur bedingt auf die Praxis übertragbar.

Danksagung

Für die aufwändigen Anzucht- und Boniturarbeiten möchten wir Susanne Dehyle und Karin Hauffe danken.

Literatur

- BUNDESINSTITUT FÜR SPORTWISSENSCHAFTEN, 1995: Grundsätze zur funktions- und umweltgerechten Pflege von Rasensportflächen. Teil III: Unerwünschte Pflanzenarten auf Rasensportflächen. Schriftenreihe Sportanlagen und Sportgeräte, sb67, Verl.-GmbH.
- BIOFLOR, 2017: http://www2.ufz.de/bioflor/overview/merkmal.jsp?ID_Merkmal=15#p
- BOCKSCH, M., 2011: Fachgerechte Herbizidanwendung im Rasen zur Entfernung unerwünschter Kräuter. Deutsche Rasengesellschaft-Rasen - Thema 06/2011.
- EPPO, 2009: Weeds in amenity grassland. European and Mediterranean Plant Protection Organization PP1 /136 (3).
- HANF, M., 1990: Ackerunkräuter Europas mit ihren Keimlingen und Samen. Verlagsunion Agrar.
- OBERDORFER, E., 1983: Pflanzensoziologische Exkursionsflora. Verlag Eugen Ulmer, S. 911.
- ZWARGER, P., 2002: Unkraut; Ökologie und Bekämpfung. VUA-Ulmer, S.318.
- WEYMAR, H., 1957: Buch der Korbblütler. Neumann Verlag, S. 40.

Pyrrrolizidinalkaloid-haltige Beikräuter in Arznei- und Gewürzpflanzenkulturen - Verbreitung und Gefahr der Kontamination von Ernteprodukten in Deutschland

Pyrrrolizidine alkaloid-containing weeds in medical and herb plant cultures - Distribution and danger of contamination in crop products in Germany

Jens Nitzsche*, Andreas Plescher, Susanne Wahl

Pharmaplant GmbH, Am Westbahnhof 4, 06556 Artern/Unstrut
*Korrespondierender Autor, nitzsche@pharmaplant.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.060



Zusammenfassung

Im Rahmen eines vom BMEL und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) geförderten Kooperationsvorhabens wurden in den Vegetationsperioden von 2015 bis 2017 die Beikrautfloren von sechs bedeutenden Kräuterarten erfasst. Kriterien für die Auswahl der Kulturpflanzen waren die Größe der Anbaufläche sowie die Häufigkeit von Pyrrrolizidinalkaloid (PA)-Kontaminationen in der Vergangenheit. Als Ergebnis zeigte sich, dass für die PA-Kontaminationen in Deutschland nur wenige Arten verantwortlich sind. Neun der 164 aufgetretenen Ackerkräuter sind als PA-Pflanzen bekannt. Im Vordergrund stehen die Gattungen *Senecio* und *Myosotis*, die zur Familie der Korbblütler- und Rauhbblattgewächse gehören. Wichtigstes Beikraut ist sowohl nach Stetigkeit als auch nach Gesamtgehalt an PA *Senecio vulgaris*.

Die Untersuchung der Schläge ergab, dass die Verteilung und die Dichte der betreffenden Arten wie zu erwarten stark von den Kulturbedingungen und den standörtlichen Gegebenheiten abhängen. So sind offener oder niedrigere Pflanzungen deutlich anfälliger als dicht geschlossene Kulturen.

Weitere Informationen zur Identifikation und Bekämpfung der PA-Pflanzen werden in einer Datenbank zusammengetragen, anonymisiert und Behörden, mitfinanzierenden Unternehmen und Verbänden zugänglich gemacht.

Stichwörter: Ackerbeikräuter, Arzneipflanzen, Datenbank, Gewürzpflanzen, Kontamination, Pyrrrolizidin-alkaloide, Unkräuter

Abstract

During the vegetation periods of 2015 to 2017 the weed flora of six important herb cultures were surveyed in context of a cooperation funded by the BMEL and the Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). The choice of the crop species was influenced by the size of the area of cultivation as well as the already known frequency and amount of contamination by pyrrrolizidine alkaloids (PA).

The result shows, that in Germany only a small number of species is responsible for the contamination. Nine of the 164 identified weed species are known PA plants. The quantitative main portion is shared by the genera *Senecio* and *Myosotis*, who belong to the *Asteraceae* and *Boraginaceae* family respectively. The most important weed is *Senecio vulgaris*, which takes the first position by means of frequency as well as total content of PA.

The survey of the fields shows, that the distribution and amount is highly dependent on the cultivation methods and the local conditions, as it would be suspected. More open or lower cultures are significantly more vulnerable than denser and closed crops.

The survey data as well as further information on weeds are meant to facilitate the identification and control of PA species. They are gathered, anonymised and made available to authorities, co-financing companies and organizations in form of a database.

Keywords: Contamination, database, herb plants, medical plants, pyrrrolizidine alkaloids, weeds

Einleitung

Im Rahmen des vom BMEL und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) geförderten Kooperationsvorhabens „Erfassung der standortabhängigen und kulturpflanzenspezifischen Beikrautflora in Arzneipflanzenbeständen unter besonderer Berücksichtigung Pyrrrolizidinalkaloid-(PA-) haltiger Unkräuter und Erstellung einer PA-Unkrautdatenbank“ (FNR-Förderkenzeichen 22007914) wurden in den Vegetationsperioden von 2015 bis 2017 die Beikrautfloren von sechs bedeutenden Kräuterarten (Kamille, Melisse, Pfefferminze, Petersilie, Salbei und Thymian) erfasst. Bei der Auswahl der Kulturpflanzenarten wurde vor allem die Größe der Anbaufläche in

Deutschland ebenso wie die Häufigkeit der bisher festgestellten PA-Kontaminationen berücksichtigt (PLESCHER, 2014; Tab. 1). Die Anbauflächen für die Untersuchung wurden sowohl von ökologischen und konventionellen Landwirtschaftsbetrieben nach deren Ermessen zur Verfügung gestellt. Neben der Identifizierung der typischen und allgemein im Kräuteraanbau vorkommenden Unkräuter lag der Fokus insbesondere auf den PA-haltigen Unkräutern.

Tab. 1 Die Gesamtanbaufläche der untersuchten Kulturpflanzen in Deutschland.

Tab. 1 *The total crop area of the surveyed crop species in Germany.*

Art	Anbaufläche in ha
Petersilie	1843
Kamille	1155
Pfefferminze	312
Thymian	174
Zitronenmelisse	113
Salbei	51

Pyrrrolizidinalkaloide (PA) sind sekundäre pflanzliche Inhaltsstoffe, welche zum Schutz vor Fraßfeinden von verschiedenen Pflanzenarten gebildet werden. Die Giftigkeit für Warmblüter beruht insbesondere auf deren Geno- und Hepatotoxizität sowie Kanzerogenität. In den Pflanzen können sehr hohe Gehalte, bis zu 3,0 g/kg Trockenmasse gebildet werden. Als „unbedenklich“ wird die tägliche Aufnahme von unter 0,35 µg pro Person und Tag (EMA / HMPC, 2014) bzw. 0,42 µg pro Person und Tag (COT, 2008) angenommen.

Das Risiko der Mitbeerntung PA-haltiger Beikräuter und damit der Eintrag der PA in die Lebensmittelkette ist aufgrund der besonderen Anbau- und Ernteverfahren bei krautartigen landwirtschaftlichen Erzeugnissen am höchsten. Der Arznei- und Gewürzkräuteraanbau steht vor der Herausforderung, die Verunkrautung durch PA-Beikräuter so gering wie möglich zu halten.

In der 2013 vom Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) durchgeführten und publizierten Studie zur PA-Belastung von Tees, einschließlich Arznei-, Kräuter- und Früchtetees (BfR, 2013), kommt das Institut unter anderem zu folgender Schlussfolgerung:

„Eine Ursachenforschung seitens der Wirtschaftsbeteiligten wird als dringend notwendig gehalten. Hierzu zählt u.a. die botanische Analyse des Pflanzenmaterials, dem das Vorkommen der in den Kräutertee- und Teeproben gefundenen PA zuzuordnen ist. Außerdem sollte geprüft werden, welche Erfolge bezüglich der Senkung der PA-Gehalte durch Verbesserung von Anbau-, Ernte- und Reinigungsmethoden erzielt werden können.“

Das vorgenannte Kooperationsvorhaben setzt diese Forderung mit den herbologischen Erhebungen und chemischen Analysen der aufgefundenen Unkräuter um. Alle Daten fließen in eine speziell entwickelte „PA-Unkrautdatenbank“ ein, die nach Anonymisierung allen mitfinanzierenden Unternehmen und Verbänden zur Verfügung steht. Ziel ist es, die Schwachstellen bei der Unkrautbekämpfung sowohl bei ökologischer wie auch konventioneller Bewirtschaftung zu benennen und eine Beziehung zwischen der partiellen Verunkrautung durch PA-Pflanzen und den in den Erntegütern ermittelten PA-Kontaminationen herzustellen.

Bisher wurden 164 verschiedene Unkrautarten auf ihre Bildung von Pyrrrolizidinalkaloiden geprüft. Es wurden 9 schon bekannte PA- haltige Unkräuter nachgewiesen. Den quantitativen Hauptanteil daran haben die Gattungen *Senecio* und *Myosotis*, die den Familien der Korbblütler- und Raubblattgewächse (*Asteraceae* und *Boraginaceae*) angehören. *Senecio vulgaris* hat die größte Bedeutung im heimischen Kräuteraanbau, aufgrund eines häufigen Auftretens als auch durch den hohen Gesamt- PA- Gehalt.

Material und Methoden

Folgende Kulturpflanzen wurden mit den entsprechenden Parametern angebaut (Tab. 2). Alle Arten werden außerdem in Reihen kultiviert.

Untersucht wurden alle Altersstufen des jeweiligen Anbaus, von erntereifen Neuanlagen bis zu Altbeständen vor dem Umbruch.

Tab. 2 Die untersuchten Kulturpflanzen und ihre Anbauparameter.

Tab. 2 *The surveyed crop species and their parameter of cultivation.*

Art	Form öko./konv.	Saat oder Pflanzung	Anzahl Ernten pro Jahr	Schnitthöhe, über Boden	Anbaudauer in Jahren
Pfefferminze	konv.	Pflanzung	2	5-10 cm	3
	öko.	Pflanzung	2	5-10 cm	3
Petersilie	konv.	Saat	bis zu 5	4-6 cm	1
	öko.	Saat	bis zu 5	4-6 cm	1
Zitronenmelisse	konv.	beides möglich	bis zu 4	10 cm	2-3
	öko.	beides möglich	bis zu 4	10 cm	2-3
Kamille	konv.	Saat	2-3	nur Blühhorizont, oberen 10-15 cm	1, Herbst- u. Sommerkamille
	öko.	Saat	2-3	Blüten werden ausgekämmt	1, Herbst- u. Sommerkamille
Thymian	konv.	Saat	2	10 cm	2-3
	öko.	Saat	2	10 cm	2-3
Salbei	konv.	beides	1-2	10-15 cm	3-4
	öko.	beides	1-2	10-15 cm	3-4

Die Erfassung der Unkräuter auf den Feldern fand möglichst kurz vor der Ernte statt. Die letzte Unkrautregulierung sollte abgeschlossen sein, so dass der erstellte „Unkrautspiegel“ soweit wie möglich der Erntesituation entspricht.

Das Ziel der Methode ist die Untersuchung einer bestimmten Anzahl an Stichprobenflächen in der jeweiligen Ackerfläche, die die Unkrautverteilung im Schlag widerspiegeln. Es werden zwei verschiedene Typen an Aufnahme­flächen genutzt, welche als Aufnahmepunkte A und B bezeichnet werden, die folgende Daten ermitteln sollen:

Typ A: Erfassung von PA- Unkräutern

Typ B: Erfassung der Gesamtverunkrautung

Die Menge der Aufnahmepunkte pro Fläche wird nach folgender Formel berechnet:

(n) Anzahl an Aufnahmepunkten

(ar) Fläche des Untersuchungs­schlags in Ar (1 ha = 100 ar)

Typ A: $n = \sqrt{ar} + 1$

Typ B: $n = \sqrt{ar} + 1$

Zur Bestimmung der Flächengröße des Aufnahmepunktes A wird eine Artenzahl- Areal- Kurve mittels einer ‚Einflächenmethode‘ erstellt. Aus dieser kann das „Minimumareal“, die Arealgröße, bei welcher sich der Artenzuwachs sichtbar verringert, abgelesen werden. Im Minimumareal sind demzufolge fast alle Arten anzutreffen, äußerst seltene Arten können mittels Wiederholungen erfasst werden (FREY und LÖSCH, 2004). Je homogener der Bestand ist, umso geringer ist das Minimumareal. Die ermittelte kulturart­spezifische Minimumarealgröße wird als Flächengröße an allen Aufnahmepunkten des Typ A verwendet und reicht von 36 m² bis 144 m². Für die Aufnahmepunkte des Typ B wurde eine Flächengröße von 1,0 m² festgelegt

Die Aufnahmepunkte werden gleichmäßig über das gesamte Feld verteilt. Über das Untersuchungsgebiet wird ein systematisches Raster gelegt und jeder Rasterpunkt beprobt.

Günstig ist die Verwendung einer Zickzack- Linie oder einer Doppel- W- Linie, welche über den Schlag gezogen wird. Alternierend werden die Aufnahmeflächen A und B entlang der Strecken in gleichmäßigen Abständen positioniert. Die Aufnahmepunkte werden fortlaufend gesetzt. Es gibt keine Unterscheidung in Kern- und Randbereiche.

Ziel der Untersuchungsmethode ist es eine Artenliste aller Beikräuter zu erheben, und damit die Artendiversität, sowie die Häufigkeit bzw. Frequenz aller Arten zu bestimmen. Ein besonderer Fokus liegt hierbei natürlich auf den PA-Unkräutern.

Ergebnisse

Kontaminationsquellen und -wege

Die wichtigste Quelle für Verunreinigungen mit Pyrrolizidinalkaloiden ist in Deutschland das Gewöhnliche Greis- oder Kreuzkraut (*Senecio vulgaris* L.). Es weist einen sehr hohen Gehalt an Pyrrolizidinalkaloiden auf und ist durch seine Anspruchslosigkeit und kurze Generationszeit weit verbreitet. Der Gehalt an PAs wurde durch eigene Analysen von entsprechendem Pflanzenmaterial ermittelt und deckt sich mit Angaben der COT (2008) und EMA / HMPC (2014). Andere Vertreter der Gattung, wie das Frühlings-Greiskraut (*S. vernalis* WALDST. et KIT.), das Klebrige (*S. viscosus* L.) und das Schmalblättrige Greiskraut (*S. inaequidens* DC.) sind vom Gehalt an Alkaloiden nach eigenen Analysen ähnlich giftig, aber weit weniger auf den untersuchten Ackerschlägen verbreitet. Der letzte, seltener gefundene Vertreter der Familie der *Asteraceae* (Korbblütengewächse) ist der Huflattich (*Tussilago farfara* L.). Er enthält vergleichsweise wenige Alkaloide und findet in besonders alkaloidarmen Sorten auch immer noch als Heilpflanze Verwendung.

Die Familie der Rauhblattgewächse (*Boraginaceae*) ist eine weitere Quelle für PA-Pflanzen und stellt mit dem Acker- (*Myosotis arvensis* (L.) HILL) und Sand-Vergissmeinnicht (*M. stricta* LINK ex ROEM. et SCHULT.) zwei weitere wichtige Vertreter. Die gefundenen Mitglieder der Familie weisen jedoch im Vergleich zu den Vertretern der *Asteraceae* recht geringe Mengen an Alkaloiden auf. Zwei weitere, deutlich seltener und z. T. geschützte Arten sind der Acker-Krummhals (*Lycopsis arvensis* L.) und der Acker-Steinsame (*Buglossoides arvensis* (L.) I. M. JOHNST.).

Der bedeutendste und vermutlich einzige Weg der Verunreinigung mit PA-haltigem Pflanzenmaterial stellt die Mitbeerntung der Beikräuter während der Ernte dar. Der Einflug von Material, wie vor allem durch die ebenfalls PA-haltigen Pappushaare der *Senecio* Arten, ist zwar möglich, allerdings würde das einen immensen Eintrag voraussetzen, wenn man die geringe Masse der Pappushaare bedenkt. Eine spätere Verunreinigung auf anderem Wege kann weitgehend ausgeschlossen werden, wenn nicht weitere, belastete Materialien beigemischt werden.

Allgemeine Hinweise zu den folgenden Tabellen:

In den Tabellen sind aus Platzgründen nur die jeweils für die Kultur häufigsten Beikräuter aufgeführt. Wenn PA-haltige Arten gefunden wurden, sind diese alle vermerkt.

Alle Angaben von Pflanzen pro Hektar wurden aus der Fläche der tatsächlich bonitierten Aufnahmeflächen auf einen Hektar zur besseren Vergleichbarkeit hochgerechnet.

Die Anzahl der Bonituren entspricht der Anzahl der untersuchten Schläge; dies beinhaltet auch Wiederholungsuntersuchungen des gleichen Schlags. Die Untersuchungen wurden möglichst nach der letzten Unkrautregulierungsmaßnahme vor der Ernte durchgeführt.

Nähere Angaben zu den einzelnen Schlägen für die Bonituren sind leider aus Gründen des Teilnehmerschutzes nicht möglich.

PA-haltige Beikräuter sind mit **fett geschriebenem Namen** hervorgehoben.

Ausdauernde Arten sind mit einem * gekennzeichnet.

Pfefferminze

Durch die Fähigkeit schon in relativer Jugend eine größere Anzahl von Ausläufern zu bilden, sorgt die Art für einen schnellen Reihenschluss. Beikräuter können sich durch den zumeist hohen und dichten Wuchs der Kulturpflanze kaum etablieren. Nur in Fehlstellen ist der Aufwuchs von Beikräutern möglich, wie z. B. in Randbereichen. In späteren Entwicklungsstadien der Kulturpflanze, wenn sich z. B. durch Wassermangel der Deckungsgrad der Kultur verringert, setzen sich wieder verstärkt Beikräuter durch.

Das Gewöhnliche Greiskraut (*Senecio vulgaris*) ist sowohl in konventioneller als auch ökologischer Bewirtschaftung das häufigste PA-Beikraut (Tab. 3 u. 4). Die anderen Arten treten deutlich seltener auf, mit Ausnahme des Acker-Steinsamens (*Buglossoides arvensis*) im ökologischen Anbau, was allerdings auf einen einzigen Boniturtermin zurückzuführen ist und daher wahrscheinlich das Ergebnis eines singulären Ereignisses ist. Das Vorkommen der Arten beschränkt sich meist auf offene Bereiche, die durch das Absterben von Kulturpflanzen geschaffen wurden, durch Überalterung oder Beschädigung in jüngeren Stadien. In dichten Beständen finden sich die Arten kaum, da ihnen die Konkurrenzfähigkeit fehlt, gegen die Kulturart zu bestehen. Gleiches gilt für die anderen, nicht PA-haltigen Beikräuter, wenn die Bestände nicht aufgelockert sind.

Tab. 3 Die in der Untersuchung häufigsten Beikräuter des konventionellen Pfefferminzanbaus - 29 Bonituren, 95 Beikrautarten.

Tab. 3 *The quantitatively most important weeds in conventional peppermint cultivation – 29 surveys, 95 weed species.*

Art	Positive Bonituren	Maximum Pflanzen / ha	Mittelwert Pflanzen / ha
<i>*Taraxacum officinale</i>	14	~9500	~1000
<i>Chenopodium album</i>	15	~5600	833
<i>Polygonum aviculare</i>	12	~52000	732
<i>*Cirsium arvense</i>	13	~6100	590
<i>Senecio vulgaris</i>	13	~8600	156
<i>*Tussilago farfara</i>	4	545	86
<i>*Senecio inaequidens</i>	1	319	-
<i>Myosotis arvensis</i>	4	17	2

Tab. 4 Die in der Untersuchung häufigsten Beikräuter des ökologischen Pfefferminzanbaus - 21 Bonituren, 89 Beikrautarten.

Tab. 4 *The quantitatively most important weeds in ecological peppermint cultivation – 21 surveys, 89 weed species.*

Art	Positive Bonituren	Maximum Pflanzen / ha	Mittelwert Pflanzen / ha
<i>Stellaria media</i>	20	~211000	~4200
<i>Chenopodium album</i>	20	~8500	~2100
<i>*Cirsium arvense</i>	20	~13000	~1800
<i>*Taraxacum officinale</i>	20	~5700	~1100
<i>Buglossoides arvensis</i>	1	~7000	-
<i>Senecio vulgaris</i>	8	~20000	~1000
<i>Polygonum aviculare</i>	21	~2900	857
<i>Myosotis stricta</i>	7	286	143

Die Analyse von 24 Erntegutproben ergab sechs positive Proben, für zwei konventionell und vier ökologisch bewirtschaftete Schläge. Die Verunreinigungen sind nach den Inhaltsstoffprofilen auf *Senecio*-Arten zurückzuführen und betragen in einer Probe bis 0,4 mg / kg Erntegut, liegen aber meist mit 0,1-0,01 mg / kg deutlich darunter.

Petersilie

In frühen Entwicklungsphasen ist die Art wegen ihres langsamen Jugendwachstums und den dadurch bedingten Zwischenräumen im Bestand anfälliger für den Aufwuchs von Unkräutern. Später kann durch die bodennah liegenden und ausgebreiteten Blätter die Kulturart eine recht hohe Konkurrenzskraft aufbauen, die das Auftreten von Beikräutern verringern oder unterbinden kann. Die schmalen Zwischenräume zwischen den Pflanzreihen werden zur Erntereife meist ganz ausgefüllt, so dass dort kaum unerwünschte Pflanzen auftreten. Der Ernteschnitt kann in Petersilie zu Fehlstellen führen, je nachdem wie tief der Schnitt durchgeführt wurde. Das wiederum erhöht das mögliche spätere Auftreten von Beikrautarten. Wegen des dichten und kompakten Wuchses der Kulturart sind Arten im Vorteil, die zunächst in die Höhe wachsen und danach größere Seitentriebe aufbauen.

Tab. 5 Die in der Untersuchung häufigsten Beikräuter des konventionellen Petersilienanbaus - 29 Bonituren, 97 Beikrautarten.

Tab. 5 *The quantitatively most important weeds in conventional parsley cultivation – 29 surveys, 97 weed species.*

Art	Positive Bonituren	Maximum Pflanzen / ha	Mittelwert Pflanzen / ha
<i>Fallopia convolvulus</i>	16	~16000	~1700
* <i>Taraxacum officinale</i>	14	~5400	~1600
<i>Chenopodium album</i>	21	~4100	~1500
<i>Solanum nigrum</i>	14	~2900	448
<i>Senecio vulgaris</i>	23	~8600	274

Im konventionellen Anbau ist das Gewöhnliche Greiskraut (*Senecio vulgaris*) die einzige vorkommende PA-Art (Tab. 5). Sie wächst zusammen mit den anderen Beikräutern in den freien Bereichen zwischen den Individuen oder dort wo Pflanzen ausgefallen sind. Unter günstigen Bedingungen kann sie die Petersilie überwachsen und große Individuen bilden, die allerdings vor allem zur Blüte und Fruchtreife auffällig sind und leicht entfernt werden können.

Tab. 6 Die in der Untersuchung häufigsten Beikräuter des ökologischen Petersilienanbaus - 11 Bonituren, 68 Beikrautarten.

Tab. 6 *The quantitatively most important weeds in ecological parsley cultivation – 11 surveys, 68 weed species.*

Art	Positive Bonituren	Maximum Pflanzen / ha	Mittelwert Pflanzen / ha
<i>Anagallis arvensis</i>	11	~4200	~2300
<i>Chenopodium album</i>	11	~8900	~1100
<i>Polygonum aviculare</i>	11	~2300	667
* <i>Taraxacum officinale</i>	11	~1700	660
<i>Fallopia convolvulus</i>	11	~1700	333
<i>Myosotis arvensis</i>	1	286	-
<i>Senecio vulgaris</i>	1	12	-
*<i>Tussilago farfara</i>	1	9	-

Der ökologische Anbau ist im Vergleich deutlich weniger belastet, was möglicherweise auf eine gründlichere mechanische Bereinigung zurückzuführen ist. Auch der geringere Bonitumfang kann dazu führen, dass stärker belastete Schläge in der Untersuchung unterrepräsentiert sind. Es treten drei unterschiedliche PA-haltige Arten auf, allerdings mit nur jeweils einer positiven Bonitur (Tab. 6). Die Individuenanzahl ist deutlich geringer und statt des Greiskrautes ist das Acker-Vergissmeinnicht (*Myosotis arvensis*) die häufigste Art, was durch die Standorte bedingt wird. Die Verteilung der Beikräuter und PA-Arten ist analog zu der konventionellen Anbaumethode.

Die Analyse von 19 Erntegutproben ergab sechs positive Proben, für vier konventionell und zwei ökologisch bewirtschaftete Schläge. Die Verunreinigungen sind nach den Inhaltsstoffprofilen auf

Senecio zurückzuführen und betragen in einer Probe bis 0,33 mg / kg Erntegut, liegen aber meist mit 0,05 mg / kg deutlich darunter.

Zitronenmelisse

Die Kulturart weist schon in relativer Jugend eine recht hohe Wüchsigkeit auf, was ihr einen schnellen Reihenschluss ermöglicht. Dadurch haben konkurrierende Beikräuter geringere Chancen sich zu etablieren, was durch den hohen Wuchs der Kulturpflanze weiter gefördert wird. Die Dichte des Wuchses zur Erntereife ist ähnlich ausgeprägt wie bei der Minze, so dass meist wenige Freiräume zwischen den einzelnen Individuen verbleiben können, was einen höheren Besatz mit Beikräutern vermeiden kann.

Tab. 7 Die in der Untersuchung häufigsten Beikräuter des konventionellen Melissenanbaus - 21 Bonituren, 98 Beikrautarten.

Tab. 7 *The quantitatively most important weeds in conventional lemon balm cultivation – 21 surveys, 98 weed species.*

Art	Positive Bonituren	Maximum Pflanzen / ha	Mittelwert Pflanzen / ha
<i>Stellaria media</i>	15	~160000	~2400
<i>Chenopodium album</i>	16	~47000	~1300
* <i>Taraxacum officinale</i>	17	~7500	~1100
<i>Fallopia convolvulus</i>	17	~1700	370
<i>Senecio vulgaris</i>	19	~26000	93
* <i>Tussilago farfara</i>	1	14	-

In Zitronenmelisse stellt das Gewöhnliche Greiskraut (*Senecio vulgaris*) das häufigste PA-Unkraut dar, unabhängig von der Bewirtschaftungsform (Tab. 7 und 8). Im ökologischen Anbau ist es sogar das Beikraut mit dem höchsten Mittelwert von Pflanzen pro Hektar, wenn es auch nur in drei Bonituren vorkommt. Außer dem Greiskraut tritt nur noch vereinzelt der Huflattich (*Tussilago farfara*) als weitere PA-Art auf. Die Beikräuter nutzen die seltenen Störstellen in der Bestandesstruktur, die ähnlich strukturiert ist wie bei der verwandten Pfefferminze.

Tab. 8 Die in der Untersuchung häufigsten Beikräuter des ökologischen Melissenanbaus - 16 Bonituren, 82 Beikrautarten.

Tab. 8 *The quantitatively most important weeds in ecological lemon balm cultivation – 16 surveys, 82 weed species.*

Art	Positive Bonituren	Maximum Pflanzen / ha	Mittelwert Pflanzen / ha
<i>Senecio vulgaris</i>	3	~14000	~5300
<i>Stellaria media</i>	15	~70000	~4400
<i>Chenopodium album</i>	16	~15000	~2400
* <i>Cirsium arvense</i>	16	~7700	~2000
* <i>Convolvulus arvensis</i>	15	~8000	~1100
* <i>Taraxacum officinale</i>	15	~7200	~1100

Die Analyse von 21 Erntegutproben ergab drei positive Proben, für einen konventionell und zwei ökologisch bewirtschaftete Schläge. Die Verunreinigungen sind nach den Inhaltsstoffprofilen auf *Senecio* zurückzuführen und betragen im Maximum 0,047 mg / kg Erntegut.

Kamille

Der meist hohe und kompakte Wuchs der Kulturart bietet Beikrautarten zu Beginn zwar gute Chancen sich zu etablieren, was sich im Lauf der Entwicklung der Kamille aber deutlich ändert. Das zeigt sich besonders in Beständen des konventionellen Anbaus, in denen neben der ausgesäten Kamille noch Altkamille aufläuft. Die sich entwickelnde Beikrautflora wird dann recht schnell von der Kulturpflanze überwachsen und so ausgedunkelt. Der Kamillenbestand ist dann oft so dicht,

dass die oft zahlreichen Kräuter meist nur sehr klein und unterentwickelt bleiben. Sind die Bedingungen dagegen nicht optimal, können sich die Beikräuter im Vergleich zur Kulturart besser entwickeln und es tritt eine stärkere Verunkrautung auf, die auch leicht in den Blühhorizont gelangen kann. Ähnliches kann sich im ökologischen Anbau zeigen, besonders wenn die Art auf leichteren Böden kultiviert wird. Dort können die Pflanzen niedriger bleiben und weniger dicht wachsen, was potentiellen Beikräutern im Vergleich deutlich bessere Wuchsmöglichkeiten bietet.

Tab. 9 Die in der Untersuchung häufigsten Beikräuter des konventionellen Kamillenanbaus - 24 Bonituren, 93 Beikrautarten.

Tab. 9 *The quantitatively most important weeds in conventional chamomile cultivation – 24 surveys, 93 weed species.*

Art	Positive Bonituren	Maximum Pflanzen / ha	Mittelwert Pflanzen / ha
<i>Viola arvensis</i>	19	~140000	~21000
<i>Poaceae</i>	18	~165000	~12000
<i>Veronica persica</i>	15	~110000	~7500
<i>Lamium purpureum</i>	17	~19000	~4400
<i>Geranium pusillum</i>	15	~16000	909
<i>Myosotis arvensis</i>	8	~2400	452
<i>Buglossoides arvensis</i>	1	286	-
<i>Lycopsis arvensis</i>	1	106	-

Die dichten Kamillebestände sind sehr konkurrenzstark und verhindern dadurch teilweise den Aufwuchs und die Ausbreitung von Beikräutern (Tab. 9). Diese finden sich vor allem in offenen Bereichen am Rand oder an Störstellen, sowie stark beeinträchtigt unter den eigentlichen Kulturpflanzen. Bedingt durch die meist ärmeren Wuchsorte sind vor allem Vertreter der Familie der Rauhblattgewächse vertreten, die im Vergleich zu den häufigeren Arten aber sehr selten vorkommen.

Tab. 10 Die in der Untersuchung häufigsten Beikräuter des ökologischen Kamillenanbaus - 2 Bonituren, 47 Beikrautarten.

Tab. 10 *The quantitatively most important weeds in ecological chamomile cultivation – 2 surveys, 47 weed species.*

Art	Positive Bonituren	Maximum Pflanzen / ha	Mittelwert Pflanzen / ha
<i>Aphanes arvensis</i>	2	~600000	~500000
<i>Scleranthus arvensis</i>	2	~500000	~400000
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	2	~200000	~144000
<i>Lamium purpureum</i>	2	~85000	~47000
<i>Myosotis stricta</i>	2	~40000	~27000
<i>Myosotis arvensis</i>	1	1000	-
<i>Lycopsis arvensis</i>	1	345	-

Im ökologischen Anbau wirken sich die oft größeren Reihenzwischenräume auf den Besatz mit Beikräutern aus (Tab. 10). Sie weisen oftmals eine deutlich höhere Individuenanzahl als im konventionellen Anbau auf. Allerdings sind auch hier andere Arten deutlich häufiger als die PA-Arten, die wegen der vergleichbaren Standortverhältnisse ein ähnliches Artenspektrum aufweisen. Analysen von 13 Erntegutproben zeigten in allen Fällen, unabhängig von der Kulturform, keine Verunreinigung mit Pyrrolizidinalkaloiden.

Thymian

Der dichte und kompakte Wuchs der Kultur kann dazu führen, dass mögliche Beikräuter verdrängt werden. Allerdings bleibt die Art meist recht niedrig und weist größere Zwischenräume zwischen den einzelnen Individuen auf, was sich positiv auf den Wuchs anderer Arten auswirken kann. Hier

sind besonders solche Arten im Vorteil, die schnell in die Höhe wachsen und erst später Seitentriebe ausbilden.

Tab. 11 Die in der Untersuchung häufigsten Beikräuter des konventionellen Thymiananbaus - 9 Bonituren, 92 Beikrautarten.

Tab. 11 *The quantitatively most important weeds in conventional thyme cultivation – 9 surveys, 92 weed species.*

Art	Positive Bonituren	Maximum Pflanzen / ha	Mittelwert Pflanzen / ha
<i>Poaceae</i>	9	~9000	~1300
* <i>Taraxacum officinale</i>	8	~1700	534
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	8	~1300	268
* <i>Cirsium arvense</i>	9	870	50
<i>Senecio vulgaris</i>	7	179	6
<i>Senecio vernalis</i>	4	247	9
<i>Myosotis arvensis</i>	1	1	-

In beiden Anbauformen sind Greiskräuter die wichtigsten PA-Beikräuter, wobei nur das Gewöhnliche Greiskraut (*Senecio vulgaris*) in beiden vorkommt (Tab. 11 und 12). Der ökologische Anbau ist deutlich ärmer an Beikräutern, sowohl was die Menge als auch die Diversität betrifft. Ähnlich wie bei der Petersilie treten die Arten in den offenen Bereichen zwischen den Kulturpflanzen oder an Fehlstellen auf, die durch das Absterben von Kulturpflanzen geschaffen wurden. Auch hier gilt wieder, dass die Greiskräuter unter günstigen Bedingungen die gepflanzte Art überwachsen können und so zur Blüte bzw. Fruchtreife leicht auszumachen sind.

Tab. 12 Die in der Untersuchung häufigsten Beikräuter des ökologischen Thymiananbaus - 7 Bonituren, 45 Beikrautarten.

Tab. 12 *The quantitatively most important weeds in ecological thyme cultivation – 7 surveys, 45 weed species.*

Art	Positive Bonituren	Maximum Pflanzen / ha	Mittelwert Pflanzen / ha
<i>Stellaria media</i>	6	~2700	~1600
<i>Chenopodium album</i>	7	324	278
<i>Thlaspi arvense</i>	7	324	278
* <i>Taraxacum officinale</i>	7	833	185
<i>Matricaria chamomilla</i>	7	667	185
<i>Senecio vulgaris</i>	1	18	-

Die Analyse von 6 Erntegutproben ergab nur eine positive Probe für einen konventionell bewirtschafteten Schlag. Die Verunreinigung ist nach den Inhaltsstoffprofilen auf *Senecio*-Arten zurückzuführen und beträgt 0,05 mg / kg Erntegut.

Salbei

Die Art wächst vor allem in späteren Entwicklungsstadien recht langsam und weist einen größeren Abstand zwischen den Pflanzreihen auf. Auch wenn der Wuchs der Pflanzen selbst recht dicht ist, ergeben sich dadurch größere Lücken in den Beständen, dass das Eindringen von Beikräutern erleichtert. Ähnlich wie bei Petersilie und Thymian sind auch hier Konkurrenten im Vorteil, die zunächst in die Höhe wachsen und später in das Wachstum der Seitentriebe investieren.

Tab. 13 Die in der Untersuchung häufigsten Beikräuter des konventionellen Salbeianbaus - 5 Bonituren, 34 Beikrautarten.

Tab. 13 *The quantitatively most important weeds in conventional sage cultivation – 5 surveys, 34 weed species.*

Art	Positive Bonituren	Maximum Pflanzen / ha	Mittelwert Pflanzen / ha
<i>Sonchus asper</i>	4	~37000	~17000
<i>Stellaria media</i>	4	~16000	~4600
<i>Polygonum aviculare</i>	4	~22000	~3400
<i>Chenopodium album</i>	4	~9400	~3000
<i>Senecio vulgaris</i>	4	~1500	~800
<i>Myosotis arvensis</i>	2	64	52
<i>Senecio vernalis</i>	1	1	-

Salbei bietet mit seinen relativ großen Reihenabständen und langsameren Wuchs gute Bedingungen für das Auftreten von Beikräutern. Die deutlichen Unterschiede in der Menge an Beikräutern in den Kulturvarianten werden vermutlich durch unterschiedliche Handhabung der Bekämpfungsmaßnahmen verursacht. Auch können der Untersuchungszeitpunkt und der geringe Boniturfumfang einen Einfluss auf das Ergebnis haben. In beiden Kulturvarianten tritt ein ähnliches PA-Arteninventar auf, das quantitativ vom Gewöhnlichen Greiskraut (*Senecio vulgaris*) angeführt wird (Tab. 13 u. 14). Wie bei den anderen Kulturarten sind aber auch hier wieder andere Beikräuter wesentlich häufiger vertreten.

Tab. 14 Die in der Untersuchung häufigsten Beikräuter des ökologischen Salbeianbaus - 5 Bonituren, 57 Beikrautarten.

Tab. 14 *The quantitatively most important weeds in ecological sage cultivation – 5 surveys, 57 weed species.*

Art	Positive Bonituren	Maximum Pflanzen / ha	Mittelwert Pflanzen / ha
<i>Veronica hederifolia</i>	5	~1300	556
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	5	815	361
* <i>Cirsium arvense</i>	5	593	222
<i>Chenopodium album</i>	5	815	208
* <i>Convolvulus arvensis</i>	5	~1000	185
<i>Senecio vulgaris</i>	1	49	-
* <i>Tussilago farfara</i>	1	39	-
<i>Myosotis arvensis</i>	1	35	-

Analysen von 5 Erntegutproben zeigten in allen Fällen, unabhängig von der Kulturform, keine Verunreinigung mit Pyrrolizidinalkaloiden.

Fazit und Ausblick

PA-Pflanzen treten ebenso wie andere Beikräuter auf landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Flächen auf. Neben der Konkurrenz für die Kulturpflanzen können sie aufgrund ihres Gehaltes an Pyrrolizidinalkaloiden das Erntegut verunreinigen. Analysen von Erntegutproben ergaben in unseren Untersuchungen in einigen Fällen Kontaminationen mit Pyrrolizidinalkaloiden durch *Senecio*-Arten, allerdings weisen diese keine Korrelation mit den in den Schlägen gefundenen Beikrautmengen auf. Die gefährdetsten Kulturen sind Pfefferminze und Petersilie mit jeweils sechs positiven Proben, gefolgt von Zitronenmelisse mit drei und Thymian mit einer positiven Probe. In Kamille und Salbei konnten bisher keine Verunreinigungen festgestellt werden. Allerdings stehen bei allen Kulturarten noch die Analysen der Erntegutproben sowie die Auswertung der Boniturdaten der ökologischen Flächen für das Jahr 2017 aus, so dass noch Änderungen möglich sind. Um die Datenlage zu festigen, sollte den verantwortlichen Arten und ihrem Vorkommen in landwirtschaftlichen Schlägen weiterhin besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden und ihre Kontrolle sowie Vermeidung der Mitbeerntung eine wichtige Stellung einnehmen. Die

Erhebungen im Rahmen dieses Projektes sollen u. a. dazu beitragen die Einnischung der Arten besser zu verstehen und dadurch Strategien zu entwickeln, die eine bessere Vermeidung der Kontamination mit den Pflanzen ermöglichen. Daher wird angestrebt das Projekt um ein weiteres Jahr zu verlängern und somit die Datenlage weiter verbessern zu können.

Danksagung

Unser Dank gilt insbesondere dem BMEL / der FNR für die Förderung des Kooperationsvorhabens sowie allen kofinanzierenden Unternehmen und Verbänden. Ebenso danken wir allen kräuteraanbauenden Betrieben sowohl für ihre Bereitschaft, die Unkrautflora erfassen zu lassen als auch die Erntegüter für die Analytik zur Verfügung zu stellen. Dem projektbegleitenden Ausschuss seien für die nützlichen Hinweise und der FAH e.V. für die Unterstützung bei der Projektkoordinierung gedankt.

Literatur

- PLESCHER, A., 2014: Entwicklung der Anbauflächen und Kulturartenvielfalt von Arzneipflanzen in Deutschland. Tagungsbetrag zur 2. Tagung Arzneipflanzen 16./17. Oktober 2013 in Gülzower Fachgespräche, Bd. 44, FNR, S.31-43.
- EMA / HMPC – EUROPEAN MEDICINES AGENCY / HERBAL MEDICINAL PRODUCTS COMMITTEE, 2014: Public statement on the use of herbal medicinal products containing toxic, unsaturated pyrrolizidine alkaloids (PAs). EMA/HMPC/893108/2011. 24 S.
- COT – COMMITTEE ON TOXICITY OF CHEMICALS IN FOOD, CONSUMER PRODUCTS AND THE ENVIRONMENT, 2008: COT Statement on Pyrrolizidine Alkaloids in Food. COT Statement 2008/06. 24 S.
- BfR – BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG, 2013: Pyrrolizidinalkaloide in Kräutertees und Tees. Stellungnahme 018/2013 des BfR vom 5.Juli 2013. 31 S.
- FREY, W. und R. LÖSCH, 2004: Lehrbuch der Geobotanik: Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 528 S.

Germination base temperature and relative growth rate of 13 weed species - comparing populations from two geographical origins

Basistemperatur der Keimung und relative Wachstumsrate von 13 Unkrautarten im Vergleich der Samen aus zwei mitteleuropäischen Herkünften

Jana Bürger^{1*}, Natalie Colbach²

¹University Rostock, Faculty of Agriculture and Environment, Satower Straße 48, 18059 Rostock, Germany

²Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, 21000 Dijon, France

*Corresponding author, jana.buerger@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2018.458.061

Abstract

Two experiments were conducted to test parameter validity of a simulation model under North German conditions. At the moment, the model is stocked with life cycle parameters of 25 annual weed species. These were obtained from experiments in the region Burgundy and from literature. Such parameters may vary strongly between geographical regions.

Base temperature for germination was studied in one experiment for North German seeds of ten species. Mostly, base temperatures were between 1.5 and 2.7 °C higher than the parameters from French experiments. The second experiment, on Relative growth rate of 19 species, yielded similar values for most species in French and German seed populations.

In respect to using the model for simulations under North German conditions, adaptations should be undertaken for the germination base temperature. Growth rates can be kept unchanged, but for some species it needs to be clarified whether differences between parameters can be explained through seasonal variations in seed collection or experiment.

Keywords: Early growth, FlorSys, weed biology

Zusammenfassung

Es wurden zwei Experimente durchgeführt, um die Validität von Modellparametern eines Unkraut-Simulationsmodells für norddeutsche Bedingungen zu testen. Es umfasst zurzeit Parameter zum Lebenszyklus von 25 annuellen Unkräutern, die entweder durch Experimente in der Region Burgund erhoben oder aus der Literatur entnommen wurden. Solche Parameter können sich in Populationen verschiedener geographischer Herkunft erheblich unterscheiden.

Im Experiment zur Basistemperatur für die Keimung wurden norddeutsche Samen von zehn Arten untersucht. Die meisten von Ihnen wiesen Basistemperaturen auf, die ca. 1.5-2.7 °C höher lagen, als die Basistemperaturen der französischen Experimente. Das Experiment zur Relativen Wachstumsrate mit 19 Arten zeigte für die meisten Arten ähnliche Werte in französischen und deutschen Populationen.

Für eine Nutzung des Modells in Norddeutschland sollten die Basistemperaturen angepasst werden. Wachstumsraten können beibehalten werden, wobei für einen kleinen Teil an Arten zu klären ist, ob Unterschiede durch saisonale Verschiebungen bei Samenernte und Experiment zu erklären sind.

Stichwörter: FlorSys, Unkrautbiologie

Introduction

Modelling and simulation are powerful scientific tools, accompanying experimental work and field monitoring with the possibility to forecast possible future developments, or to evaluate a range of contrasting scenarios. The validity of model results is usually limited to the domain in which the model's processes and parameters were analysed during model building. Extrapolating to conditions that were not included by the data sourcing may yield strongly false conclusions. To use a simulation model in conditions different to the originally tested ones therefore requires an evaluation of the model parameters' validity under the new conditions.

We conducted experiments to test the validity of germination and growth parameters of the crop: weed model FlorSys for Northern German conditions. The aim is to use the model in future simulation studies for this region. FlorSys simulates a virtual field on which cropping systems can

be experimented and a range of crop, weed and environmental measures estimated. The life cycle of annual plants is modelled by processes that connect the essential stages from seed to mature plant and new seeds adding to the seedbank, both for crop and weed plants.

FlorSys was developed in Burgundy, France, and has been tested successfully for other French regions. Currently, the model contains parameters for 25 frequent and contrasting weed species. The parameters were either determined in experiments with seeds mainly collected in the region or researched from published literature. Two of the first processes in plants' life cycle are germination and early growth. They both depend largely on individual seed traits, for example dormancy status or resources expressed in seed weight.

Apart from the variation of such traits between individual seeds in a seed lot they can also vary between seed lots depending on region of origin, ripening time, or conditions under which the motherplant grew (pre-conditioning effect).

We conducted two experiments on species-specific germination and early growth traits in Rostock, Mecklenburg-Vorpommern, Germany. We used seeds collected from fields in the region as well as seeds from the original French seed lots. The experimental plan allowed to

- 1) compare species-specific parameters between seed lots from France and Germany,
- 2) expand the species list with species more prevalent under Northern climate and
- 3) control for errors caused by experimental set-ups and handling by comparing results obtained for the same French seed lots in the two places.

Materials and Methods

Experiment on base temperature for germination

Seed germination of each species and seed lot was tested at four to five constant temperatures. Seeds were laid out in petri dishes lined with a double layer of filter paper and moistened with water. Four replicates of 50 seeds per treatment were placed in temperature chambers with light for 12 h per day. Petri dishes were checked for germinated seeds at least once a day and seeds considered germinated when the radicle was clearly visible. Experiments took place in 2017 and lasted for approx. 4 weeks each, or until no more germination occurred during 7 days. Temperature in the chambers was monitored and means of the measurements used for calculations.

Time-to-event models were fitted to the germination data. We used a nonlinear and nonsymmetric three parameter Weibull function following the equation

$$GP_t = GP_{final} * e^{-e^{(b*(\ln(t) - i)}}$$

where GP_t is the proportion of seeds germinated up to the sampling time t , GP_{final} the final proportion of seeds germinated out of the sample, t the time since water addition, i the time at which the inflection of the curve occurs and b a shape parameter. The parameter t_{50} , which is the time to reach 50% of the final germination proportion, was calculated from the model parameters.

Germination rates (GR) were calculated as the inverse of t_{50} :

$$GR = \frac{1}{t_{50}}$$

The species-specific base temperature (BT) was then determined by a regression of the germination rates over all studied temperatures and is specified as the x-intercept of the regression line (ARNOLD, 1959).

$$GR_T = a + b * T,$$

$$BT = a/b.$$

Experiment on relative growth rate in seedling stage

Early growth is the phase in life cycle lasting from emergence to the beginning of competition between plants. Until then, growth is exponential and largely determined by the resources saved in the seed and the energy provided as temperature by the environment. Early growth was monitored in several greenhouse experiments between April 2016 and June 2017.

Seeds were placed in petri dishes, wetted with water and set to germinate under optimal conditions according to literature. When germination started, up to 20 seeds were placed in individual pots with standard garden earth. Pots were placed in green houses without heating, but with additional light when necessary to obtain min. 12 h light exposure. Pots were watered to ensure non-limited growth. Leaf area development was monitored by a non-destructive approach taking one photograph of each pot per day and analysing it via software. Some plants were harvested at 2-leaf, 4-leaf and 8-leaf stage respectively and their leaf area determined by a scan of all leaves. Leaf area values from the photographs were then corrected by a function determined from relations between scan and photograph on the same day.

Leaf area growth curves were fitted following the equation for exponential growth

$$LA_{TT} = LA_0 * e^{(RGR * TT)}$$

where TT is thermal time from emergence, LA_{TT} is leaf area at TT, LA_0 is leaf area at emergence and RGR the relative growth rate. Leaf area was log-transformed and parameters fitted by linear regression over TT.

Thermal time was calculated as

$$TT_d = \sum_{i=0}^d (T_i - T_b)$$

where TT_d is cumulated thermal time at sampling date d, T_i is the daily mean temperature and T_b is the species-specific base temperature. When the number of plants of a species with successful growth was not sufficient for the analyses, the experiment was repeated, and measurements pooled. Finally, the species-specific RGR was determined by averaging all RGRs from plants with good fits in the linear regression (expressed by $R^2 > 0.9$).

Species and seed material

Species from the FlorSys set were chosen for the experiments that are also prevalent in Northern German arable fields. The selection was completed with the most important species found in weed monitorings of the region that were not parameterised in FlorSys before. Seeds were sourced for these species from the experimental gardens and experimental fields of Rostock University, in a few cases from commercial suppliers. In early summer 2016, we additionally included some seed lots from Burgundy in the green house experiments, i.e. from the exact same seed lots that were used for the original parametrisation. Table 1 gives an overview of species, experiments conducted on these species and the seed sources.

Tab. 1 Species and seed sources for base temperature and relative growth rate experiments in Rostock, 2016 and 2017. Abbreviations: D – Germany, F – France, EG – experimental garden University Rostock, ES – experimental station Stover Acker, CS – commercial supplier, INRA – seed collection INRA Dijon. SP – spring, SU – summer, AU – autumn.

Tab. 1 Arten und Samenquellen für Basistemperatur- und Wachstumsraten-Experimente in Rostock, 2016 und 2017. Abk.: D – Deutschland, F – Frankreich, EG – Schau und Lehrgarten Rostock, ES – Versuchsstation Stover Acker, CS – gewerblicher Samenlieferant, INRA – Samensammlung INRA Dijon. SP – Frühjahr, SU – Sommer, AU – Herbst.

Species	EPPO code	Country of origin	Seed source and harvest date	Temperature levels (°C) for base temperature experiment ^a
<i>Alopecurus myosuroides</i>	ALOMY	D	EG 07/2016	7; 11; 15; 16
		F	INRA	-
<i>Amaranthus retroflexus</i>	AMARE	D	ES 09/2015	-
		F	INRA	-
<i>Anchusa arvensis</i>	LYCAR	D	commercial supplier: Appels Wilde Samen 2016	-
<i>Apera spica-venti</i>	APESV	D	ES 08/2015	5; 7; 11; 16
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	CAPBP	D	ES 06/2014	-
<i>Centaurea arvensis</i>	CENCY	D	EG 06/2016, CS 2016	7; 10; 12; 15
<i>Chenopodium album</i>	CHEAL	D	ES 2015	5; 7; 9; 13
		F	INRA	-
<i>Echinochloa crus-galli</i>	ECHCG	D	ES 08/2015	11; 13; 16; 17
		F	INRA	-
<i>Galium aparine</i>	GALAP	D	EG 07/2016	-
<i>Geranium dissectum</i>	GERDI	D	CS 2016	5; 7; 9; 11; 13; 16
<i>Matricaria chamomilla</i>	MATCH	D	ES 8/2015	5; 9; 11; 13; 16
<i>Matricaria inodora</i>	MATIN	D	ES 2015	5; 9; 13; 17
<i>Papaver rhoeas</i>	PAPRH	D	EG 07/2016	5; 9; 13; 17
<i>Poa annua</i>	POAAN	D	EG 2013	-
<i>Setaria viridis</i>	SETVI	D	EG 2011	-
		F	INRA	-
<i>Solanum nigrum</i>	SOLNI	D	ES 2011	-
		F	INRA	-
<i>Stellaria media</i>	STEME	D	EG 06/2016	5; 7; 9; 11; 13
<i>Sisymbrium officinale</i>	SSYOF	D	EG 9/2015	7; 10; 12; 15
<i>Veronica hederifolia</i>	VERHE	D	EG 2008	-
<i>Viola arvensis</i>	VIOAR	D	ES 06/2016	-

^a Mean temperatures measured per chamber of a planned constant temperature level: 5: 6.0 °C; 7: 7.1 °C; 9: 8.6 °C; 10: 9.9 °C; 11: 11 °C; 13: 13.9 °C; 15: 15.0 °C; 16: 16.3 °C; 17: 18.4 °C.

Analysis

Calculations and statistical analyses were carried out with R, version 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017). Fitting of germination curves was done with the R-package “drc” (RITZ et al., 2015).

Results and discussion

Base temperatures

All regressions of germination rates over temperatures had a good fit, obtaining R^2 between 0.88 and 0.99. For one out of the ten tested species, *Matricaria inodora*, the experiment resulted in nearly the same base temperature for the German seed lot (1.8 °C, Fig. 1) as it is recorded in the FlorSys data (1.9 °C).

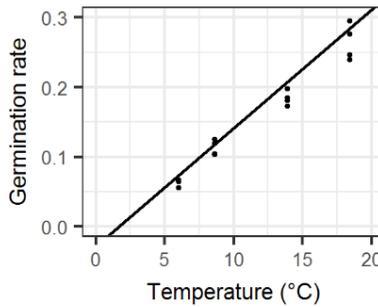


Fig. 1 Effect of temperature on germination rate of *Matricaria inodora*. Base temperature is determined as x-intercept of the linear regression line.

Abb. 1 Effekt der Temperatur auf die Keimrate von *Matricaria inodora*.

For one species, no reference value is included in FlorSys. The result for *Apera spica-venti* was the same in our experiment as reported by SCHERNER et al. (2017) obtained for a Danish seed sample. For six species, the base temperatures were clearly higher for the tested seed samples than was recorded for samples in Burgundy (Tab. 2). The difference was between 0.9 °C (*Stellaria media*) and 5.3 °C (*Geranium dissectum*). The only species with a lower base temperature in Germany was *Chenopodium album*. The German base temperature was 1.5 °C, which is more than 4 °C lower than the French value.

Tab. 2 Base temperature for germination of 10 weed species from North German seed lots.

Tab. 2 Basistemperatur für 10 Ackerunkrautarten norddeutscher Herkunft.

Species	Base temperature obtained in experiment (°C)	Base temperature in FlorSys database (°C) ^a
<i>Alopecurus myosuroides</i>	1.6	0
<i>Apera spica-venti</i>	0.6	-
<i>Centaurea arvensis</i>	3.0	1.5
<i>Chenopodium album</i>	1.5	5.8
<i>Echinochloa crus-galli</i>	10.2	6.2
<i>Geranium dissectum</i>	3.8	-1.5
<i>Matricaria chamomilla</i>	4.7	1.9
<i>Matricaria inodora</i>	1.8	1.9
<i>Papaver rhoeas</i>	3.5	0.8
<i>Stellaria media</i>	2.3	1.4

^aGARDARIN et al. (2011)

The differences may be the result of adaptations both to climate and resulting cropping practices in the two regions, but also dependent on species' emergence patterns. *Matricaria inodora* and *Stellaria media*, the species with the most similar base temperatures between regions, are able to germinate all year around. The group of species that germinate mainly in autumn and early spring shows a higher base temperature in the German seed lots, but with an intermediate difference of about 1.5 to 2.7 °C. This may be an adaptation to the lower temperatures in Mecklenburg during the emergence times. In autumn, germination in the German region would stop earlier than in the French region, leaving an appropriate amount of time for germinated seedlings to grow to favourable growth stages before the freezing period starts in winter. Likewise, germination in spring will start later than in the French region, lowering the risk for another spell of frost weather killing newly emerged seedlings.

Base temperatures also differ between seed samples taken at different times of the year. The early collection date of the German sample of *Stellaria media* in June suggests that these seeds were harvested from plants that emerged in autumn, and overwintered. Earlier germinating parts of a population may have lower base temperatures than seeds germinating later in the year. COLBACH et al. (2002) reported this for *Alopecurus myosuroides* for which they did not find an effect of seed source on base temperature, even with locations of different climate conditions. Yet, seeds were all collected in winter crops. The authors proposed that seeds from spring crops were produced by plants resulting from seeds germinating after winter and under warmer conditions, therefore might have different temperature requirements.

The large inner-specific trait variability of *Chenopodium album* has also been documented before. Base temperature values in the literature range from 2.0 °C (VLEESHOUWERS and KROPF, 2000) to 10.0 °C (GARDARIN et al., 2009). *Chenopodium album* exhibits a pronounced seed polymorphism with three categories of seeds (brown, black-reticulate and black-smooth) differing widely in their germination behaviour (WILLIAMS and HARPER, 1965). As the proportion of these seed categories varies between plants and growing situation of the mother plants, this leads to a high phenotypic polymorphism of seed samples and contributes to the variability of results from base temperature experiments as we found them.

Relative growth rates

The first part of the analysis was to compare relative growth rates that were determined with seeds from Burgundy in the two independent experimental set-ups in Dijon and Rostock. Growth rates of five species were similar between experiments (Fig. 2), mostly with similar medians. Even in the case of *Amaranthus retroflexus* where the Rostock experiment resulted in higher average growth rates, the values of the individual plants fall into the range of the Dijon experiment. It remains unclear so far, why growth rates of *Echinochloa crus-galli* were much smaller in the Rostock experiment. Altogether, it could be concluded that experimental set-up, conditions in green houses and handling were sufficiently similar between experiments to make comparisons of the results meaningful even if French and German seed lots were not tested in the same experiment.

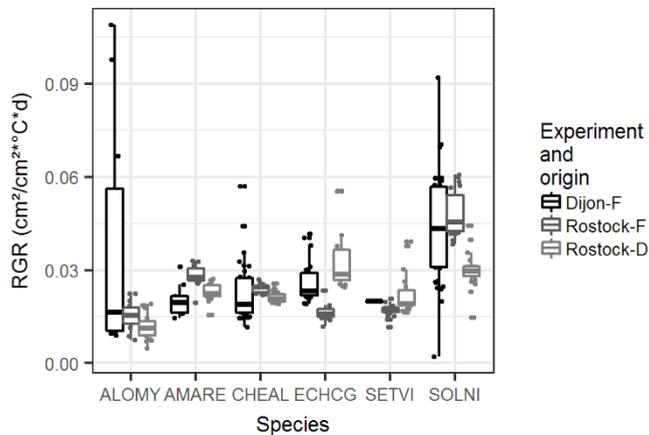


Fig. 2 Relative growth rate of leaf area of six weed species comparing two experiments (Dijon, Rostock) and two seed lots of different origin (F - France, D - Germany). Boxplots combined with values of all individual plants. For SETVI (Dijon) only a mean value was available.

Abb. 2 Relative Wachstumsrate der Blattfläche von sechs Unkrautarten, im Vergleich zwischen zwei zeitlich unabhängigen Experimenten (Dijon und Rostock) und zwei Samenherkünften (F – Frankreich und D – Deutschland). Boxplots unterlegt mit Werten aller Einzelpflanzen. Für SETVI (Dijon) war nur ein Mittelwert verfügbar.

When relative growth rates from the experiment in Rostock were compared directly between French and German seed lots (Rostock-F and Rostock D in Fig. 2), four species showed similar rates between populations. Two species, namely *Echinochloa crus-galli* and *Solanum nigrum* had pointed differences. Yet again, even in these cases the results from Rostock all fall into the range of values from the Dijon experiment.

In the second part of the analysis, growth rates of the German seed lots (Tab. 3) were compared to the values included in the FlorSys model. Relative growth rates of ten German seed lots were similar to the growth rates of French seed lots. The exceptions were *Matricaria chamomilla*, *Galium aparine* and *Stellaria media*. In all three cases, the RGR in our experiments was markedly larger than in the FlorSys data. The larger RGR was combined with a smaller leaf area at emergence (data not shown).

Tab. 3 Relative growth rate of leaf area ($\text{cm}^2/\text{cm}^2\cdot^\circ\text{C}\cdot\text{d}$) of 19 weed species in comparison between two experiments and differing seed samples. Values are means \pm standard deviation.

Tab. 3 Relative Wachstumsrate der Blattfläche ($\text{cm}^2/\text{cm}^2\cdot^\circ\text{C}\cdot\text{d}$) von 19 Unkrautarten, im Vergleich zwischen zwei Experimenten und verschiedenen Samenherkünften. Mittelwerte \pm Standardabweichung.

Species	Rostock, Germany	Dijon, France
<i>Alopecurus myosuroides</i>	0.009 \pm 0.002	0.037 \pm 0.039
<i>Amaranthus retroflexus</i>	0.022 \pm 0.004	0.019 \pm 0.005
<i>Anchusa arvensis</i>	0.011 \pm 0.001	-
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	0.019 \pm 0.002	0.023 \pm 0.014
<i>Centaurea arvensis</i>	0.014 \pm 0.001	-
<i>Chenopodium album</i>	0.021 \pm 0.002	0.022 \pm 0.009
<i>Echinochloa crus-galli</i>	0.028 \pm 0.002	0.028 \pm 0.012
<i>Galium aparine</i>	0.020 \pm 0.004	0.013 \pm 0.004
<i>Geranium dissectum</i>	0.013 \pm 0.001	0.012 \pm 0.002
<i>Matricaria chamomilla</i>	0.026 \pm 0.005	0.015 \pm 0.006
<i>Matricaria inodora</i>	0.017 \pm 0.002	0.015 \pm 0.003
<i>Papaver rhoeas</i>	0.020 \pm 0.002	-
<i>Poa annua</i>	0.012 \pm 0.004	0.013 \pm 0.008
<i>Setaria viridis</i>	0.019 \pm 0.002	0.020 (sd n.a.)
<i>Solanum nigrum</i>	0.048 \pm 0.007	0.046 \pm 0.016
<i>Sisymbrium officinale</i>	0.019 \pm 0.004	-
<i>Stellaria media</i>	0.019 \pm 0.002	0.011 \pm 0.003
<i>Veronica hederifolia</i>	0.007 \pm 0.001	0.011 (sd n.a.)
<i>Viola arvensis</i>	0.013 \pm 0.001	0.011 \pm 0.007

These differences may be explained by two factors related to climate and vegetation season patterns in the different provenances. On one hand, many species show a seasonal variability in relative growth rate in experiments in spring vs. autumn (STORKEY, 2004). The author reported that plants which emerged before the winter had a lower relative growth rate than the ones that emerged in spring. When light availability was accounted for, the growth rates were the same.

This effect could explain our results on *Matricaria chamomilla*. The growth rates in Table 3 are averages from plants grown in two experiments in Rostock and Dijon respectively. Growth rates obtained only from very early spring experiments in March 2016 in Rostock and April 2011 in Dijon were 0,021 and 0,018 for the German and French seed lot. In contrast to that, an experiment in April 2016 in Rostock gave a rate of 0,031 and an experiment in July 2010 in Dijon a rate of 0,009.

On the other hand, high early growth rates may be an adaptation to length of vegetation periods. Especially in Northern latitudes with shorter vegetation periods, plants may need to be quicker in the development to successfully flower and reproduce. When higher base temperatures as we found them for *Matricaria chamomilla* and *Stellaria media* lead to a later vegetation start in spring, a higher growth rate might compensate for that late start.

In general, it can be concluded that for the large majority of tested species base temperatures were higher, but relative growth rates similar in plants from Northern German seed samples compared to the values that are included in FlorSys. Base temperatures should therefore be adapted before using the model for simulation under Northern German conditions. Relative growth rates can be used with the values that are included in FlorSys. For the species that showed large differences in growth rate it remains to be checked whether seed harvest and experiments were executed in the same season and if species have the same emergence season in both regions.

Acknowledgements

The author wishes to thank Stefanie Wohlfahrt, Malte Ritter and Issa Kemou Gao for their experimental work in this study. The study was funded by Deutsche Forschungsgemeinschaft (BU 3097/1-1).

References

- ARNOLD, C.Y., 1959: The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Am. Soc. Hortic. Sci.* **74**, 430–445.
- COLBACH, N., B. CHAUVEL, C. DÜRR and G. RICHARD, 2002: Effect of environmental conditions on *Alopecurus myosuroides* germination. I. Effect of temperature and light. *Weed Research* **42**, 210–221.
- GARDARIN, A., J.-P. GUILLEMIN, N.M. MUNIER-JOLAIN and N. COLBACH, 2010: Estimation of key parameters for weed population dynamics models: Base temperature and base water potential for germination. *Eur. J. Agron.* **32**, 162–168.
- GARDARIN, A., C. DÜRR and N. COLBACH, 2011: Prediction of germination rates of weed species: Relationships between germination speed parameters and species traits. *Ecolog. Modelling* **222**, 626–636.
- MALIK, N. and W. H. VANDEN BORN, 1988: The biology of Canadian weeds. 86. *Galium aparine* L. and *Galium spurium* L. *Can. J. Plant Sci.* **68**, 481–499.
- R CORE TEAM, 2017: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RITZ, C., F. BATY, J.C. STREIBIG and D. GERHARD, 2015: Dose-Response Analysis Using R. *PLOS ONE* **10**, e0146021.
- STORKEY, J., 2004: Modelling seedling growth rates of 18 temperate arable weed species as a function of the environment and plant traits. *Ann. Botany* **93**, 681–689.
- SCHERNER, A., B. MELANDER, P.K. JENSEN, P. KUDSK and L.A. AVILA, 2017: Germination of winter annual grass weeds under a range of temperatures and water potentials. *Weed Science* **65**, 468–478.
- WILLIAMS, J.T. and J.L. HARPER, 1965: Seed polymorphism and germination. I. The influence of nitrates and low temperatures on the germination of *Chenopodium album*. *Weed Research* **5**, 141–150.
- VLEESHOUWERS, L.M. and M.J. KROPPF, 2000: Modelling field emergence patterns in arable weeds. *New Phytolog* **148**, 445–457.

Seed potential and germination dynamic of *Abutilon theophrasti* in subsequent crops

Samenpotential und Auflaufdynamik von Abutilon theophrasti in Folgefrüchten

Maria Scheliga*, Jan Petersen

University of Applied Sciences Bingen, Berlinstraße 109, 55411 Bingen am Rhein, Germany

*Corresponding author, m.scheliga@th-bingen.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.062



Abstract

Abutilon theophrasti (Medic.) is native in China or India and primarily known in Germany as a weed in sugar beets. Due to the increased demand for renewable raw materials, *A. theophrasti* as a fibre plant could be of particular interest to the automotive industry in Germany. The possibilities and potential of cultivation of *A. theophrasti* in Germany are still under investigation. However, the high production of persistent seeds could be a problem in cultivation. The emergence of the seeds in the following growing season can lead to yield loss in the subsequent crop. In order to investigate and quantify the seed potential in the soil and the dynamics of germination of *A. theophrasti*, field trials were carried out in 2015 and 2016, where winter wheat (*Triticum aestivum*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) were cultivated after *A. theophrasti*, in 2017 followed by maize (*Zea mays*).

The seed potential in the soil and the number of emergent plants was continuously determined. After harvest of *A. theophrasti*, a soil seed bank of over 10,000 seeds m⁻² in 2015 and 6,000 seeds m⁻² in 2016 was determined. Within 2 years after the cultivation of *A. theophrasti* and winter wheat the number of seeds in the soil decreased by 77 to 82%. But 1 year after cultivation of *A. theophrasti* and subsequent crop still 1,973 to 3,096 seeds m⁻² in the soil were present. The dynamics of germination showed that the majority of the seeds in the soil only emerge before sowing sorghum and after harvest of sorghum or winter wheat. The comparison of *A. theophrasti* with *Camelina sativa* as a pre-crop showed that there were no significant differences in yield of sorghum or winter wheat.

Keywords: *Abutilon theophrasti*, crop rotation, population dynamics, preceding crop, soil seed bank

Zusammenfassung

Abutilon theophrasti (Medik.) stammt ursprünglich aus China oder Indien und ist in Deutschland vor allem als Unkraut auf Rübenäckern bekannt. Durch die gestiegene Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen könnte *A. theophrasti* als Faserpflanze in Deutschland vor allem für die Automobilindustrie von Interesse sein. Die Möglichkeiten und das Potential des Anbaus von *A. theophrasti* in Deutschland werden derzeit noch untersucht. Allerdings könnte die hohe Produktion persistenter Samen ein Problem beim Anbau von *A. theophrasti* darstellen. Das Auflaufen der Samen in der folgenden Vegetationsperiode kann zu Ertragseinbußen der Folgefrucht führen.

Um das Samenpotential im Boden und die Auflaufdynamik von *A. theophrasti* genauer zu untersuchen und zu quantifizieren, wurden im Jahr 2015 und 2016 Feldversuche angelegt, bei denen nach *A. theophrasti* Winterweizen (*Triticum aestivum*) und Sorghum-Hirse (*Sorghum bicolor*) angebaut wurden, 2017 folgte Mais (*Zea mays*).

Das Samenpotentials im Boden und die Anzahl auflaufender Pflanzen wurde kontinuierlich bonitiert. Nach der Ernte von *A. theophrasti* wurde ein Samenvorrat von über 10.000 Samen m⁻² im Jahr 2015 und 6.000 Samen m⁻² im Jahr 2016 ermittelt. Innerhalb von 2 Jahren nach dem Anbau von *Abutilon theophrasti* und anschließendem Winterweizen wird die Anzahl der Samen im Boden um 77 bis 82 % verringert. Allerdings waren noch immer 1.973 bis 3.096 Samen m⁻² im Boden. Die Dynamik der Keimung zeigte, dass die Mehrheit der Samen im Boden nur vor der Aussaat von Sorghum und nach der Ernte von Sorghum oder Winterweizen auflaufen. Im Vergleich von *A. theophrasti* zu *Camelina sativa* als Vorfrucht zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Ertrag von Sorghum oder Winterweizen.

Stichwörter: *Abutilon theophrasti*, Fruchtfolge, Populationsdynamik, Samenbank, Vorfrucht

Introduction

Velvetleaf, *Abutilon theophrasti* (Medik.), is known in Germany as a weed in sugar beets. Originally, the plant is from China or India and belongs to the family of Malvaceae (Li, 1970; SPENCER, 1984;

MITICH, 1991). Since 2,000 B.C. *A. theophrasti* has been cultivated as a fibre plant. The bast fibre is used to make e.g. ropes, cordages, bags, coarse cloth or fishing nets (SPENCER, 1984). The seeds of *A. theophrasti* were brought along to America by the early settlers. As a base of agricultural development *A. theophrasti* should be used for fibres. Over time cotton (*Gossypium hirsutum*) and hemp (*Cannabis sativa*) replace fibres of *A. theophrasti* (SPENCER, 1984). The plant probably came to Europe via imports of maize and soybeans as animal feed from America (MEINLSCHMIDT, 2005). Through the digestion process of the animals, seeds are not damaged and can be applied to the fields via liquid manure or dung (MEINLSCHMIDT, 2005).

With increasing demand for renewable raw materials, the demand for plant fibres for the automotive industry increase (NABI SAHEB and JOG, 1999; MOHANTY et al., 2002; DIEPENBROCK et al., 2016). They are processed as fibre composite materials for the production of interior components. As an alternative or supplement to the currently used fibres of hemp and kenaf (*Hibiscus cannabinus*), fibres of *A. theophrasti* could gain more importance. The possibilities and the potential of cultivation of *A. theophrasti* in Germany are still under investigation. One problem by cultivation of this species may be the high production of persistent seeds (SPENCER, 1984). Due to several mechanisms of dormancy only a part of the seeds in the soil germinates (EGLEY and CHANDLER, 1978; WARWICK, BLACK, 1988). Because seeds are persistent they can also germinate in subsequent crops. Especially in spring crops *A. theophrasti* is one of the most important weeds (SPENCER, 1984). Decisive for a reduction in yield are, however, weed density and the stage of development of the crop (SATTIN et al., 1992). So, plants with a slow development of youth, such as sugar beets, are subject to a higher competition pressure. Therefore, a high competitiveness, especially in the first days after emergence, is important in order to suppress weeds in the reduction of yield (SATTIN et al., 1992). The potential of *A. theophrasti* as a competing plant in following crops becomes clearer when considering the seeds produced. With a number of an average of 34 seeds per capsule and an average of 50 mature capsules per plant, a single plant can produce about 1,700 mature seeds.

In predicting crop yield loss it is crucial to understand the interactions between crop and volunteers. Therefore, this research was conducted to determine population dynamics and seed potential of *A. theophrasti* within two and three rotational crops (*Triticum aestivum*, *Sorghum bicolor*, *Zea mays*), respectively. Furthermore, the impact of *A. theophrasti* to yields of following rotational crops was determined.

Materials and Methods

Field trials

Field experiments were initiated in 2015 and 2016 on two sites at Bingen in southwest Germany (49°95'11''N, 7°92'71''E; 100 m altitude). The soils are both characterized as sandy loam with a pH varying between 6.4 and 6.7. Precipitation and average air temperature was 351 mm, 11.7 °C in 2015 and 560 mm, 11 °C in 2016, respectively (weather station Bingen-Gaulsheim (88 m altitude); (DLR-RNH, 2017)).

The experimental design on both sites in 2015 and 2016 was identical, respectively. The trials were a 2-year crop rotation systems including *Abutilon theophrasti* (ABUTH), *Camelina sativa* (CAM), *Sorghum bicolor* (SORVU), and *Triticum aestivum* (TRZAW). After cultivation of *A. theophrasti* in the first year of trial, either sorghum or winter wheat was cultivated. As a reference *Camelina sativa* was also cultivated before sorghum and winter wheat. In 2017, *Zea mays* (ZEAMA) were cultivated after winter wheat.

All trials were arranged as a randomised block design with 4 replicates. Plot size was 18 m² in the experiment started in 2015 and 24 m² in the experiment started in 2016. In 2016 mixed fertilizer was applied before sowing *A. theophrasti* (16.03.2016) at a rate of 100-100-50 (NPK) kg ha⁻¹. Due to high mineral nitrogen in the soil, no fertilizer was applied in 2015.

The seedbed was prepared by a rotary harrow before sowing.

The examined 'cultivar' of *A. theophrasti* comes from the company 'Herbiseed' in the UK (New Farm, Mire Lane, West End, Twyford, England RG10 0NJ) and was sown in the first year of trial with a single grain seeder (0.5 m row distance) on 20.03.2015 and an experimental drilling machine (inter-row spacing 0.15 m) on 11.04.2016 with a density of 50 seeds m⁻². *Camelina sativa* (cultivar Ligena) was sown with a density of 600 seeds m⁻² on 19.03.2015 and on 17.03.2016, respectively.

For weed control in *A. theophrasti* a combination of metamitron (700 g kg⁻¹) and ethofumesate (151 g l⁻¹) + phenmedipham (75 g l⁻¹) + desmedipham (25 g l⁻¹) at rate of 1 l ha⁻¹ each (200 l ha⁻¹ water) was applied up to 3 times during April and May. In plots of camelina napropamid (450 g l⁻¹) was applied preemergence at a rate of 2 l ha⁻¹. Surviving weeds were removed by hand.

A. theophrasti was harvested with an experimental harvester. The upper third of *A. theophrasti* which contains most of the capsules was harvested on 28.09.2015 and 29.09.2016. The rest of the plants were mulched. *Camelina sativa* was also harvested with an experimental harvester on 10.07.2015 and 26.07.2016, respectively.

In subsequent year, sorghum was sown after seedbed was prepared by rotary harrow on 09.05.2016 and 05.05.2017 with an experimental drilling machine (density 35 seeds m⁻²; cultivar Iggloo). Winter wheat was sown on 05.10.2015 and 12.10.2016 (320 seeds m⁻²; cultivar JB Asano/Julius), respectively.

Before sowing of sorghum glyphosate (360 g l⁻¹) at a rate of 3 l ha⁻¹ was used to prevent germinated weed. For weed control during vegetation period of *Sorghum bicolor* bromoxynil (200 g l⁻¹) and terbuthylazine (300 g l⁻¹) at rate of 1.5 and 3 l ha⁻¹ (01.06.2016, 22.06.2016) was used. In winter wheat fluroxypyr (200 g l⁻¹) at rate of 0.9 l ha⁻¹ and 2,4-D (500 g l⁻¹) at a rate of 1.5 l ha⁻¹ (21.04.2016) and 2017 pyroxsulam (68.3 g kg⁻¹) + florasulam (22.8 g kg⁻¹) at rate of 240 g ha⁻¹ were used.

Sorghum and winter wheat were harvested with an experimental harvester in July (27.07.2016, 18.07.2017) and September (29.09.2016, 25.09. 2017), respectively.

In 2017 maize was cultivated on the experimental fields after winter wheat (experiment 2015). Seedbed was prepared by a rotary harrow and sown on 18.04.2017. For weed control mesotrione (100 g l⁻¹) at a rate of 1.5 l ha⁻¹ was used two times (22.05.2017, 08.06.2017).

Soil samples and dynamics of germination

The first soil samples were taken after emergence of winter wheat (November 2015/2016) and repeated in spring-time (March 2016/2017) and following autumn (August and November 2016/September 2017). All soil samples were taken by an auger (Ø 2.2 cm) up to 30 cm to determine the amount of remaining seeds of *A. theophrasti* in the soil seed bank. Each plot was sampled 18 times. Seeds were separated from the soil by washing and sieving (3 sieves: mesh width 3.55 mm, 2 mm and 1.4 mm).

To determine the dynamic of germination all *A. theophrasti* plants (cotyledon stage) emerged per plot were determined. First data collection was carried out on 20.04.2016 and 29.03.2017. The number of emerged plants was counted every 3 weeks.

Statistical analysis

The statistical evaluation was carried out with R statistics (version 3.3.1 (2016-06-21)). Following the tests for normality and homogeneity of variances an analysis of variances (ANOVA) was conducted for crop yield. Differences were identified at $p \leq 0.05$. The significant differences between the treatments were calculated with Tukey HSD test ($\alpha = 0.05$) and differences were shown with different letters.

Results

Seed potential

After harvest of *A. theophrasti* the first soil samples were taken in November 2015. The soil seed bank in all plots was clearly above 10,000 seeds m⁻² (Fig. 1). The number of seeds in the soil has been reduced over the winter by 40% in plots cultivated with winter wheat and by 28% in plots not cultivated (sorghum sown in May). After one year (August/November 2016), the soil seed bank has already been reduced by 77% and 76%, respectively. So, after harvest of winter wheat there were still 2,960 seeds m⁻² in the soil (August 2016). Soil samples in November 2016 showed still 2,630 seeds m⁻² in plots of sorghum. After the plots were sampled once again in June, there were 2,448 seeds m⁻² in plots of sorghum and 2,265 seeds m⁻² in plots of winter wheat (Fig. 1). Therefore, 2 years after cultivation of *A. theophrasti* seed potential in the soil has reduced by 77 and 82%, respectively.

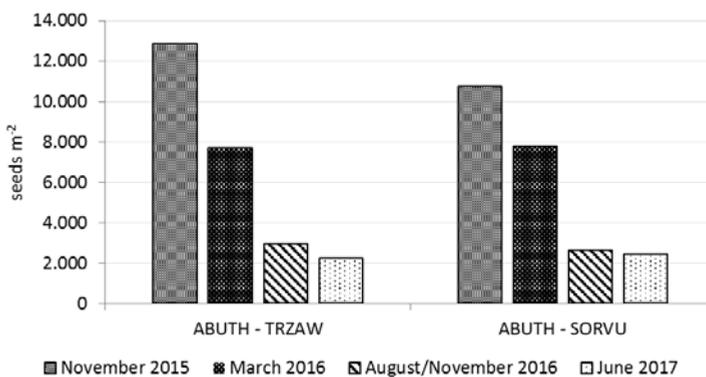


Fig. 1 Soil seed bank after harvest of *Abutilon theophrasti* (first trial start: 2015) over 2 years and 2 different rotational crops (*Triticum aestivum* = TRZAW; *Sorghum bicolor* = SORVU).

Abb. 1 Samenvorrat im Boden nach der Ernte von *Abutilon theophrasti* (erster Versuch, Start: 2015) über 2 Jahre in 2 verschiedenen Fruchtfolgekulturen (*Triticum aestivum* = TRZAW; *Sorghum bicolor* = SORVU).

Similar results are also shown for the experiment started in 2016. However, the soil seed bank after harvest of *A. theophrasti* in the first year was about 6,000 seeds m⁻² which is clearly smaller than soil seed bank in 2015 (cf. Fig. 1 and 2). So, the reduction of seeds over winter was lower - 28 and 13% (Fig. 2). In September 2017 soil seed bank was reduced by 50 and 67%, respectively. In plots of winter wheat were still 3,096 seeds m⁻², and in plots of sorghum 1,973 seeds m⁻² were present in the soil.

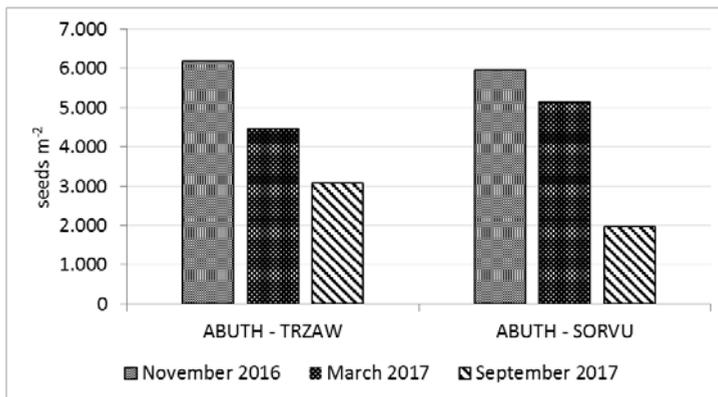


Fig. 2 Soil seed bank after harvest of *Abutilon theophrasti* (second trial start: 2016) over 1 year and 2 different rotational crops (*Triticum aestivum* = TRZAW; *Sorghum bicolor* = SORVU).

Abb. 2 Samenvorrat im Boden nach der Ernte von *Abutilon theophrasti* (zweiter Versuch, Start: 2016) über 1 Jahr in 2 verschiedenen Fruchtfolgekulturen (*Triticum aestivum* = TRZAW; *Sorghum bicolor* = SORVU).

Germination dynamic

While germination of *A. theophrasti* was low in spring 2016 in plots of winter wheat, in plots which were not cultivated over winter until sorghum was sown on 09.05.2016 a large number of *A. theophrasti* emerged (Fig. 3). The density of germinated *A. theophrasti* decreased with emergence and growth of sorghum. In plots of winter wheat, some *A. theophrasti* emerged once winter wheat matured. After winter wheat was harvested in July 2016 an increase of velvetleaf germination was observed, while the number of germinated *A. theophrasti* in sorghum decreased. During the following winter no viable *A. theophrasti* plants were observed. In 2017 maize was cultivated on the experimental field. Thus, *A. theophrasti* germinated in all plots until maize was sown (18.04.2017). In spring 2017 there were still 170 plants m⁻² in plots of sorghum and 235 plants m⁻² in plots of wheat. However, over the vegetation period of maize the density of germinated *A. theophrasti* decreased very quickly (Fig. 3).

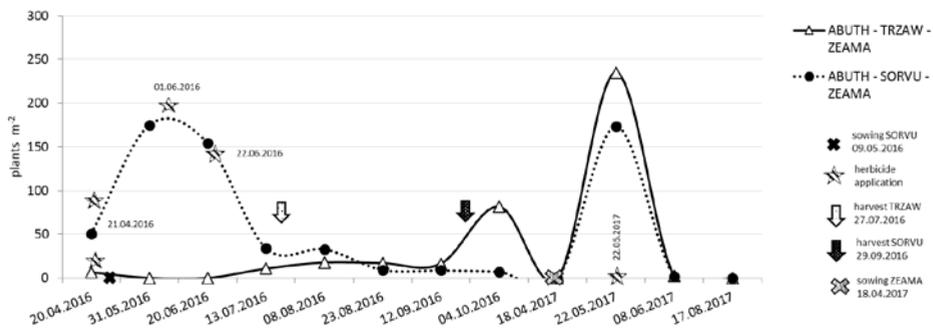


Fig. 3 Germination dynamics of *Abutilon theophrasti* in 3 different rotational crops (*Triticum aestivum* = TRZAW; *Sorghum bicolor* = SORVU; *Zea mays* = ZEAMA) over a period of 2 years (experiment started in 2015).

Abb. 3 Auflaufdynamik von *Abutilon theophrasti* in 3 verschiedenen Fruchtfolgekulturen (*Triticum aestivum* = TRZAW; *Sorghum bicolor* = SORVU; *Zea mays* = ZEAMA) über 2 Jahre (Versuchsbeginn 2015).

Similar to the findings of the first experiment, the second experiment (started in 2016) showed that a large proportion of the seeds were found in spring 2017 in the plots cultivated with sorghum (Fig. 4). The growth of sorghum reduced the number of emergent *A. theophrasti* plants.

In plots cultivated with wheat most of the plants did not grow until wheat was harvested. After harvest, about 95 seeds m⁻² germinated (18.07.-09.08.2017) in plots of winter wheat stubbles. In September 2017 there were still 55 plants m⁻² in these plots while plots of sorghum showed only 3 plants m⁻² (Fig. 4).

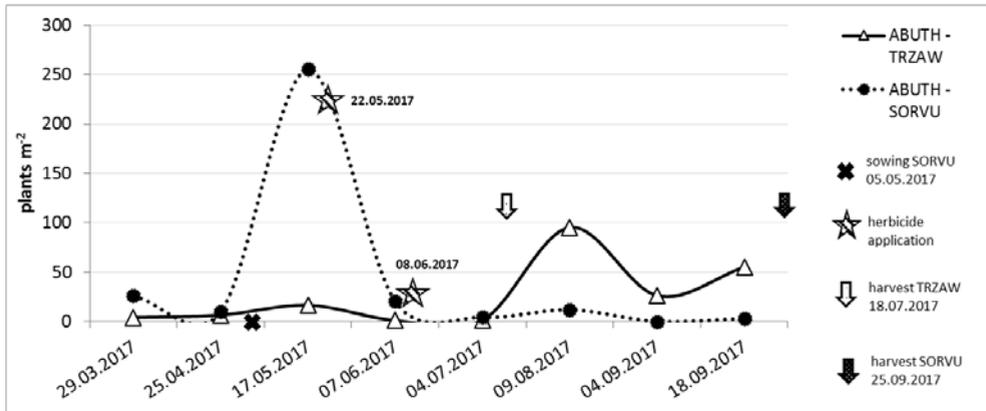


Fig. 4 Germination dynamics of *Abutilon theophrasti* in 2 different rotational crops (*Triticum aestivum* = TRZAW; *Sorghum bicolor* = SORVU) over a period of 1 year (experiment started 2016).

Abb. 4 Auflaufdynamik von *Abutilon theophrasti* in 2 verschiedenen Fruchtfolgekulturen (*Triticum aestivum* = TRZAW; *Sorghum bicolor* = SORVU) über 1 Jahr (Versuchsbeginn 2016).

Crop yield

The yield of sorghum showed no statistical significant differences between the different pre-crops (CAM or ABUTH) within a year (Fig. 5). In 2016 yield of sorghum after *Camelina sativa* was about 7 t ha⁻¹ while the yield after *A. theophrasti* was slightly lower (6.1 t ha⁻¹). In 2017, the yield after *A. theophrasti* was also slightly lower.

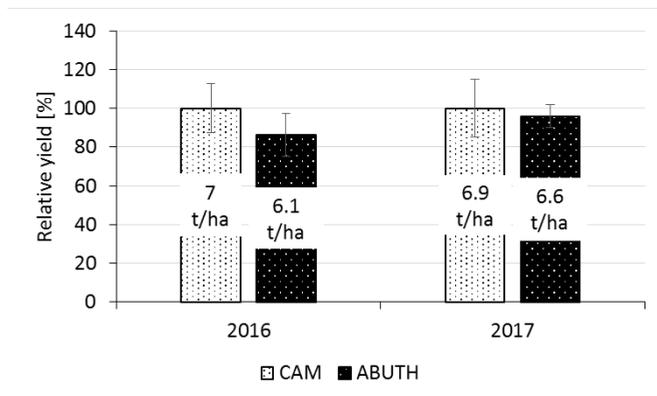


Fig. 5 Relative yield of *Sorghum bicolor* from 2 trial years, cultivated after *Abutilon theophrasti* (ABUTH) and *Camelina sativa* (CAM), respectively (100% sorghum grain yield after pre-crop *Camelina sativa*).

Abb. 5 Relative Kornrerträge aus 2 Versuchsjahren von Sorghum, angebaut nach *Abutilon theophrasti* (ABUTH) bzw. *Camelina sativa* (CAM) (jeweils in Bezug auf den Ertrag von Sorghum nach der Vorfrucht *Camelina sativa*).

The yield of winter wheat also showed no significant differences between *Camelina sativa* and *A. theophrasti* as a pre-crop in 2016 (Fig. 6). Other results were shown in 2017 where the yield of

wheat after *A. theophrasti* was significantly higher by 24% (5.9 t ha⁻¹) than the yield of wheat after *Camelina sativa* (4.7 t ha⁻¹).

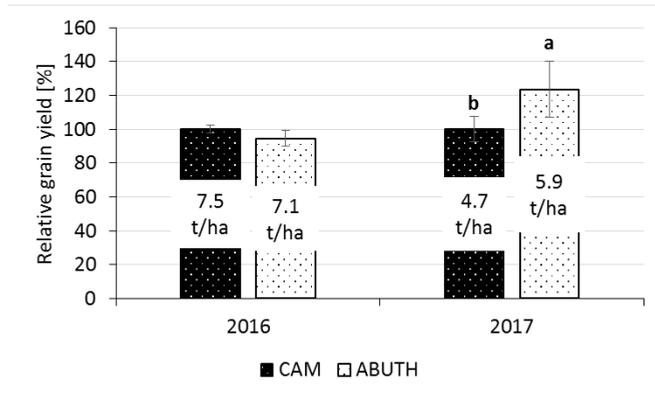


Fig. 6 Relative grain yield of winter wheat from 2 trial years, cultivated after *Abutilon theophrasti* (ABUTH) and *Camelina sativa* (CAM), respectively (100% sorghum grain yield after pre-crop *Camelina sativa*); different letters within each year indicate significant differences among treatment means according to Tukey HSD test ($p < 0.05$).

Abb. 6 Relative Weizenträge aus 2 Versuchsjahren, angebaut nach *Abutilon theophrasti* bzw. *Camelina sativa* (CAM) (jeweils in Bezug auf den Ertrag von Sorghum nach der Vorfrucht *Camelina sativa*); unterschiedliche Buchstaben innerhalb eines Jahres zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Varianten nach Tukey HSD ($p < 0,05$).

Discussion

The number of *Abutilon theophrasti* seeds in the soil showed the potential of *A. theophrasti* as a competing plant in following crops. Despite the fact that in 2016 there were only half as many seeds in the soil as 2015, there are still 6,000 seeds m⁻². The lower seed intake in 2016 after harvesting *A. theophrasti* could be due to various weather conditions during the vegetation period. In 2015 precipitation was very low, so all capsules were dry and had been matured before harvest. Due to a higher water supply in 2016, the maturation of the capsules within a plant was very inhomogeneous.

Soil seed bank was reduced over 2 years. The reduction of seeds in soil may have 3 reasons. On the one hand the activity of predators plays a role, but also physiological aging and exhaustion of reserves through respiration can cause the reduction of seeds in the soil. The most frequent cause, however, is the germination of seeds at depth in the soil or germination at unfavourable times of the year (for example winter months) (MOHLER, 2001). And it is also reduced by germination during the vegetation period of the subsequent crop. Cause of coverage in plots of winter wheat *A. theophrasti* volunteers first appeared with maturing of winter wheat when more light at the soil surface stimulated *A. theophrasti* seeds to germinate. In plots of sorghum most of the *A. theophrasti* seeds germinated in spring because sorghum was sown in May. And even after harvest of winter wheat or sorghum *A. theophrasti* germinated. Therefore *A. theophrasti* could be controlled best by appropriate tillage.

Since volunteers often lead to problems in following crops, which are often associated with yield loss, crop yield was also an important parameter in these experiments. In plots of *Camelina sativa* no volunteers showed up, so yield should not be affected. Germination of *A. theophrasti* was high during May till June in plots of sorghum. But further development and further germination of *A. theophrasti* could be prevented by herbicide applications. Therefore yields of sorghum after *Camelina sativa* or *A. theophrasti* do not differ widely. As the dynamics of germination of *A. theophrasti* in winter wheat showed, there are hardly volunteers during vegetation period of

winter wheat. Therefore there are also no differences in yield between different pre-crops in 2016. The lower yield of winter wheat in 2017 in plots of *Camelina sativa* cannot be explained. However, previous results for sorghum and winter wheat showed that velvetleaf could be controlled and does not cause yield losses. The herbicide applications especially in sorghum showed good effects. On the one hand herbicide applications were intended to prevent germinated plants from growing further. On the other hand this guaranteed that no new seed entry takes place and only newly germinated plants are counted (for the evaluation of the germination dynamics).

If *A. theophrasti* could not be controlled by herbicides or tillage the remaining seed bank in the soil could become a problem. HARTZLER (1996) investigated the population dynamics of *A. theophrasti* in soybean (*Glycine max*). He showed that within 1 year the population of 0.4 plants m⁻² of *A. theophrasti* can result in emergence of 145 plants m⁻² in the following year. And after 4 years still 35 plants m⁻² emerged. Therefore, an increase in *A. theophrasti* density could result in increased weed management and much more seeds remaining in the soil.

Consequently, further experiments with different cropping systems over a longer period of time and further investigations on seed production of velvetleaf have to follow, before *A. theophrasti* can be integrated as fibre plant into European crop rotations.

References

- COLTON, C.E. and F.A. EINHELLIG, 1980: Allelopathic mechanisms of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic., Malvaceae) on soybean. *American Journal of Botany* **67** (10), 1407–1413.
- DIEPENBROCK, W., J. LÉON and F. ELLMER, 2016: Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Grundwissen Bachelor, Ulmer.
- DLR-RNH, 2017: Climate data. Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Germany.
- EGLEY, G.H. and J.M. CHANDLER, 1978: Germination and viability of weed seeds after 2.5 years in a 50-year buried seed study. *Weed Science* **26** (3), 230–239.
- HARTZLER, R.G., 1996: Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) population dynamics following a single year's seed rain. *Weed Technology* **10**, 581–586.
- KAZINCZI, G., I. BERES and S.S. NARWALL, 2001: Allelopathic plants. 3. Velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.). *Allelopathy Journal* **8** (2), 179–188.
- LI, H.L., 1970: The origin of cultivated plants in Southeast Asia. *Economic Botany* **24**, 3–19.
- MEINLSCHMIDT, E., 2005: Monitoring of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) on arable land in Saxony, Germany, in the years 2000–2003. *BCPC Symposium Proceedings* **81** (Plant Protection and Plant Health in Europe: Introduction and Spread of Invasive Species), 257–258.
- MITICH, L.W., 1991: Velvetleaf. *Weed Technology* **5** (1), 253–255.
- MOHANTY, A.K., M. MISRA and L.T. DRZAL, 2002: Sustainable bio-composites from renewable resources. Opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and Environment* **10** (1/2), 19–26.
- MOHLER, C.L., 2001: Weed life history: identifying vulnerabilities. In: M. Liebmann, C. L. Mohler, C. P. Staver (Hrsg.): *Ecological Management of Agricultural Weeds*. Cambridge, U.K., Cambridge University Press, 545 S., 40–98.
- NABI SAHEB, D. and J.P. JOG, 1999: Natural fiber polymer composites. A review. *Advances in Polymer Technology* **18** (4), 351–363.
- SATTIN, M., G. ZANIN and A. BERTI, 1992: Case History for Weed Competition/Population Ecology. Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in Corn (*Zea mays*). *Weed Technology* **6** (1), 213–219.
- SPENCER, N.R., 1984: Velvetleaf, *Abutilon theophrasti* (malvaceae), history and economic impact in the United States. *Economic Botany* **38**, 407–416.
- WARWICK, S.I. and L.D. BLACK, 1988: The Biology of Canadian Weeds. 90. *Abutilon theophrasti*. *Canadian Journal of Plant Science* **68**, 1069–1085.

Echinochloa kompensiert Keimlingsverluste durch erhöhte Biomasseproduktion

Echinochloa compensates seedling losses by increased biomass production

Christian Selig*, Friederike de Mol, Bärbel Gerowitt

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

*Korrespondierender Autor, christian.selig@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.063



Zusammenfassung

Im Maisanbau ist die Hühnerhirse *Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv. ein weit verbreitetes Ungras. Herbizidbehandlungen im Keimlingsstadium sind eine übliche Strategie des Unkrautmanagements. In der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob i) *E. crus-galli* Variationen der Pflanzendichte über eine höhere Biomasse der Einzelpflanze ausgleichen kann, ii) welchen Einfluss frühe und späte Auflaufzeiträume auf die Biomasseentwicklung der Pflanzen haben, iii) welchen Einfluss Samenprädatoren auf die produzierte Biomasse haben.

Im Sommer 2014 wurden Samen der Hühnerhirse in vier Dichtestufen auf drei Maisfeldern ausgesät. Die Hälfte der Versuchspartellen wurde mit Plastikrahmen vor Samenprädatoren geschützt. In der Vegetationsperiode 2015 sind keimende Hirsen nach Auflaufzeitraum markiert worden. Im Herbst 2015 lagen sechs Kohorten vor. Samenbildende Pflanzen dieser Kohorten wurden geerntet und die durchschnittliche Biomasse pro Pflanze bestimmt.

Weniger Pflanzen führten kaum zu einer Verringerung der Biomasse pro Fläche. Mit einem linearen gemischten Modell wurde gezeigt, dass niedrige Pflanzendichten durch eine erhöhte Biomasse der Einzelpflanze ausgeglichen wurden. Höhere Aussaatdichten und späte Auflaufzeiträume verringerten die maximal erreichbare Biomasse pro Einzelpflanze, veränderten aber nicht den unterkompensierenden Verlauf der Biomasse in Bezug zur Pflanzendichte. Der Verlust von Samen durch samenfressende Tiere führte zu einer leichten Erhöhung der Biomasse der Einzelpflanzen.

Die Ergebnisse sprechen für ein arttypisches Muster, dass in Managementstrategien beachtet werden sollte.

Stichwörter: Dichteabhängigkeit, Hühnerhirse, Keimsaison, Populationsdynamik, Samenprädatoren

Abstract

Echinochloa crus-galli (L.) P. Beauv. (barnyardgrass) is a widespread weed in maize cultivation. Herbicide application at seedling stage is a common weed management practice. The aims of this study are: i) can *E. crus-galli* compensate variations in plant density by increased per plant biomass, ii) the influence of early and late emergence on biomass of plants and iii) the influence of seed predators on plant biomass.

In summer 2014 seeds of barnyardgrass were seeded in four densities in maize fields. Half of the plots were protected from seed predators by plastic frames. In 2015 emerging seedlings were marked in accordance to their germination period. That leads to six cohorts in autumn 2015. Seed producing plants of these cohorts were harvested and mean biomass per plant was estimated.

Lower plant numbers had a minor impact on biomass per area. A linear mixed model indicated that low plant densities were compensated by higher biomass per plant. High seed densities and late germination periods reduced the maximum biomass per plant but did not alter the undercompensating trend in biomass per plant density. Loss of seeds by seed predators led to small increases in plant biomass.

Results indicate the existence of a species specific pattern that needs to be integrated into weed management strategies.

Keywords: Barnyard grass, density dependence, germination periods, population dynamics, seed predation

Einleitung

Die Gemeine Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.) ist ein weltweit verbreitetes Ungras (MAUN und BARRETT, 1986). In Deutschland ist sie besonders im Maisanbau verbreitet, wo sie auf etwa der Hälfte aller Felder vorkommt (DE MOL et al., 2015). Als Sommerannuelle durchläuft sie ihren Lebenszyklus in Mittel- und Nordeuropa parallel zum Mais. Dabei kann sie über einen langen Zeitraum des Maiswachstums keimen und erfolgreich Samen bilden (TRAVLOS et al., 2011).

Insbesondere frühe Auflaufzeiträume führen dabei zu hohen Biomassen (TRAVLOS et al., 2011), die mit hohem Konkurrenzdruck auf die Kultur verbunden sind. Hühnerhirse wird immer häufiger zu einem Problem im Unkrautmanagement, insbesondere durch auftretende Herbizidresistenzen (BAJWA et al., 2015).

Generell gilt, dass die Dichte eines Pflanzenbestandes erheblichen Einfluss auf das Wachstum seiner Individuen hat (KIRA et al., 1953). Die Biomasse der Einzelpflanze ist ein häufig genutzter Parameter zur Darstellung von Ertrags-Dichte-Reaktionen (KIRA et al., 1953; HARPER, 1977; WATKINSON, 1980). Pflanzenbestände reagieren in der Regel mit einer Reduktion der individuellen Pflanzenmasse auf eine Erhöhung der Pflanzendichte (dichteabhängige Biomassereduktion), sobald Konkurrenz eintritt. Wie stark die Einzelpflanzenbiomasse bei hoher Dichte reduziert wird, ist art- und populationspezifisch. Die Hühnerhirse zeigt hierbei eine hohe phänotypische Plastizität (NORRIS (1992).

Für den Ackerbau stellt sich die Frage, ob Hühnerhirseverunkrautung mit geringen Dichten zu niedriger Hühnerhirsenbiomasse auf der Fläche führt, oder ob geringe Dichten durch erhöhte Biomasseproduktion der Einzelpflanzen kompensiert werden, so dass die Konkurrenz gegenüber der Kultur erhalten bleibt. Dabei können niedrige Pflanzendichten sowohl durch ein geringes Vorkommen in der Samenbank wie auch durch Samenprädation verursacht sein. Samenprädatoren wie Käfer und Mäuse können einen erheblichen Anteil Samen im Feld fressen und damit der Population entziehen (WESTERMAN et al., 2003).

Um die Auswirkungen der Ausgangssamendichte, der Samenverluste durch Samenfresser und des Auflaufzeitraums der Hühnerhirse auf ihre Biomasseakkumulation zu ermitteln, wurden in Nordostdeutschland auf drei Maisfeldern identische Feldversuche angelegt. Wir untersuchten die Biomasse der Population und der Einzelpflanzen. Insbesondere fragten wir nach der Kompensationsfähigkeit der Hühnerhirse durch Biomasseproduktion.

Material und Methoden

Der Versuch wurde auf drei Feldern in Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt. Alle Felder wurden seit mindestens drei Jahren mit einer Mais Selbstfolge ohne wendende Bodenbearbeitung bewirtschaftet. Die vorherrschenden Bodenarten waren Sand, lehmiger Sand und sandiger Lehm. In jedem Feld wurden sechs Blöcke von 10 x 13,5 m mit je 12 Versuchspartzen (1,5 x 1,5 m) angelegt. Die Hälfte der Partzen wurde durch 60 cm hohe Plastikrahmen vor dem Eindringen von samenfressenden Organismen (Samenprädatoren) geschützt. Im August 2014 wurden Samen der Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.) randomisiert in vier Aussaatdichten (300, 600, 1200 und 2400 Samen m⁻²) in den Partzen ausgebracht. Die Dichtestufen simulierten unterschiedliches Vorkommen in der Bodensamenbank. Jeweils zwei Partzen mit und ohne Plastikrahmen pro Block dienten als Kontrollen. Proben der Bodensamenbank vor dem Start des Versuchs zeigten keine bzw. sehr geringe Mengen von Hühnerhirsesamen in der Samenbank. Die Plastikrahmen wurden lediglich zur Maisaussaat für wenige Tage aus den Blöcken entfernt. Herbizidbehandlungen im Frühjahr und Sommer 2015 hatten durch die Wahl des Anwendungszeitpunkts oder des Wirkstoffes keinen Einfluss auf die Hühnerhirse. Der Mais wurde im Mai 2015 ohne zusätzliche Bodenbearbeitung gelegt. Anbaumaßnahmen im Mais wurden ortsüblich durchgeführt.

Ab Auflaufbeginn der Hühnerhirse wurden alle zwei Wochen neue Keimlinge im Kernbereich der Partzen (0,25 m²) gezählt und mit einem farbigen Zahnstocher markiert. Insgesamt wurden die Keimlinge so in sechs unterschiedlichen Kohorten zusammengefasst. Kohorte 1 wurde am 6. Mai, Kohorte 2 nach der Maisaussaat am 19. Mai erstmalig aufgenommen. Danach folgen Kohorte 3 und 4 jeweils im vierwöchigen Abstand. Kohorte 5 wurde Ende August das erste Mal gezählt, und in Kohorte 6 sind die Pflanzen zusammengefasst, die zur Ernte keiner Kohorte mehr zugeordnet werden konnten. Mitte September wurde auf allen drei Feldern die Hühnerhirse geerntet. Es wurden nur Pflanzen geerntet, die bereits Samen gebildet hatten. Dabei wurden die oberirdischen Pflanzenteile im Ganzen geerntet und nach Kohorten sortiert. Das Material wurde anschließend

bei 60°C getrocknet und die durchschnittliche Biomasse pro Pflanze ohne Infloreszenzen bestimmt.

Der Einfluss der Dichte der Hühnerhirsepflanzen auf die Biomasse pro Pflanze zum Zeitpunkt der Ernte wurde mit einem gemischten linearen Modell beschrieben. Dabei waren Pflanzendichten und Biomassen log-transformiert. Als Kovariablen wurden der Zeitraum des Aufbaus (Kohorten 1 bis 6), die Aussaatdichte der Hirsen in vier Stufen (300, 600, 1200 und 2400 Samen m⁻²), und der Ausschluss von Samenprädatoren (mit bzw. ohne Rahmen) genutzt. Die Felder und die Parzellen im Feld wurden als Zufallsfaktoren betrachtet.

Für die statistischen Auswertungen wurde die Software R mit den Zusatzpaketen lme4 und lmerTest eingesetzt (R CORE TEAM, 2017).

Ergebnisse

Die Kohorten 2, 3 und 4 haben den größten Beitrag zur Biomasse und Anzahl Pflanzen pro Fläche geleistet (Abb. 1).

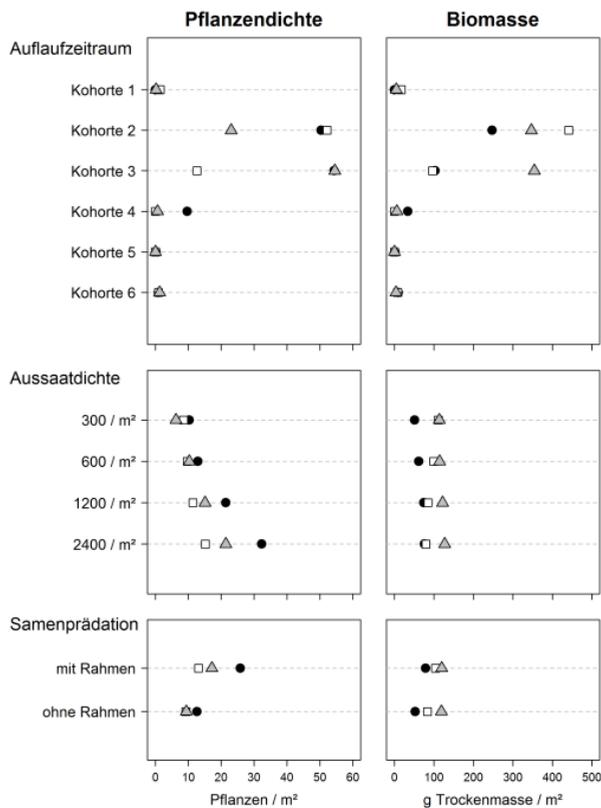


Abb. 1 Hühnerhirsendichte und -trockenmasse für die einzelnen Kohorten (1 – 6), die Aussaatdichten (300 – 2400 Samen / m²) und die Varianten der Samenpräädation (mit bzw. ohne Rahmen). Die Symbole zeigen die Mittelwerte für die drei Felder.

Fig. 1 Density and biomass of barnyardgrass for the different seedling cohorts (1 – 6), the initial seed densities (300 – 2400 seeds / m²) and the seed predation treatment (with and without frame). The symbols show the mean values for each field.

Insgesamt steigt mit höherer Aussaatdichte die Anzahl Pflanzen zum Erntezeitpunkt pro Fläche. Die Biomasse pro Fläche verändert sich jedoch kaum. Der Ausschluss von Prädatoren durch die

Rahmen erhöhte die Pflanzendichte deutlich, während die Biomasse ohne Prädatorzugang nur wenig anstieg.

Die Ergebnisse des Modells zeigen den Effekt der drei Kovariablen Kohorte, Aussaatdichte und Samenprädation auf die Biomasse pro Pflanze (Tab. 1). Die ANOVA zeigt einen hochsignifikanten Einfluss der Pflanzendichte zur Erntezeit, der Kohorten und der Aussaatdichten auf die Einzelpflanzenbiomasse und einen signifikanten Einfluss des Prädatorzugangs (Tab. 1). Je früher die Pflanzen auflieden, umso höher war die maximale Biomasse pro Pflanze zum Erntezeitpunkt. Mehr Pflanzen durch höhere Aussaatdichten verringerten die Biomasse pro Pflanze. In der Variante mit freiem Zugang der Samenprädatoren (ohne Rahmen), war die maximale Biomasse pro Pflanze höher als in der Variante ohne Samenprädation.

Tab. 1 Einfluss von Hühnerhirsendichte zur Biomassenernte, von Kohorten, Prädatorzugang und Aussaatdichte auf die Biomasse von Hühnerhirs-Einzelpflanzen (log-transformiert) auf drei Feldern. Schätzwerte (Standardfehler) eines Linearen Gemischten Modells mit p-Werten der F-, t- und χ^2 -Statistik. Der Intercept bezieht sich auf Kohorte 1 unter Prädatorenausschluss bei einer Aussaatdichte von 300 Hühnerhirsensamen / m².

Tab. 1 Influence of *Echinochloa crus-galli* density at the time of harvest, of cohorts, predator access and seed densities on biomass of individual *Echinochloa crus-galli* plants (log-transformed) on three fields. Estimates (standard errors) of a linear mixed model with p-values of the F-, t- and χ^2 -statistic. The intercept refers to cohort 1 without predator access at a seeding density of 300 barnyardgrass seeds / m².

Fixe Effekte	p(F)	Faktorstufe	Schätzwert (SE)	p(t)
		Intercept	3,80 (0,27)	5,55e-04 ***
Log(Pflanzen/m ²)	< 2,2e-16 ***	Log(Pflanzen/m ²)	-0,55 (0,03)	< 2,2e-16 ***
Kohorte	< 2,2e-16 ***	Kohorte 2	0,60 (0,12)	2,32e-06 ***
		Kohorte 3	-0,20 (0,12)	1,14e-01
		Kohorte 4	-0,52 (0,13)	9,84e-05 ***
		Kohorte 5	0,11 (0,29)	7,04e-01
		Kohorte 6	-0,25 (0,14)	7,73e-02
Prädatorzugang	3,20e-02*	mit Prädatoren	0,09 (0,04)	2,85e-02 *
Aussaatdichte	1,30e-09 ***	600 Samen /m ²	-0,11 (0,06)	6,43e-02
		1200 Samen /m ²	-0,21 (0,06)	3,87e-04 ***
		2400 Samen /m ²	-0,40 (0,06)	1,53e-10 ***
Zufallseffekte	p(χ^2)			
Feld	8e-08***			
Parzelle im Feld	2e-02*			

Diese Zusammenhänge waren konstant über die beobachteten Pflanzendichten (Abb. 2a). Abbildung 2b zeigt die Biomasse pro Flächeneinheit, die sich aus der Dichte multipliziert mit der Einzelpflanzenbiomasse ergibt. Kohorte 2 zeigte hier die höchsten Biomassen pro Fläche durch das höchste Einzelpflanzengewicht (Abb. 2a). Die negativen Effekte hoher Aussaatdichten und eines späten Auflaufzeitraums auf die Biomasse werden hier deutlich. Es wurde eine unterkompensierende Dichteabhängigkeit zwischen der Anzahl Pflanzen zum Erntezeitpunkt und der Biomasse pro Pflanze gefunden. Eine Veränderung der Pflanzendichte führte daher nur zu einer geringen Veränderung der Biomasse (Abb. 2b).

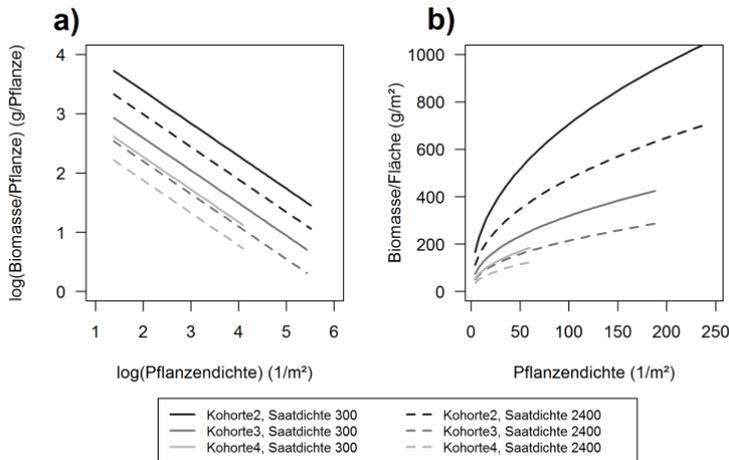


Abb. 2 Geschätzte Biomasse in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Modellparameter siehe Tab. 1). Dargestellt sind die Kohorten mit der höchsten Biomasse (2, 3 und 4) in der niedrigsten (300 Samen / m²) und höchsten (2400 Samen / m²) Aussaatdichte, mit Prädatorenzugang. a) Biomasse der Einzelpflanze. Die Steigung der Geraden entspricht dem Schätzwert der Pflanzen in Tab. 1. b) Biomasse pro Fläche (rücktransformierte Werte). Kurven nur im Bereich gezählter Pflanzendichten (keine Extrapolation).

Fig. 2 Estimation of biomass plotted against plant density (model parameter from Tab. 1). Shown are the cohorts with the highest biomass (2, 3 and 4) in the lowest (300 seeds / m²) and highest (2400 seeds / m²) density, with seed predator access. a) Biomass of the single plant. The slope of the graph is the estimate of plants in Tab. 1. b) Biomass per area (back transformed values). Graphs represent only the range of the observed plant densities (no extrapolation).

Diskussion

Von Ende Mai bis Anfang Juni sowie von Mitte Juni bis Ende Juni keimte der Großteil der gefundenen Pflanzen. Diese Pflanzen hatten zum Erntezeitpunkt auch die meiste Biomasse gebildet. Der Zeitraum Mai und Juni hatte damit eine besondere Bedeutung für das Unkrautmanagement. Allerdings zeigten sich sowohl bei der Pflanzendichte als auch bei der Biomasse feldspezifische Unterschiede und sowohl in der Hauptkeimzeit als auch in der Anzahl Pflanzen pro Auflaufwellen. Das bedeutet, dass auch innerhalb der relativ kleinen Region Nordostdeutschlands keine generellen Bekämpfungsempfehlungen gegeben werden können, sondern dass das Erscheinen der Hühnerhirse beobachtet werden muss, um sinnvolle Bekämpfungsentscheidungen zu treffen.

Dass die Biomasse im Vergleich zur Pflanzendichte für verschiedene Aussaatdichten und unterschiedlichen Prädatorenzugang ähnlicher war, zeigt die Kompensationsmöglichkeit der Hühnerhirse. Im Modell wird die Kompensation der Pflanzendichten durch Biomasse durch den Schätzwert für die Variable Log(Pflanzen/m²) in Zahlen ausgedrückt. Würde die Gesamtbiomasse pro Fläche unabhängig von der Pflanzendichte sein, die Biomasse also die Dichte vollständig kompensieren, läge dieser Schätzwert bei -1. Ein unterkompensatorischer Effekt, wie hier ermittelt, bedeutet für das Unkrautmanagement, dass eine Reduktion der Dichten im Sinne einer Konkurrenzmindering für die Kultur sehr wohl erfolgreich ist – allerdings nicht in dem Maße, wie Hühnerhirsenpflanzen vernichtet werden.

Dass ein früher Auflaufzeitraum einen positiven Effekt auf die maximale Biomasse pro Pflanze von *E. crus-galli* hat, zeigten auch BARRETT und WILSON (1981). Ein früher Auflaufzeitraum ermöglicht der Pflanze einen Vorteil gegenüber anderen, später auflaufenden Pflanzen. Auf der Agrarfläche beinhaltet das auch die Konkurrenz zur Feldfrucht. Je später die Hirse keimt, umso weniger Biomasse bildet sie. Dieser Effekt zeigt sich auch bei hohen Aussaatdichten. Die Reduktion der

maximalen Biomasse zum Erntezeitpunkt in den Kohorten und den Aussaatdichten kann auf eine generelle Zunahme inter- und intraspezifischer Konkurrenz zurückgeführt werden, die zu einer Begrenzung der individuellen Biomasse führt (NORRIS et al., 2001). Eine hohe Startdichte von Hühnerhirsepflanzen im Frühjahr bringt daher nur eine geringfügige Steigerung der Biomasse pro Fläche. Da alle in die Auswertung einbezogenen Pflanzen Samen gebildet haben und damit ontogenetisch auf der selben Stufe waren, ist aber auch eine Verlagerung der Pflanzenentwicklung von der Biomasseakkumulation hin zu einer beschleunigten Blüten- bzw. Fruchtausbildung denkbar (SULTAN, 2000). Dies könnte sowohl für die Reaktion auf hohe Pflanzendichten, speziell aber für die unterschiedlichen Auflaufzeiträume gelten.

Der Ausschluss von Samenprädatoren durch die Plastikrahmen hat dazu geführt, dass innerhalb der Rahmen deutlich mehr Pflanzen vorhanden waren als in den Parzellen ohne Rahmen. Die Samenprädatoren haben demnach die Anzahl Samen in den offenen Parzellen reduziert. Durch verringerten Keimlingsaufwuchs hatten auch späte Kohorten geringere innerartliche Konkurrenz. Das Modell zeigt hier eine leicht erhöhte Biomasse pro Pflanze in der Variante ohne Rahmen. Wie in den unterschiedlichen Aussaatdichten wird auch hier die höhere Anzahl Pflanzen durch die Biomasse-Dichte-Reaktion ausgeglichen. Dadurch entsprechen die Biomassen pro Fläche einander in den beiden Varianten. Der Verlust von Samen und damit von Pflanzen durch Samenprädatoren hat somit auf die gebildete Biomasse pro m² kaum Einfluss.

Generell hatte der Auflaufzeitraum einen größeren Effekt auf die Biomasse der Einzelpflanzen als die Aussaatdichte. Die Länge des Vegetationszeitraums spielt damit trotz aller Plastizität der Art eine erhebliche Rolle in der Populationsentwicklung.

Der Zusammenhang zwischen Biomasse und der Menge gebildeter Samen wird in dieser Studie nicht erfasst. Die Frage drängt sich aber auf, da andere Studien auch einen Zusammenhang zwischen hoher vegetativer Masse und hoher reproduzierender Masse, also Samen, sehen (THOMPSON et al., 1991). Sollte ein solcher Zusammenhang für die Hühnerhirse bestehen, könnte es sein, dass wenige, früh auflaufende Individuen mehr Samen produzieren als viele spät keimende (BOSNIC und SWANTON, 1997; TRAVLOS et al., 2011).

Aus diesen Ergebnissen ergibt sich, dass Pflanzenverluste in der Population durch eine höhere Biomasse pro Pflanze nahezu ausgeglichen werden. In den getesteten Aussaatdichten, die in Anbetracht der Samenproduktion von *E. crus-galli* (VAN ACKER, 2009) eher gering erscheinen, zeigt sich eine hohe Plastizität der Einzelpflanzen. Eine nachhaltige Reduzierung der Biomasse muss daher einen Erfolg pro Pflanze erbringen. Eine Kontrollstrategie muss die Fähigkeit der Einzelpflanzen mindern, Individuenverluste in der Population auszugleichen. Dies gilt insbesondere für die zwei in diesem Experiment besonders individuenstarken und Biomasse bringenden Kohorten von Mitte Mai bis Ende Juni.

Danksagung

Das Projekt „Testing for the weed control potential of seed predators in agroecosystems“ WE 5040/2-1 wurde von der DFG gefördert. Großer Dank gilt Dr. Paula Westerman als Betreuerin und Heike Pannwitt als Kollegin in dem Projekt. Ebenso danken wir den beteiligten Landwirten für die Möglichkeit, auf ihren Feldern zu arbeiten. Schließlich bedanken wir uns bei den vielen Helfern, ohne die die umfangreichen Feldarbeiten nicht möglich gewesen wären.

Literatur

- BAJWA, A.A., K. JABRAN, M. SHAHID, H.H. ALI, B. CHAUHAN und S. EHSANULLAH, 2015: Eco-biology and management of *Echinochloa crus-galli*. *Crop Protection* **75**, 151–162.
- BARRETT, C. H. und B.F. WILSON, 1981: Colonizing ability in the *Echinochloa crus-galli* complex (barnyard grass). I. Variation in life history. *Canadian Journal of Botany* **59**, 1844–1860.
- BOSNIC, A.C. und C. J. SWANTON, 1997: Influence of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) time of emergence and density on corn (*Zea mays*). *Weed Science* **45** (2), 276–282.
- DE MOL, F., C. VON REDWITZ und B. GEROWITT, 2015: Weed species composition of maize fields in Germany is influenced by site and crop sequence. *Weed Research* **55**, 574–585.

HARPER: Population biology of plants. London. Academic Press, 892 S.

KIRA, T., H. OGAWA und N. SAKAZAKI, 1953: Intraspecific competition among higher plants. I. Competition-yield-density interrelationship in regularly dispersed populations. Journal of the Institute of Polytechnics **D4**, 1–16.

MAUN, M. A. und S. C. H. BARRETT, 1986: The biology of canadian weeds: 77. *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. Canadian Journal of Plant Science **66**, 739–759.

NORRIS, R.F., 1992: Relationship between inflorescence size and seed production in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). Weed Science **40** (1), 74–78.

NORRIS, R.F., C.L. ELMORE, M. REJMÁNEK und W.C. AKEY, 2001: Spatial arrangement, density, and competition between barnyardgrass and tomato. Weed Science **49** (1), 69–76.

R CORE TEAM, 2017: R: A Language and Environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SULTAN, S.E., 2000: Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. Trends in Plant Science **5** (12), 537–542.

THOMPSON, B.K., J. WEINER und S.I. WARWICK, 1991: Size-dependent reproductive output in agricultural weeds. Canadian Journal of Botany **69**, 442–446.

TRAVLOS, I.S., G. ECONOMOU und P.J. KANATAS, 2011: Corn and barnyardgrass competition as influenced by relative time of weed emergence and corn hybrid. Agronomy Journal **103** (1), 1–6.

VAN ACKER, R.C., 2009: Weed biology serves practical weed management. Weed Research **49**, 1–5.

WATKINSON, A.R., 1980: Density-dependence in single-species populations of plants. Journal of Theoretical Biology **83**, 345–357.

WESTERMAN, P.R., J.S. WES, M.J. KROFF und W. VAN DER WERF, 2003: Annual losses of weed seeds due to predation in organic cereal fields. Journal of Applied Ecology **40**, 824–836.

Erfassung und Management invasiver Neophyten auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zur Sicherung der Produktionsbedingungen

Monitoring and management of invasive neophytes on cropland to ensure productivity

Matthias Haase¹, Antje Birger², Jens Birger², Phillip Martini¹, Elke Schenke¹, Katrin Schneider³, Ulrike Sölter^{4*}, Florian Thürkow², Arnd Verschwele⁴



¹Landschaftspflegeverband "Grüne Umwelt" e. V., Am Anger 4a, 39171 Sülzetal/OT Schwaneberg

²UMGEODAT Umwelt- und GeodatenManagement GbR, Mansfelder Straße 56, 06108 Halle (Saale)

³Koordinationsstelle Invasive Neophyten in Schutzgebieten Sachsen-Anhalts beim UFU e.V., Große Klausstraße 11, 06108 Halle

⁴Julius Kühn-Institut, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

*Korrespondierende Autorin, ulrike.soelter@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.064

Zusammenfassung

Die Ausbreitung invasiver Neophyten auf landwirtschaftlichen Nutzflächen nimmt zu und gefährdet in Einzelfällen bereits die Produktivität. Ziel des Projektes ist die Bereitstellung von Handlungsempfehlungen für eine effektive Kontrolle von invasiven Neophyten in der Landwirtschaft. Dazu sollen für 9, landwirtschaftlich relevante, invasive Neophyten, Methoden und Algorithmen zur Erfassung mittels Fernerkundung entwickelt und erprobt werden. Gleichzeitig werden integrierte Verfahren zur Regulierung erarbeitet, getestet und abschließend in Handlungsempfehlungen zusammengefasst, um diese Arten auf Ackerflächen und Grünland im Rahmen der landwirtschaftlichen Nutzung zu kontrollieren. In einem interaktiven Web-Portal werden Informationen zu den untersuchten Arten sowie die Projektergebnisse während der Projektlaufzeit (2016-2019) zusammengeführt und den potenziellen Nutzern (z. B. Beratern und Landwirten) zur Verfügung gestellt.

Stichwörter: Bekämpfung, Fernerkundung, integrierte Verfahren, invasive Neophyten, Landwirtschaft

Abstract

The spread of invasive neophytes is increasingly threatening the productivity of agricultural areas. The aim of the project is to provide improved fundamentals for effective control of invasive neophytes on agricultural farmland. For this purpose, 9 invasive neophytes that are agriculturally relevant were selected, in order to develop methods and algorithms for the detection by remote sensing. At the same time, integrated agricultural methods for an effective control are elaborated and tested. The results are summarized in recommendations to control these species on farmland and grassland. In an interactive web portal, information about the species under investigation as well as the project results during the project time span (2016-2019) are brought together and made available to the potential users (for example consultants and farmers).

Keywords: Agricultural farmland, control measures, integrated pest management, invasive neophytes, remote sensing

Einleitung

Im Rahmen des Projektes werden Informationen zum Vorkommen landwirtschaftlich relevanter Neophyten (Tab.1) aus verschiedenen bundesländerspezifischen Erhebungen zusammengetragen. Anschließend werden Informationen zum Vorkommen mittels Auswertung von Fernerkundungsdaten abgeleitet, art-, nutzungs- und länderspezifische Handlungsempfehlungen für gezielte Kontroll- und Bekämpfungsmaßnahmen erarbeitet und eine Informationsplattform in Form eines Web-Portals entwickelt, die einerseits einen Austausch der Daten und Informationen für die beteiligten Akteure ermöglicht sowie andererseits für die Problematik sensibilisiert.

Zum Schutz der landwirtschaftlichen Flächen und zum Erhalt der Produktionsbedingungen werden Handlungsempfehlungen für den Umgang mit Neophyten erarbeitet. Durch eine Integration der Maßnahmen in reguläre Pflege- und Bewirtschaftungsabläufe einerseits und eine artspezifische, maßnahmen-übergreifende Herangehensweise andererseits ist ein nachhaltiges Neophytenmanagement realisierbar.

Zielsetzungen

Zu untersuchende Arten

Innerhalb des Projektes werden folgende Arten untersucht:

Tab. 1 Im Projekt zu untersuchende invasive Neophyten.

Tab. 1 Investigated invasive neophytes in the project.

Nr.	Botanischer Name	Deutscher Name
1	<i>Heracleum mantegazzianum</i>	Riesen-Bärenklau
2	<i>Fallopia bohemica</i> <i>Fallopia japonica</i> <i>Fallopia sachalinensis</i>	Bastard-Staudenknöterich Japanischer Staudenknöterich Sachalin-Staudenknöterich
3	<i>Bunias orientalis</i>	Orientalisches Zackenschötchen
4	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	Schmalblättrige Ölweide
5	<i>Acer negundo</i>	Eschen-Ahorn
6	<i>Echinops sphaerocephalus</i>	Drüsenblättrige Kugeldistel
7	<i>Datura stramonium</i>	Weißer Stechapfel
8	<i>Abutilon theophrasti</i>	Samtpappel
9	<i>Cyperus esculentus</i>	Erdmandelgras

Bei den im Projekt zu bearbeitenden Neophyten 1-5 sind Probleme in landwirtschaftlichen Kulturen bzw. auf Grünland dokumentiert (ANDERSEN and CALOV, 1996; ALBERTERNST, 1998; DULLAU und HARNACK, 2014). Die genannten Arten weisen eine starke Konkurrenzfähigkeit auf, in der Folge zeigen sich ein erhöhter Mehraufwand bei der Bewirtschaftung der Flächen, unter Umständen erhebliche Ertragseinbußen bzw. eine nachhaltige Qualitätsminderung der landwirtschaftlichen Nutzflächen. Bereits wenige Pflanzen je Hektar stellen wegen ihrer Invasivität eine große Gefahr für die Landwirtschaft dar. Aufgrund ihres Wachsverhaltens und ihrer Verbreitungsstrategie bilden diese Arten innerhalb kurzer Zeit Dominanzbestände und verdrängen Kultur- bzw. Zielarten auf der jeweiligen Fläche.

Die Arten 6-9 sollen im Projekt insbesondere aufgrund einzelner in Sachsen-Anhalt bekannter Problemfälle bearbeitet werden, um den flächenhaften Verbreitungsstatus zu recherchieren und frühzeitig eine Handlungsstrategie abzuleiten.

Alle in der oben stehenden Tabelle aufgeführten invasiven Neophyten mit landwirtschaftlicher Relevanz stehen aufgrund der zu erwartenden Ausbreitungstendenzen im Zusammenhang mit künftigen GAP-Programmen zur Extensivierung von Teilflächen im Rahmen des Greenings sowie wegen eingeschränkter Bekämpfungsmöglichkeiten auf Ökolandbauflächen im besonderen Fokus.

Fernerkundung

Im Rahmen des Projektes soll ein innovatives Werkzeug zur weitestgehend automatisierten Auswertung von Fernerkundungsdatensätzen entwickelt werden, das die detaillierte Erfassung der Verbreitung invasiver Neophyten auf landwirtschaftlichen Nutzflächen erlaubt.

Ausgehend von bekannten Vorkommen ausgewählter Neophyten, die als Trainingsflächen dienen (terrestrische Kartierung), soll die flächenhafte Verbreitung abgeleitet werden.

Dazu werden segmentbasierte Klassifikationsverfahren für die Auswertung von hochauflösenden Luft- und Satellitenbilddaten sowie bereits erfolgreich in der Landwirtschaft eingesetzte Multispektral- und NIR-Kameras zum Einsatz kommen.

Für die einzelnen Arbeitsschritte müssen stabile Verfahrensabläufe abgeleitet, auf großen Flächen verifiziert sowie Parameter ermittelt werden, die deutschlandweit anwendbar sind.

Während klassische terrestrische Kartiermethoden kleinräumig hoch exakte Daten liefern können, sind Analysen der großräumigen Verbreitung aus Zeit- und Kostengründen nur mit

Fernerkundungsdaten umzusetzen. Die Auswertung von Fernerkundungsdaten ist eine seit langem in der Biotopkartierung und Biodiversitätsforschung etablierte, effektive Methodik, die nach Eichung durch terrestrische Kartierungen einheitliche Daten von großen Gebieten zur Verfügung stellen kann. Die Detektion ausgewählter Pflanzenarten, auch krautiger Neophyten, mittels hyperspektraler Fernerkundungsdaten ist möglich und bereits aufgezeigt (LAWRENCE et al., 2006). Die Vielzahl eng beieinander liegender Aufnahmekanäle, welche die spektralen Informationen erfassen, erreicht dabei eine bessere Trennung.

Systematische Untersuchungen zur Eignung multisensoraler (unterschiedliche Sensoren) und -skalärer (unterschiedliche räumliche Auflösung) Fernerkundungsdatensätze für eine Detektion der auf landwirtschaftlichen Flächen vorkommenden Problemarten existieren bislang nicht.

Handlungsempfehlungen

Einen wichtigen Schwerpunkt der Arbeiten bilden die Handlungsempfehlungen, die Behörden, wie gleichermaßen Bewirtschaftern, auch unter Berücksichtigung vorhandener Schutzkategorien (z. B.: Natura 2000, Biosphärenreservate, Landschaftsschutzgebiete) zum Umgang mit invasiven Neophyten geben.

Je nach Art sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt verschiedene Informationen zu invasiven Neophyten verfügbar (kein einheitlicher Stand des Wissens). Im Rahmen der Projektarbeit werden für die betrachteten Arten deshalb bisherige Erkenntnisse zusammengefasst und die Möglichkeiten einer Bestandskontrolle/ Zurückdrängung in Bezug auf die Integration in typische landwirtschaftliche Produktionsabläufe untersucht. In diesem Zusammenhang werden auch neue Verfahrensweisen (integrierte, mechanische und thermische Verfahren) getestet und die besondere Relevanz für Flächen des Ökolandbaus und aktuellen Vorgaben der GAP berücksichtigt. Mehraufwand und Kosten werden in einer ökonomischen Gegenüberstellung der verschiedenen Verfahrensweisen ausgewiesen. In den Handlungsempfehlungen werden die teils landesspezifischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen der Bundesländer berücksichtigt. Im Ergebnis soll eine Handlungsmatrix entstehen, die ausgehend von den Ergebnissen der Detektion mit Hilfe von Fernerkundungsdaten und der Verschneidung der oben genannten Datensätze den erforderlichen Input für die Ableitung von spezifischen Bekämpfungsstrategien ermöglicht.

Die Handlungsempfehlungen werden den Akteuren über eine Informationsplattform (Web-Portal) zur Verfügung gestellt.

Web -Portal

Das im Rahmen des Projektes geplante Web-Portal wird als ein Informationssystem konzipiert, in dem die im Projekt entstehenden Daten verwaltet und für Interessenten aufbereitet werden.

Als Kernstück des Web-Portals soll der Geodaten-Viewer entwickelt werden.

In dem Web-Portal werden für die interessierten Akteure folgende Informationen bereitgestellt:

- Projektvorstellung
- Problematik von Neophyten auf landwirtschaftlichen Flächen
- Informationen zu Arten
- Maßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen
- Geodaten-Viewer zur Darstellung der Verbreitung der Arten und zur Visualisierung eigener Geodaten
- Downloadbereich

Das Web-Portal soll darüber hinaus auch die Meldung von Standorten der untersuchten invasiven Neophyten ermöglichen.

Zur Gewährleistung der Funktionalität des Web-Portals werden folgende Tools entwickelt (Abb. 1):

- Übergreifendes Content-Management-System (CMS) zur einfachen Verwaltung aller Portalbereiche im internen und externen Bereich.

Up- und Download-Portal für den projektbezogenen Austausch von (Geo-) Daten.
Interaktiver Geodaten-Viewer zur Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation
(EVAP-Modell) von Neophyten auf Landwirtschaftsflächen.

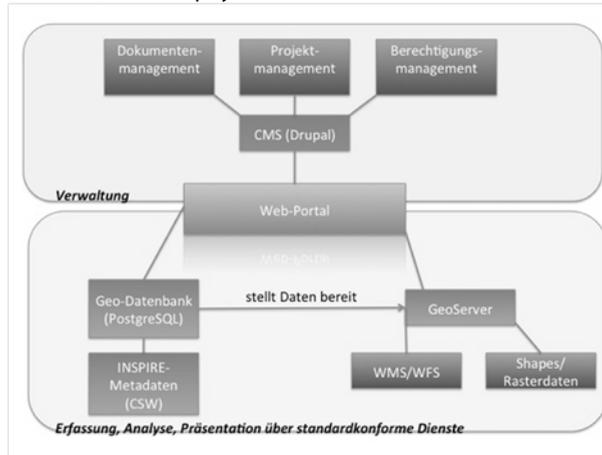


Abb. 1 Struktur des Web-Portals.

Fig. 1 Structure of the web portal.

Damit soll eine effiziente Strukturierung, Speicherung, Analyse und Präsentation der Geo- und Metainformationen im Sinne der Richtlinie 2007/2/EG, 2007 des Europäischen Parlaments einhergehen. Zur Gewährleistung der Interoperabilität der Daten sind internationale Standards der International Organization for Standardization (ISO) und des Open Geospatial Consortium (OGC) zu implementieren. Auf diesem Wege wird die gemeinsame Nutzung von Daten aus verschiedenen nationalen Geodateninfrastrukturen (GDI) und der Datenaustausch mit diesen erst möglich.

Anwender dieser modularen Web-Applikation sollen befähigt werden, eigene (Geo-) Informationen in das Portal einzustellen und mit den Projektergebnissen zu kombinieren.

Danksagung

Die Förderung des Projektes (FKZ: 790861) erfolgt aus Mitteln der Landwirtschaftlichen Rentenbank.

Literatur

- ANDERSEN, U.V. und B. CALOV, 1996: Long-term effects of sheep grazing on giant hogweed (*Heracleum mantegazzianum*). *Hydrobiologia* **340**, 277-284.
- ALBERTERNST, B., 1998: Biologie, Ökologie, Verbreitung und Kontrolle von Reynoutria-Sippen in Baden-Württemberg. – *Culterra* **23**, 198 S.
- DULLAU, S. und T. HARNACK, 2014: *Bunias orientalis* L. - ein Neophyt auf Wirtschaftsgrünland am Beispiel der Ganzjahresstandweide am Sperlingsberg bei Hainrode (Südharz) -Mitt. florist. Kart. Sachsen-Anhalt **19**, 25-35.
- LAWRENCE, R. L., D. W. WOOD und R. L. SHELEY, 2006: Mapping invasive plants using hyperspectral imagery and Breiman, Cutler classifications (RandomForest). *Remote Sensing of Environment* **100**, 356-362.
- RICHTLINIE 2007/2/EG, 2007:
http://www.bmbw.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/richtlinie_inspire.pdf

Keimung, Auflaufen und Pyrrolizidinalkaloid-Gehalte von Gemeinem Kreuzkraut (*Senecio vulgaris*)

Germination, emergence and pyrrolizidine-contents of common groundsel (Senecio vulgaris)

Sabine Gruber^{1*}, Pia Stoll¹, Sabine Zikeli²

¹Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fg. Allgemeiner Pflanzenbau (340a), Fruwirthstr. 23, 70599

²Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Koordination für ökologischen Landbau und Verbraucherschutz (340d), Fruwirthstr. 14-16, 70599 Stuttgart

*Korrespondierende Autorin, Sabine.Gruber@uni-hohenheim.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.065



Zusammenfassung

Die Aufnahme von Gemeinem Kreuzkraut (*Senecio vulgaris*) über Lebensmittel kann wegen des Gehalts an Pyrrolizidinalkaloiden (PA) zu gesundheitlichen Schäden führen. Daher werden pflanzenbauliche Ansätze gesucht, um Beimischungen mit *S. vulgaris* zu vermindern. In Klimaschränken wurde der Einfluss von Temperatur und Lichtverhältnissen sowie einer vorgeschalteten Einwirkung von Frost oder Trockenstress auf das Keimvermögen von *S. vulgaris* geprüft. Weiterhin wurden im Sommer 2016 vier Sätze von *S. vulgaris* auf der Versuchsstation Kleinhohenheim, Stuttgart, ausgesät, um den PA-Gehalt in den verschiedenen Pflanzenteilen und zu verschiedenen Jahreszeiten zu analysieren. Bei Licht und ohne Vorbehandlung keimten die Samen bei 5 °C, 10 °C und 20 °C zu 84 bis 87 %, im Dunkeln lagen die Werte etwas darunter. Eine Vorbehandlung mit Frost führte bei anschließender Keimtemperatur von 5 °C zu signifikant mehr ungekeimten, intakten Samen (75 %) gegenüber der Kontrolle (20 %) oder der Variante mit Trockenstress (8 %). Die Blüten von *S. vulgaris* enthielten bis zu 7600 mg PA/kg in der luftgetrockneten Biomasse und damit signifikant höhere PA-Summengehalte (Σ Retrorsin, Senecionin, Seneciphyllin, Senecivernin sowie deren korrespondierende N-Oxide) als Stängel und Blätter. Mit späterer Saatzeit stieg der Gehalt an PA in Blättern signifikant. PA-Gehalte in Nutzpflanzen durch Kontamination mit *S. vulgaris* könnten effektiv reduziert werden, wenn keine Blüten in das Erntegut gelangten. Niedrige Temperaturen und Frost scheinen die unerwünschte Samenüberdauerung von *S. vulgaris* zu fördern. Unter diesem Gesichtspunkt sind Blütenbildung und Aussamen gegen Ende der Vegetationsperiode besonders kritisch. Späte Ernteschritte von Heil- und Gewürzpflanzen oder Schnittsalaten sind zu vermeiden, um Blüten- und Samenbildung von *S. vulgaris* kurz vor dem Winter einzuschränken, und um Beimischungen mit saisonal erhöhten PA-Gehalten zu verhindern.

Stichwörter: Dormanz, Greiskraut, Keimung, PA-Gehalte, Samen

Abstract

The uptake of food contaminated with common groundsel (*Senecio vulgaris*) is a considerable health risk because of the occurrence of pyrrolizidine alkaloids (PA) in parts of the plant. Agronomical approaches are needed to minimize potential contamination with *S. vulgaris*. Different temperatures, light conditions and seed pre-treatments were tested during the germination of *S. vulgaris* to identify the optimum environment for germination. In addition, four sets of *S. vulgaris* were sown in a field trial at the research station Kleinhohenheim/South West Germany in 2016 to determine the PA pattern and any shift in PA contents in during the year in flowers, leaves and stems. Germination rates were highest (84-87%) when seeds germinated in light without pre-treatment, and a little lower in darkness, at any of the three trial temperatures of 5 °C, 10 °C and 20 °C. Pre-treatment with frost, particularly in combination with cool germination temperatures, lead to significantly higher numbers of intact, ungerminated seeds (75%) compared to the control (20%) or a drought stress pre-treatment (8%). Flowers of *S. vulgaris* contained up to mg total PA/kg in the air dried plant material (Σ of retrorsine, senecionine, seneciphylline, senecivernine and their corresponding N-oxides) and thus the contents were significantly higher than those in stems or leaves. The PA content in leaves increased significantly during the season. As flowers seem to be the main source of PA, their removal or avoidance in harvested crops is most desired. For avoidance of seed production before winter (with risk of seed persistence due to cold temperatures), herbs and medical plants or lettuce contaminated with *S. vulgaris* should not be harvested in late summer or autumn. This approach would additionally avoid contamination with *S. vulgaris* with increased PA contents in the harvested product at the end of the season.

Keywords: Dormancy, old-man-in-the-spring, pyrrolizidine alkaloids, seed

Einleitung

Unkräuter aus der Gattung *Senecio* haben in den letzten Jahren wegen ihres vermehrten Auftretens und ihrer Gehalte an toxischen Pyrrolizidinalkaloiden (PA) im Grünland und im Ackerbau an Aufmerksamkeit gewonnen. Die Toxizität hängt von der Pflanzenart, dem Pflanzenorgan und den äußeren Bedingungen ab (HARTMANN und ZIMMER, 1986; KIRK et al., 2010). Nutztiere nehmen PA häufig durch mit *Senecio jacobea* vermischtem Futter auf, während es in der menschlichen Nahrung beim Konsum von Salaten, Tees oder Kräuterteemischungen, die mit dem Ackerunkraut *Senecio vulgaris* (Gemeines Kreuzkraut) verunreinigt sind, zu ungewollten und hohen Aufnahme von PA kommen kann (BFR 2007, 2013; WIEDENFELD und EDGAR, 2011). *S. vulgaris* war in einer Studie auf Anbauflächen von Heil- und Gewürzpflanzen (60 Flächen mit Kamille, Petersilie, Melisse oder Pfefferminze) in Deutschland auf rund der Hälfte der Flächen vertreten und das am häufigsten aufgefundene PA-haltige Unkraut (PLESCHER et al., 2016). Die Dynamik der Keimung von *S. vulgaris* wird in der Literatur unterschiedlich dargestellt. Die Pflanze wird überwiegend als Lichtkeimer beschrieben, die dennoch aus mehreren Zentimetern Bodentiefe keimen kann (HILTON, 1983; SÖCHTING und ZWERGER, 2014); andere Studien zeigen die Fähigkeit, auch in Dunkelheit in deutlichem Umfang zu keimen (LUTMAN et al., 2008). Weiterhin scheinen die Umgebungstemperaturen einen Einfluss auf Keimung und Dormanzzyklen zu haben (FIGUEROA et al., 2007). Über den Gehalt an PA und deren Zusammensetzung in einzelnen Pflanzenteilen sowie über eine mögliche Veränderung der PA-Gehalte im Jahresverlauf auflaufender Pflanzen ist bisher wenig bekannt. Zur Entwicklung und Verbesserung von Bekämpfungsstrategien von *S. vulgaris*, insbesondere im Heil- und Gewürzpflanzenanbau, müssen verstärkt Informationen zur Physiologie der Pflanzen gewonnen werden, um Kontaminationen zu verhindern.

Ziel der vorliegenden Arbeit war, günstige sowie hemmende Bedingungen für die Keimung und das Auflaufen von *S. vulgaris* zu identifizieren. Weiterhin wurden die PA-Gehalte in verschiedenen Pflanzenteilen abhängig vom Auflaufen während der Vegetationsperiode bestimmt. Dazu wurden Versuche im Labor und im Freiland durchgeführt.

Material und Methoden

Die Studie umfasste einen Keimtest im Klimaschrank bei verschiedenen Umweltbedingungen und einen Feldversuch mit vier Aussaatzeitpunkten von *S. vulgaris* während der Vegetationsperiode und anschließender Analytik der Pyrrolizidinalkaloide (PA) in Blüten, Blättern und Stängeln.

Der Keimtest wurde am 03.05.2016 mit den Faktoren Vorbehandlung (Trockenstress, Frost, Kontrolle), Lichtverhältnisse (Licht oder Dunkelheit) sowie Temperatur (5 °C, 10 °C, 20 °C) angelegt. Die Samen für den Keimtest stammten aus einer Wildsammlung der Firma Pharnaplant im Jahr 2015. Sie wurden unmittelbar vor Beginn der Keimtests einer Vorbehandlung unterzogen und dabei entweder bei -20 °C für sieben Tage eingefroren, einem Trockenstress durch Behandlung mit PEG nach WEBER et al. (2010) ausgesetzt, oder bei Raumtemperatur bis zum Keimtest gelagert (Kontrolle). Je Faktorenkombination wurden dreimal 100 Samen auf Petrischalen mit Filterpapier und Zugabe von 4 ml Wasser verteilt und bei Licht oder Dunkelheit für drei Wochen in Keimschränke mit der entsprechenden Temperatur gestellt. Gekeimte und verdorbene Samen wurden täglich gezählt und entfernt. Am Ende des Versuchs wurden die intakten, ungekeimten Samen erfasst.

Der Feldversuch fand vom 22.06.2016 bis zum 15.11.2016 auf der Versuchsstation Agrarwissenschaften, Standort Kleinhohenheim (Ökologischer Landbau) der Universität Hohenheim, Stuttgart, statt. Die Aussaat erfolgte von Hand in Kleinparzellen (Bodenart IT, vier Wiederholungen) von 0,4 m × 0,5 m als Samen/Sandgemisch, gestaffelt am 22.06.2016, 20.07.2016, 15.08.2016 und 12.09.2016, mit einer Saatstärke von 100 Samen pro Reihe und einem Reihenabstand von 20 cm (zwei Reihen je Parzelle). Das Saatgut stammte aus einer Wildsammlung im März und April 2016 auf dem Campus der Universität Hohenheim. Im Keimtest über 20 Tage bei 20°C und Licht betrug die Keimfähigkeit dieser Samen 77 %. Von jeder Kohorte wurden zum jeweiligen Blütezeitpunkt Blüten, Blätter und Stängel geerntet. Die Pflanzenteile wurden bei 40 °C

72 Stunden getrocknet („Lufttrockenmasse“, LTM), bei der Firma Pharmaplant auf eine Partikelgröße von < 20 µm vermahlen, und die Proben dann für die Analytik zur Firma PhytoLab GmbH & Co. KG (Vestenbergsgreuth, Deutschland) versandt. Die Extraktion der PA erfolgte aus jeweils 2 g gemahlenem Probenmaterial mit 25 ml Methansäure. Die PA wurde mittels Flüssigchromatographie in Kombination mit Massenspektroskopie nach der Methode von NOWAK et al. (2016) bestimmt. Die statistische Auswertung erfolgte über das Programm SAS University Edition und der Prozedur ANOVA. Sofern für die Varianzhomogenität erforderlich, erfolgte eine log-Transformation der Daten.

Ergebnisse

Die höchsten Keimraten von *S. vulgaris* fanden sich bei allen Temperaturen in den Varianten ohne Vorbehandlung (Kontrolle) und bei Licht, mit Werten zwischen 84 % und 87 % (Abb. 1; 10 °C nicht dargestellt). Im Dunkeln lagen die Keimraten ohne Vorbehandlung zwischen 62 % (5 °C) und 83 % (20 °C). Während die Samen bei 10 °C und 20 °C sowohl bei Licht als auch bei Dunkelheit in der Kontrolle und bei vorherigem Trockenstress gleichermaßen zu über 80 % keimten, erhöhte die Vorbehandlung mit Frost bei Keimtemperaturen von 5 °C die Anzahl ungekeimter und dabei sensorisch intakter Samen signifikant im Mittel über alle Versuchsfaktoren (nicht dargestellt). Hier blieben im Mittel 75 % der Samen ungekeimt, gegenüber 20 % in der Kontrolle und 8 % nach vorherigem Trockenstress. Der größte Anteil Samen (84 %) blieb intakt und ungekeimt, wenn eine Frostvorbehandlung erfolgte und die Samen anschließend bei 5 °C im Dunkeln gehalten wurden. Dies stellt gegenüber der Variante 5 °C/Dunkelheit ohne Vorbehandlung eine Steigerung um den Faktor 2,5 dar. Die Differenz der Summe von Samen plus Keimlinge zu den ausgelegten 100 Samen ist auf verdorbene Samen zurückzuführen.

Im Feldversuch wiesen die Blüten von *S. vulgaris* mit bis zu 7600 mg PA/kg lufttrockene Biomasse signifikant höhere Gehalte an PA auf (Σ Retrorsin, Senecionin, Seneciophyllin, Senecivernin sowie deren korrespondierender N-Oxide) als Blätter oder Stängel (Abb. 2). Der PA-Gehalt stieg in Blättern leicht aber signifikant bei den später in der Vegetationsperiode gesäten Pflanzen an. In allen untersuchten Pflanzenteilen waren Senecionin N-Oxid und Seneciophyllin N-Oxid die dominierenden PA (nicht dargestellt). Der Anstieg der gesamten PA-Gehalte in Blättern und Stängeln geht vorwiegend auf die steigenden Gehalte an Seneciophyllin-N-Oxid zurück.

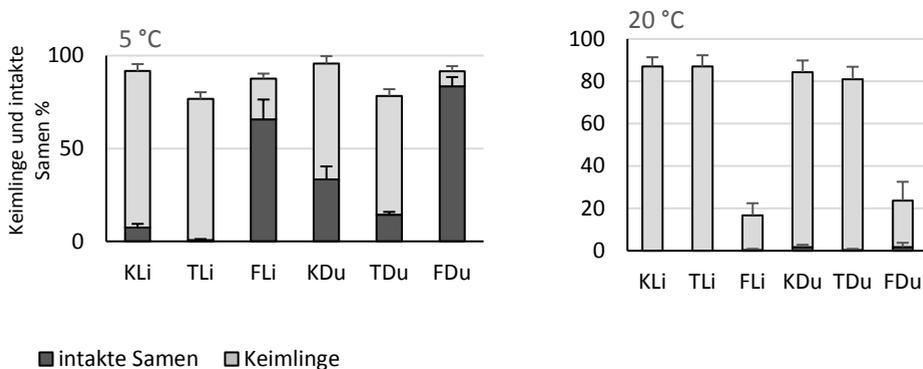


Abb. 1 Keimlinge und ungekeimte, intakte Samen von *Senecio vulgaris* im Keimtest in Petrischalen, in % der ausgelegten Samen, bei Licht (Li) oder Dunkelheit (Du) und bei zwei Umgebungstemperaturen nach unterschiedlichen Vorbehandlungen des Saatguts (K: Kontrolle, T: Trockenstress, F: Frost); Differenz zu 100: verdorbene Samen; Fehlerbalken: Standardabweichung.

Fig. 1 Seedlings and ungerminated, intact seeds of *Senecio vulgaris* (in % of initial number of seeds) from a germination test in Petri dishes performed in light (Li) or darkness (Du) at two temperatures. Pre-treatments of seeds K: control, T: drought stress, F: frost. Difference to 100: rotten seeds; error bar: standard deviation.

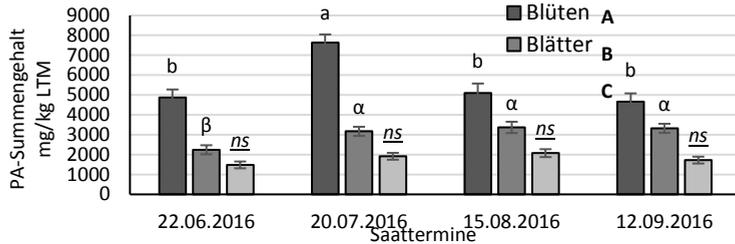


Abb. 2 Pyrrolizidinalkaloid-Gehalte (Σ Retrorsin, Senecionin, Seneciphyllin, Senecivernin sowie deren korrespondierende N-Oxide) in der Lufttrockenmasse (LTM) von Blüte, Blatt und Stängel von *Senecio vulgaris* aus vier Saatterminen, Versuchsstation Kleinhohenheim. Werte mit gleichem Buchstaben nicht signifikant verschieden, $P \leq 0,05$. Vergleich der Saattermine für jeden Pflanzenteil (Buchstaben über Säulen) bzw. der Pflanzenteile über alle Termine (Buchstabenkennzeichnung in der Legende).

Fig. 2 Content of pyrrolizidine alkaloids (Σ of retrorsine, senecionine, seneciphylline, senecivernine and their corresponding N-oxides) in air dried (LTM) flowers, leaves and stems of *Senecio vulgaris* plants from four sowing dates, research station Kleinhohenheim. Values with the same letter are not significantly different at $P \leq 0.05$. Comparison of sowing dates for each plant part: columns; comparison of plant parts across all dates: legend.

Diskussion

Die Ergebnisse der Keimtests spiegeln den derzeitigen, uneindeutigen Kenntnisstand wider. Die aktuellen Ergebnisse legen daher unter Einbeziehung international breit gefächerter Studien (HILTON, 1983; REN und ABBOT, 1991; FIGUEROA et al., 2007; LUTMAN et al., 2008; SÖCHTING und ZWERGER, 2014) den Schluss nahe, dass innerhalb der Spezies *S. vulgaris* verschiedene Ökotypen existieren, die sich zumindest hinsichtlich der Keimung und der darauf basierenden Populationsdynamik unterscheiden. Diese Ökotypen könnten auch aus Hybridisierungen mit anderen *Senecio*-Arten resultieren, die von VON BORSTEL et al. (1989) beschrieben wurden. *S. vulgaris* keimte im Licht und im Dunkeln; ein tiefes Vergraben von Samen durch Bodenbearbeitung könnte daher durch fatale Keimung und bei unterstellter Kurzlebigkeit in der Samenbank (FIGUEROA et al., 2007) zu einer Reduktion des Samenpotenzials führen. Bei annualen Kulturpflanzenbeständen könnte dies durch eine Grundbodenbearbeitung von mehr als 10 cm Tiefe erreicht werden, bei perennierenden Kulturen z.B. bei Heil- und Gewürzpflanzen, insbesondere bei älteren Pflanzenbeständen, durch ein tiefes Hacken. Gegen Ende der Vegetationsperiode gebildete Samen von *S. vulgaris* sind zeitnah in Herbst und Winter kalten Temperaturen ausgesetzt; nach den vorliegenden Ergebnissen könnte dadurch ein hoher Anteil der Samen in die Bodensamenbank eingehen, bis zum nächsten Frühjahr überdauern und dann in den Kulturen auflaufen. Bei der verwandten Art *S. jacobea* wurde die Möglichkeit einer frostinduzierten Dormanz beschrieben (VAN DER MEIJDEN und VAN DER WAALS-KOOI, 1979), und möglicherweise liegt bei *S. vulgaris* eine ähnliche Physiologie der Keimung vor.

Veränderungen bzw. Steigerungen im PA-Gehalt von Blättern im Jahresverlauf wurden bereits von JOHNSON et al. (1985) für die USA für drei *Senecio*-Arten beschrieben, die zusätzlich deutlichen Jahreseffekten unterworfen waren. Zur Verringerung von PA-Gehalten im Erntegut könnte die Vermeidung später Schnitte von Arznei- und Gewürzpflanzen bzw. von Blattsalaten beitragen. Dadurch könnte auch vermieden werden, dass Pflanzen unmittelbar vor Winter aussamen und deren Samen unter der kalten Witterung günstige Überdauerungsbedingungen vorfinden. Ein anderer Ansatz wäre eine besonders sorgfältige Beikraut- und Nacherntekontrolle bei späten Sätzen, z.B. bei Pflücksalaten oder Rucola, die häufig im Herbst kultiviert werden. Bei perennierenden Kulturen mit sehr hoher Wertschöpfung aus dem Medizinalbereich, in denen die chemische Unkrautkontrolle ohnehin stark eingeschränkt ist, müsste an dieser Stelle unter Umständen auf Handarbeit zurückgegriffen werden, auch um Kontaminationen in den Folgejahren zu vermeiden. Da sich die höchsten PA-Gehalte in den Blüten befanden, sind Beimischungen mit diesem Material besonders zu vermeiden. Dies könnte eventuell über eine

differenzierte Schnitthöhe erreicht werden. Über die spezifische Toxizität der beiden dominierenden PA Seneciphyllin-N-Oxid und Senecionin-N-Oxid im Vergleich zu anderen PA sind derzeit keine abschließenden Einschätzungen bekannt.

Danksagung

Diese Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit der Fa. Pharmaplant Arznei- und Gewürzpflanzen; wird danken außerdem Oliver Hübner, Julia Herzog und Ellen Kinzer für die großartige Unterstützung im Feld und bei der Planung der Versuche.

Literatur

- BFR - BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG, 2007: Salatmischung mit Pyrrolizidinalkaloid-haltigem Greiskraut verunreinigt. Stellungnahme Nr. 028/2007 des BfR vom 10. Januar 2007.
- BFR - BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG, 2013: Pyrrolizidinalkaloide in Kräutertees und Tees. Stellungnahme 018/2013 des BfR vom 5. Juli 2013.
- FIGUEROA, R., D. DOOHAN, J. CARDINA und K. HARRISON, 2007: Common groundsel (*Senecio vulgaris*) seed longevity and seedling emergence. *Weed Science* **55**, 187–192.
- HARTMANN, T. und M. ZIMMER, 1986: Organ-specific distribution and accumulation of pyrrolizidine alkaloids during the life history of two annual *Senecio* species. *J. Plant Physiol* **122**, 67–80.
- HILTON, J.R., 1983: The influence of light on the germination of *Senecio vulgaris*. *New Phytol.* **94** (1), 29-37.
- JOHNSON, A.E., R.J. MOLYNEUX und G.B. MERRILL, 1985: Chemistry of toxic range plants. Variation in pyrrolizidine alkaloid content of *Senecio*, *Amsinckia* and *Crotalaria* species. *J. Agric. Food Chem.* **33**(1), 50-55.
- LUTMAN, P.J.W., K.J. BERRY und S.E. FREEMANN, 2008: Seed production and subsequent seed germination of *Senecio vulgaris* (groundsel) grown alone or in autumn-sown crops. *Weed Research* **48**, 237-247.
- NOWAK, M., C. WITTKÉ, I. LEDERER, B. KLIER, M. KLEINWACHTER und D. SELMAR, 2016: Interspecific transfer of pyrrolizidine alkaloids: An unconsidered source of contaminations of phytopharmaceuticals and plant derived commodities. *Food Chem.* **213**, 163-168.
- PLESCHER, A., S. WAHL, A. HICKETHIER und H. BLUM, 2016: Erfassung der standortabhängigen und kulturpflanzen-spezifischen Beikrautflora in Arzneipflanzenbeständen unter besonderer Berücksichtigung Pyrrolizidinalkaloid-haltiger Unkräuter. Präsentationsbeitrag beim BLE-Workshop „Pyrrolizidinalkaloide“ – Aktueller Stand bei Ausgangsstoffen für pflanzlichen Arzneimittel und deren Zubereitungen sowie Maßnahmen zur Belastungsreduzierung in der Landwirtschaft. Bonn, 13. April 2016.
- REN, Z. und R.J. ABBOT, 1991: Seed dormancy in Mediterranean *Senecio vulgaris* L. *New Phytol.* **117**, 673-678.
- SÖCHTING, H.-P. und P. ZWERGER, 2014: Dynamik der Verunkrautung mit *Senecio vulgaris* nach einem einmaligen Sameneintrag. *Julius Kühn-Archiv* **443**, 172-179.
- VAN DER MEUDEN, E. und R.E. VAN DER WAALS-KOOI, 1979: The population ecology of *Senecio jacobaea* in a sand dune system. *J. Ecol.* **67**, 131-153.
- VON BORSTEL, K., L. WITTE und T. HARTMANN, 1989: Pyrrolizidine alkaloid patterns in populations of *Senecio vulgaris*, *S. vernalis* and their hybrids. *Phytochemistry* **28**(6), 1635-1638.
- WEBER, E.A., K. FRICK, S. GRUBER und W. CLAUPEIN, 2010: Research and development towards a laboratory method for testing the genotypic predisposition of oil seed rape to secondary dormancy. *Seed Sci. Technol.* **38**, 298-310.
- WIEDENFELD, H. und J. EDGAR, 2011: Toxicity of pyrrolizidine alkaloids to humans and ruminants. *Phytochem Rev.* **10**, 137–151.

Effects of crop rotation, herbicide application and nitrogen on the emergence of *Vicia spp.*

Einfluss von Fruchtfolge, Herbiziden und Stickstoffdüngung auf den Auflauf von Vicia spp.

Jürgen Schwarz

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow
juergen.schwarz@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.066



Abstract

A long term field trial regarding crop rotations, application of fertilizer and pesticides was established in 1998 at the Julius Kühn-Institute experimental field in Dahnsdorf. The experimental field is located in the state of Brandenburg (Germany) about 50 km from Berlin. The long-term field trial consists of two crop rotations: (A) peas – winter barley – winter rye – white clover (for some years fallow) - winter barley – winter rye and (B) continuous cropping of winter rye. In both crop rotations the experimental treatments are: 1) no fertilizers - no pesticides, 2) no fertilizers - pesticides, 3) fertilizers - no pesticides and 4) fertilizers – pesticides. Weeds are counted in autumn or spring; in the treatments with herbicide application also before herbicide application. Both weed species and number are determined. The influence of the crop rotation regarding the weed infestation was strongest for treatment 1) and declined with fertilizer and pesticide use. The crop rotation (A) generally showed lower *Vicia spp.* infestation, while the continuous cropping of winter rye (B) promoted *Vicia spp.*. The infestation was very different throughout the years. The numbers per m² ranged from 0 up to 144.8 in treatment (B) (continuous cropping of winter rye) with no fertilizers and no pesticides (1).

Keywords: Fertilization, long-term field trial, plant protection, vetches

Zusammenfassung

In einem Langzeitversuch des Julius Kühn-Instituts wird seit 1998 der Einfluss von Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf untersucht. Dahnsdorf befindet sich in Brandenburg, rund 50 km von Berlin entfernt. Dieser Dauerfeldversuch besteht aus 2 Fruchtfolgen (A): Erbse – Wintergerste – Winterroggen - Weißklee (einige Jahre Brache) – Wintergerste – Winterroggen und (B) Winterroggen im Daueranbau. In beiden Fruchtfolgen werden die folgenden Varianten getestet: 1) kein Pflanzenschutz – keine Düngung, 2) keine Düngung – Pflanzenschutz, 3) Düngung – kein Pflanzenschutz und 4) Düngung und Pflanzenschutz. Der Unkrautauflauf wird im Herbst oder Frühjahr vor der Herbizidbehandlung nach Art und Anzahl gezählt. Der Einfluss der Fruchtfolge auf den Unkrautauflauf ist am stärksten für Variante 1) und nimmt beim Einsatz von Düngungen und Pflanzenschutz ab. Die Fruchtfolge (A) hat generell einen geringeren Besatz mit *Vicia spp.*, die Fruchtfolge (B) fördert hingegen *Vicia spp.*. Die Anzahl der aufgelaufenen *Vicia spp.* Pflanzen war über die Jahre hinweg sehr unterschiedlich. Die Anzahl reichte von 0 bis 144,8 Pflanzen/ m² in der Fruchtfolge (B) und der Variante 1).

Stichwörter: Dauerfeldversuch, Düngung, Pflanzenschutz, Wicken

Introduction

The reliable estimation of long-lasting effects of crop rotation, fertilization and plant protection and their combined effects is only possible with long-term field trials. The public is concerned about the use of pesticides and even fertilizers. For that reason a realistic view with the background of scientific results is needed. Especially for the development of weeds long-term field trials are necessary (SCHWARZ and PALLUTT, 2016).

Crop rotation has an enormous effect on the weed development (BÖHM, 2012). But also the combination of different factors like fertilization and pesticides is relevant for the emergence of weeds (SCHWARZ and PALLUTT, 2010).

Vicia hirsuta is mainly a problematic weed for organic farming (EISELE, 1996; LUKASHYK et al., 2004).

Materials and Methods

The experimental fields of the Julius Kühn Institute are located in Dahnsdorf. The experimental site is situated in southern Brandenburg (52.108494 N, 12.636338 E), so called "Hoher Fläming", near the town of Bad Belzig. The average annual temperature and mean annual precipitation (weather station on the field) is 9.4 °C and 597 mm (1997 – 2016); with prolonged dry periods in early summer. The soil is a loamy sand soil with 57.9% sand, 37.5% silt and 4.6% clay; the pH is 5.8.

This long-term field trial consists of two crop rotations:

1. (A) peas – winter barley – winter rye – white clover (for some years fallow) - winter barley – winter rye and
2. (B) continuous cropping of winter rye.

In both crop rotations the experimental treatments are:

3. 1) no fertilizers - no pesticides,
4. 2) no fertilizers - pesticides (herbicides, fungicides and insecticides),
5. 3) fertilizers - no pesticides and
6. 4) fertilizers – pesticides (herbicides, fungicides, insecticides and growth regulators).

Both weed species and number were recorded for each plot. For treatment 2) und 4) the weed counting was done before herbicide application.

All plots were ploughed and sowing dates were chosen as common for the region. Plant protection was done with the integrated approach. The monitoring results were taken into account for the decision making. Thresholds were important components for the decision making. The pesticides were chosen according to a sufficient control of the regarding pest. The application rates of the pesticides were based on the necessary level.

The weed emergence in winter rye for the crop rotations (A) and (B) was compared for the 4 experimental treatments in each year.

Results and Discussion

Comparing the weed emergence expressed as number of dicotyledonous weeds for the years, the results show that the number of weeds differs between the crop rotations and the experimental treatments. Table 1 lists the results for the mean of the years from 1999 till 2017. For the treatments without pesticides (1 and 3) not surprisingly the number of dicotyledonous weeds is larger than for the treatments with pesticides (2 and 4). For the main monocotyledonous weed *Apera spica-venti* the values are different (results not shown). The continuous cropping of rye (B) shows lower emergence of dicotyledonous weeds for the treatments 2 and 4 compared to the crop rotation (A).

Tab. 1 Mean of dicotyledonous weeds/m² (1999 – 2017) for each crop rotation and experimental treatment.

Tab. 1 Mittelwert der dikotylen Unkräuter pro m² (1999 – 2017) für jede Fruchtfolge und Variante.

Crop rotation	Experimental treatment			
	1	2	3	4
A	347	117	261	94
B	306	45	237	16

A closer look at the different species of the dicotyledonous weeds shows that among others *Centaurea cyanus*, *Matricaria spp.*, *Viola arvensis* and *Stellaria media* are relevant.

Observing the occurrences of *Vicia spp.*, there is a clear focus on the treatments without herbicides and also without fertilization (1). *Vicia spp.* is a legume, in Dahnsdorf mainly the species *Vicia hirsuta* emerged. The weed is typical for low competitive crop populations (RYDBERG and MILBERG, 2000).

Figure 1 illustrates the emergence of *Vicia spp.* for treatment 1 (without fertilizer and pesticides) in both crop rotations.

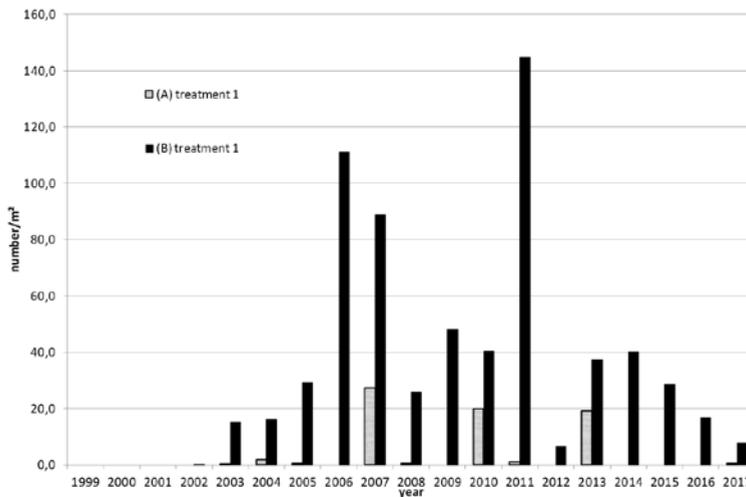


Fig. 1 Development of the emergence of *Vicia spp.* for both crop rotations (A), (B) with treatment 1.

Abb. 1 Entwicklung des Auflaufs von *Vicia spp.* in den beiden Fruchtfolgen(A), (B) in der Variante 1.

As seen in Figure 1, the development of *Vicia spp.* needs some years. For the continuous cropping of rye (B) the numbers have been rising since 2003, but with an interesting development. It seems that after high numbers of *Vicia spp.* in the years 2006, 2007 and 2011, the number decreased in the following years. This could have different reasons, like the conditions in autumn, but one hypothesis is that the legume *Vicia spp.* assimilates some air nitrogen and so other more competitive weeds take benefit of the available nitrogen. LUKASHYK et al. (2004) gave similar statements for *Vicia hirsuta*. The crop rotation (A) shows for each year lower numbers of *Vicia spp.* compared to crop rotation (B). One reason could be, that the continuous cropping of winter rye promotes *Vicia spp.*. Similar results were obtained in Organic farming (EISELE, 1996).

References

- BÖHM, H., 2012: Unkrautregulierung durch Fruchtfolgegestaltung und alternative Managementverfahren, Julius-Kühn-Archiv **443**, 24-36.
- EISELE, J.A., 1996: *Vicia hirsuta* (L.) S.F.Gray – Problemunkraut des Organischen Landbaus. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XV**, 225-231.
- LUKASHYK, P., M. BERG and U. KÖPKE, 2004: Direkte Kontrolle von *Vicia hirsuta* in Getreidebeständen des Organischen Landbaus. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XIX**, 503-510.
- RYDBERG, N.T. and P. MILBERG, 2000: A Survey of Weeds in Organic Farming in Sweden. Biological Agriculture & Horticulture Vol. **18** (2), 175-185.
- SCHWARZ, J. and B. PALLUTT, 2010: Influence of crop rotation, fertilization and pesticide use on weed infestation, yields and resource efficiency. 15th European Weed Research Society Symposium, 160.
- SCHWARZ, J. and B. PALLUTT, 2016: Unkrautauflauf auf langjährig nicht mit Herbiziden behandelten Ackerflächen - Dauer der Nachwirkung. Julius-Kühn-Archiv **452**, 130-135.

Allelopathic effects of *Abutilon theophrasti*, *Asclepias syriaca* and *Panicum ruderales* on maize

Die allelopathische Wirkung von Abutilon theophrasti, Asclepias syriaca und Panicum ruderales auf Mais

Erzsébet Nádasy*, György Pásztor, Imre Béres, Gábor Szilágyi

University of Pannonia, Georgikon Faculty, Keszthely, Deák str. 16, H-8360

*Corresponding author, nadasyne@georgikon.hu

DOI 10.5073/jka.2018.458.067



Abstract

Abutilon theophrasti, *Asclepias syriaca* and *Panicum ruderales* are very important invasive weed species in Hungary. These can cause hard damages firstly in row space crops, because these have good competition ability. The aim our experiment was to study the allelopathic effect of watery extracts from roots and shoots on germination and growth of maize seedlings. Bioassay experiments were made in the laboratory in 2015. Extracts from air dried and grinded roots and shoots of weeds were made with water in 2.5, 5 and 7.5% concentrations. Maize (*Cornelius*) seeds were put into Petri-dishes, after that they were treated with 15 mL solutions, and put into a thermostat at 20 °C in the dark. After 7 days of germination, % and length and weight of primary roots and shoots of seedlings were determined. The statistical analysis has been done one-factorial analysis of variance. Shoot and root extracts of *Abutilon theophrasti* decreased germination-% and growth of primary roots and shoots of seedlings. Watery extracts from *Asclepias syriaca* resulted in similar effects; these treatments reduced germination and growth of seedlings. Shoot extract of *Panicum ruderales* caused shorter shoots and less shoot weight, and hindered the germination of maize. Root extract decreased shoot length and weight, and also germination, but root development was not influenced significantly. We established that allelopathic effects of *A. theophrasti* and *A. syriaca* were stronger than those of *P. ruderales*. Other publications reported significant results connected to allelopathy of *A. theophrasti* and *A. syriaca*. Mainly the root extracts inhibited the early growth of maize. Allelopathic effects were stronger with increasing concentrations of solutions.

Keywords: Allelopathy, *Abutilon theophrasti*, *Asclepias syriaca*, bioassay, maize, *Panicum ruderales*

Zusammenfassung

Abutilon theophrasti, *Asclepias syriaca* und *Panicum ruderales* sind in Ungarn sehr wichtige invasive Unkräuter. Sie können ernste Schäden verursachen, da diese über eine gute Konkurrenzfähigkeit verfügen. Das Ziel unseres Experiments ist es, die allelopathische Wirkung der Wurzel- und Triebtinkturen auf die Keimung des Mais und das Wachstum der Keimpflanzen zu untersuchen. Das sogenannte „Bioassay-Experiment“ wurde im Jahre 2015 im Laboratorium durchgeführt. Die Tinkturen wurden aus luftgetrockneten und gemahlten Wurzeln und Trieben mit Wasser mit einer Konzentration von 2,5, 5 und 7 % angefertigt. Die Maiskörner (Sorte *Cornelius*) wurden in eine Petrischale gegeben, dann wurden sie mit 15 ml Tinktur behandelt und bei 20 °C in Dunkel-Thermostate gelegt. Am 7. Tag wurde das Keimungsprozent festgestellt, sowie die Länge und die Masse der primären Wurzel und des primären Triebes wurden gemessen. Die statistische Analyse wurde durch eine Varianzanalyse auf einem Faktor durchgeführt. Die Trieb- und Wurzeltinkturen von *Abutilon theophrasti* reduzierten die Keimung sowie das Wachstum der primären Wurzel und des primären Triebes, abnehmende Länge und Masse wurden gemessen. Die Tinkturen von *Asclepias syriaca* ergaben die gleiche Wirkung. Diese Behandlungen reduzierten die Keimung und das Wachstum der Mais-Keimpflanzen. Die Triebtinktur von *Panicum ruderales* führte zu kürzeren Trieben und einer geringeren der Triebmasse, darüber hinaus hemmte sie die Keimung des Mais. Die Wurzeltinkturen reduzierten die Länge und Masse des Triebes sowie die Keimung, jedoch übten sie auf die Wurzelentwicklung keinen signifikanten Einfluss aus. Es wurde festgestellt, dass die allelopathische Wirkung von *A. theophrasti* und *A. syriaca* stärker war als die von *P. ruderales*. In Verbindung mit der Allelopathie von *A. theophrasti* und *A. syriaca* berichten auch andere Veröffentlichungen über signifikante Ergebnisse. Vorzugsweise hinderten die Wurzeltinkturen das frühe Wachstum von Mais. Mit höherer Konzentration der Tinkturen verstärkte sich auch die allelopathische Wirkung.

Stichwörter: Allelopathie, *Abutilon theophrasti*, *Asclepias syriaca*, Bioassay, Mais, *Panicum ruderales*

Introduction

We know since long, that there are plant species in natural succession, which hinder the colonization of other species. If in this case an increase of biomass production is seen only on one species, we can't explain this symptom with competition for nutrients or water. This is the phenomenon of allelopathy (RICE, 1984). Allelopathy is one form of plant interference. Plants produce numerous metabolites with no known utility to their growth and development. These are often referred to as secondary plant metabolites and are often defined as compounds having no known essential physiological function. Allelochemicals vary from simple molecules to more complex organic molecules. They are produced by any plant organs: roots, leaves, seeds, flowers and fruits. Allelochemical compounds can release from the plants with evaporation, leaching from the foliage, exudates from the roots or decomposition of plant residues. Effects of allelochemicals can be direct on spreading, germination, growth and metabolism or indirect on soil properties, nutrient content, and change of plant population (SZABÓ, 1997; TÓTH et al., 2002).

Abutilon theophrasti is one of the most important and invasive summer annual weed species in Hungary and in Europe, too. Its dangerousness derives from its biological characteristics of the germination and its strong competitive and allelopathic ability. As weed of cultivated crops with wide line space such as maize, sunflower and soybean it can reduce the yield significantly. Some authors established that the yield reducing ability by bigger nutrient supply is lower. It was established in the Hungarian weed survey in 2007-2008 that velvetleaf was the tenth between the most important weeds at the maize fields in Hungary in Zala County. Danger of this weed can explain with the dormancy of its seeds and the competitive capacity of the plant. Allelopathic effect of velvetleaf was studied by GRESSEL and HOLM (1964), BHOWMIK and DOLL (1984) and furthermore STERLING et al. (1987). They found hard inhibitory effects on the germination of examined plants. We established in our experiments in Keszthely, that water extracts from leaves and roots reduce germination and growth of other plants (KAZINCZI et al., 1991; NÁDASY et al., 2013), by contrast low concentration solutions stimulate the growth of *Ambrosia artemisiifolia* (KAZINCZI et al., 2008) which is a most important weed species in Hungary.

Asclepias syriaca has spread in recent years and can cause several harmful effects. This weed is one of the most dangerous perennial species in Hungary. *A. syriaca* can spread with rootstocks and seeds equally. This plant has strong competitive ability, so often causes damages in arable fields, horticulture, forestry, and in natural ecosystems. Besides of competitive ability, quick growth and shadowing are well known. Its root extract has allelopathic effect on growth of several crop plants and other weeds (RASMUSSEN and EINHELLING 1979; KAZINCZI et al., 1999). Allelochemicals of this species were determined; the plants contain asclepiadin, sitoserol, quercetin, and nicotin (KAZINCZI et al., 1998).

Panicum ruderalis is the wild form of *P. miliaceum* (WILLIAMS et al., 2007). Up-to-date three subspecies of *Panicum miliaceum* appeared in the Hungarian fields: formerly the most common was *P. miliaceum subsp. miliaceum*, but in recent years it has been overshadowed by other two subspecies, the *P. miliaceum subsp. ruderalis* and *P. miliaceum subsp. agricola* (PÁSZTOR et al., 2014). We studied the allelopathic effect of *P. riparium* earlier, and found that 7,5% shoot watery extract reduced shoot length of maize seedlings with 88%, while root length with 30%. Solutions from *P. miliaceum* did not hinder the growth of young maize plants, neither shoot nor root. In contrast, water solutions stimulated growing because of maize utilized the lye as nutrients (PÁSZTOR and NÁDASY, 2016).

Materials and Methods

Investigations were carried out to study the allelopathic effect of three important weed species on germination of maize (variety Cornelius). *Abutilon theophrasti*, *Asclepias syriaca* and *Panicum ruderalis* plants were collected from different cultivated fields belonging to the Georgikon Faculty in Keszthely in August 2015. Roots from shoots and leaves were separated in the laboratory, cut in small pieces and dried in an exsiccator for 24h in 50 °C. The dried roots and shoots were stored in

dark at room temperature until using them. The bioassay experiment was made in the laboratory in September 2015.

Watery extracts were made from shoots and roots of weeds in 3 concentrations: 2.5%, 5.0% and 7.5%. Solutions were made with tap water and let 24h to soaking. The extracts were filtered after 24 hours, and were used immediately. Twenty-five maize seeds were placed into Petri-dishes on filter paper and treated with 15mL-solutions. Into the control dishes 15mL tap water were given. All treatments were made in 8 replications. Petri dishes were put into a thermostat and held at 20 °C in the dark. The germination percentage was studied on the 7th day, and the length and fresh mass of primary roots and shoots of the maize seedlings were measured at the same day. The statistical analysis was done by using computer program; we made one-factorial analysis of variance (ANOVA).

Results and Discussion

Solutions from root and shoot of *A. theophrasti* and *A. syriaca*, furthermore root extract of *P. ruderales* inhibited germination of maize significantly; in contrast, the shoot extract of the *Panicum* did not cause significant changes in germination percentage (Tab. 1).

Tab. 1 Effect of weed extracts on germination of maize.

Tab. 1 Wirkung von Unkraut-Extrakten auf die Keimung von Mais.

Treatments	Control	Germination (%)			LSD _{5%}
		2.5%	5%	7.5%	
<i>Abutilon theophrasti</i> shoot	84	76	72	68	4.31
<i>Abutilon theophrasti</i> root	84	80	72	68	4.80
<i>Asclepias syriaca</i> shoot	84	80	76	68	4.45
<i>Asclepias syriaca</i> root	84	80	76	68	4.43
<i>Panicum ruderales</i> shoot	84	84	80	80	5.2
<i>Panicum ruderales</i> root	84	76	72	68	6.3

The shoot extracts from *A. theophrasti* hindered the shoot length of maize, more and more with higher concentration. The effect was significant, but it was not on root development. Although root weight decreased by 5% and 7.5% treatments, these resulted in slimmer roots (Tab. 2).

Tab. 2 Effect of *Abutilon theophrasti* extracts on growth and fresh mass of maize seedlings.

Tab. 2 Wirkung von *Abutilon theophrasti*-Extrakten auf Wachstum und Frischmasse von Maiskeimpflanzen.

Treatment		Plumule (mm)	Radicle (mm)	Plumule (g)	Radicle (g)
	Control	19.39	38.26	1.14	1.21
<i>A. theophrasti</i> shoot	2.5%	15.82	39.29	1.08	1.14
	5%	11.90	33.42	0.81	0.79
	7.5%	10.92	33.04	0.47	0.74
	LSD _{5%}	3.28	5.40	0.18	0.19
<i>A. theophrasti</i> root	2.5%	16.52	33.15	1.03	0.96
	5%	15.89	38.90	0.92	0.97
	7.5%	10.32	30.70	0.79	0.80
	LSD _{5%}	3.92	5.48	0.19	0.19

The root extracts of *Abutilon theophrasti* reduced shoot length of maize only in little extent, but the 7.5% treatment did so importantly. But this treatment did not influence the root growth significantly. The root and shoot biomass decreased equally by the effect of the treatments.

The shoot extracts of *A. syriaca* inhibited definitely development of shoot and primary root of maize. We measured 30-37% shorter shoots and roots than at control plants, parallel with higher concentrations (Tab. 3).

Tab. 3 Effect of *Asclepias syriaca* extracts on growth and fresh mass of maize seedlings.

Tab. 3 Wirkung von *Asclepias syriaca*-Extrakten auf Wachstum und Frischmasse von Maiskeimpflanzen.

Treatment		Plumule (mm)	Radicle (mm)	Plumule (g)	Radicle (g)
	Control	19.39	38.26	1.14	1.22
<i>A. syriaca</i> shoot	2.5%	13.65	25.95	0.91	0.91
	5%	13.00	25.05	0.74	0.76
	7.5%	12.40	24.60	0.73	0.67
	LSD_{5%}	3.77	5.20	0.18	0.19
<i>A. syriaca</i> root	2.5%	18.45	35.40	1.27	1.04
	5%	10.20	18.80	0.78	0.53
	7.5%	7.50	14.00	0.58	0.46
	LSD_{5%}	3.55	4.59	0.21	0.24

The fresh shoot weight decreased with 20-30%, while root weigh with 35-45% under the effect of the extracts. Influence was stronger with increasing concentrations.

The root extracts of *Asclepias syriaca* hindered the seedling shoot length even more: 5% treatment with 47%, and 7.5% with 61%. The same concentrations reduced the primary root length with 51% and 63%. Biomass production changed similarly under the effect of these treatments.

Allelopathic effect of *P. ruderalis* shoots was less expressive on maize shoots, but the 7.5% extract decreased it considerably (45%; Tab. 4). Reduction of primary root length was not significant. The 7.5% extract decreased shoot fresh mass significantly with 48%. *P. ruderalis* solutions had stronger effects on maize shoots than on roots.

Tab. 4 Effect of *Panicum ruderalis* extracts on growth and fresh mass of maize seedlings.

Tab. 4 Wirkung von *Panicum ruderalis*-Extrakten auf Wachstum und Frischmasse von Maiskeimpflanzen.

Treatment		Shoot (mm)	Root (mm)	Shoot (g)	Root (g)
	Control	19.39	38.26	1.14	1.21
<i>P. ruderalis</i> shoot	2.5%	18.90	35.75	1.03	1.16
	5%	17.05	34.90	0.93	1.04
	7.5%	11.30	33.80	0.59	1.00
	LSD_{5%}	3.51	5.38	0.20	0.19
<i>P. ruderalis</i> root	2.5%	16.30	41.10	1.05	1.34
	5%	15.44	41.05	0.91	1.36
	7.5%	16.35	40.25	0.74	1.11
	LSD_{5%}	3.51	5.3	3.51	5.30

Root extracts of *Panicum ruderalis* lessened shoot growth and weight slightly, except of the 7.5% treatment which decreased fresh weight with 45%, but the root development was not influenced.

It seemed that between the examined weed species the allelopathic effect of *A. syriaca* extracts was the strongest on germination and early growth of maize, followed by *A. theophrasti*. Other publications reported significant results also connected to allelopathy of *A. theophrasti* (DAVID and RADÓCZ, 2002; ŠĆEPANOVIĆ, 2007; NAGY and SZALAY, 2010) and *A. syriaca* (KAZINCZI et al., 2004). Mainly the root extracts inhibited the early growth of maize. We experienced slight allelopathic effect of

P. ruderale on the development of maize seedlings. Allelopathic effects depend on donor species, plant part and concentration; they become stronger with increasing concentration of solutions.

References

- BHOWMIK, P.C. and J.D. DOLL, 1984: Allelopathic effect of annual weed residues on growth and nutrient uptake of corn and soybean. *Agronomy Journal* **76**, 383-388.
- DÁVID, I. and L. RADÓCZ, 2002: Selyemmályva (*Abutilon theophrasti* Medic.) és olasz szerbtövis (*Xanthium italicum* Mor.) kivonatok csírázásra gyakorolt hatásának vizsgálata (Examination of the effect of the *Abutilon theophrasti* and *Xanthium italicum* extract on crops). 7. Tiszántúli Növényvédelmi Fórum. Előadások, 208-215.
- GRESSEL, J.B. and L.G. HOLM, 1964: Chemical inhibitions of crop germination by weed seeds and the nature of inhibition of *Abutilon theophrasti*. *Weed Research* **4**, 44-53.
- KAZINCZI, G., I. BÉRES, K. HUNYADI, J. MIKULÁS and E. PÖLÖS, 1991: A selyemmályva (*Abutilon theophrasti*) allelopatikus hatásának és kompetitív képességének vizsgálata (The allelopathy and competition ability of the velvetleaf *Abutilon theophrasti*). *Növénytermelés* **40**, 321-331.
- KAZINCZI, G., I. BÉRES, J. MIKULÁS and E. NÁDASY, 2004: Allelopathic effect of *Cirsium arvense* and *Asclepias syriaca*. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIX*, 301-308.
- KAZINCZI, G., I. BÉRES, A. ONOFRI, E. NÁDASY, A. TAKÁCS, J. HORVÁTH and M. TORMA, 2008: Allelopathic effects of plant extracts on common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.). *Journal of Plant Diseases and Plant Protection, Special Issue* **21**, 335-340.
- KAZINCZI, G., J. MIKULÁS, J. HORVÁTH, M. TORMA and K. HUNYADI, 1999: Allelopathic effects of *Asclepias syriaca* roots on crops and weeds. *Allelopathy Journal* **6**, 267-270.
- NAGY, V. and A. SZALAY, 2010: Effect of velvetleaf extracts on the germination and growth of some weed species. *Crop Production Suppl.* **59**, 389-392.
- NÁDASY, E., V. NAGY, G. KAZINCZI and R. ZABÓ, 2013: Examination of allelopathic effect and allelochemicals of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.). EWRS 16th Symposium, Samsun 2013. 79.
- PÁSZTOR, G. and I.E. NÁDASY, 2016: Különböző kölesfajok allelopatikus hatásának vizsgálata kukoricában (The allelopathic effect of different *Panicum* species on maize). 62. Növényvédelmi Tudományos Napok 2016 Budapest kiadványa, 66.
- PÁSZTOR, G., R. SZABÓ, I. BÉRES, A. TAKÁCS and E. NÁDASY, 2014: Common millet (*Panicum miliaceum*) - a new weed problem in maize in Hungary. - NEOBIOTA 2014 8th International Conference on Biological Invasions. Antalya, Turkey, Proceedings, 221.
- RASMUSSEN, I. and I.F. EINHEILLING, 1979: Inhibiting effects of three phenolic acids on gray sorghum germination. *Plant Science Letter* **14**, 69-71.
- RICE, E.L., (1984): Allelopathy. Academic Press, Orlando.
- ŠČEPANOVIĆ, M., N. NOVAK, K. BARIĆ, Z. OSTOJIĆ, N. GALZINA and M. GORŠIĆ, 2007: Alelopatiski utjecaj korovnih vrsta *Abutilon theophrasti* Med. i *Datura stramonium* L. na početni razvoj kukuruza. *Agronomski Glasnik* **696**, 459-472.
- STERLING, T.M., R.L. HOUTZ and A.R. PUTNAM, 1987: Phytotoxic exudates from velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) glandular trichomes. *American Journal of Botany* **74**, 543-550.
- SZABÓ, L. GY., 1997: Allelopathy – Phytochemical Potential – Life Strategy. JPTE, Pécs.
- TÓTH, Á., L. SZENTÉY and M. TORMA, 2002: Spread of allelopathic weeds in cultivated areas in Hungary, the role of allelopathy in spreading. Third World Congress of Allelopathy, Japan, 200.
- WILLIAMS, M.M., R.A. BOYDSTON and A.S. DAVIS, 2007: Wild Proso Millet (*Panicum miliaceum*) Suppressive ability among Three Sweet-corn Hybrids. *Weed Science* **55**, 245-251.

Study on the allelopathic effect of *Amaranthus retroflexus* L., *Datura stramonium* L. and *Panicum miliaceum* L. on the germination of maize

*Untersuchung zur allelopathischen Wirkung von *Amaranthus retroflexus* L., *Datura stramonium* L. and *Panicum miliaceum* L. auf die Keimung von Mais*

Rita Szabó*, Erzsébet Nádasy, György Pásztor

University of Pannonia, Georgikon Faculty, Keszthely, Deák str. 16., 8360 Hungary

*Corresponding author, szabo-r@georgikon.hu

DOI 10.5073/jka.2018.458.068



Abstract

Plant extracts of *Amaranthus retroflexus* showed an inhibitory effect on the development of both cotyledons and rootlets of maize in petri dish trials. In pot experiments, among the three examined weeds, dry plant residues of *Amaranthus* hindered the germination of maize to the greatest extent. It showed also a negative effect on the shoot length and weight, while there was a positive effect on the root length and weight.

A 2.5% concentration of *Datura stramonium* plant extracts showed a stimulative effect, but the 5% and 7.5% extracts inhibited the shoot and root development of germinating maize. In spite of a 60% germination rate, the incorporation of dry plant residues into the soil did not show any significant effect on the development of shoots, but a stimulative effect on root development was observed. However, the dry weight of roots exceeded the control values only at a concentration of 7.5%.

Plant extract of *Panicum miliaceum* had a stimulative effect on the shoot and root development of maize. Dry plant parts in the soil of the pots hindered the germination of maize, but significant effects on the shoot and root lengths could not be proven. At the 7.5% ratio the dry weight of shoots was higher than the control values, but all the other soil-plant part ratios caused lower values.

Keywords: *Amaranthus retroflexus*, *Datura stramonium*, dry weight, germination, *Panicum miliaceum*, plant extract, root, shoot

Zusammenfassung

Der Pflanzenextrakt von *Amaranthus retroflexus* zeigte eine hemmende Wirkung auf die Entwicklung der Kotyledonen und Wurzeln von Mais in Petrischalen-Versuchen. In Topfversuchen reduzierten die Trockenpflanzenreste von *Amaranthus* die Keimung von Mais weitestgehend. Auch zeigte sich ein negativer Effekt auf Sprosslänge und -gewicht, während ein positiver Effekt auf die Wurzellänge und -gewicht deutlich wurde.

Eine 2,5 %ige Konzentration von *Datura-stramonium*-Pflanzenextrakten zeigte eine stimulierende Wirkung, aber die 5 %- und 7,5 %igen Extrakte hemmten die Spross- und Wurzelentwicklung von keimendem Mais. Trotz 60 %iger Keimungsrate zeigte die Einarbeitung von trockenen Pflanzenresten in den Boden keine signifikanten Auswirkungen auf die Sprossentwicklung, aber es wurde eine stimulierende Wirkung auf die Wurzelentwicklung beobachtet. Das Trockengewicht der Wurzeln überschritt jedoch die Kontrollwerte nur bei einer Konzentration von 7,5 %.

Der Pflanzenextrakt von *Panicum miliaceum* wirkte stimulierend auf die Spross- und Wurzelentwicklung von Mais. Die trockenen Pflanzenteile im Boden der Töpfe behinderten die Keimung von Mais, aber signifikante Effekte auf die Trieb- und Wurzellängen konnten nicht nachgewiesen werden. Bei der Konzentration von 7,5 % war das Trockengewicht der Triebe höher als die Kontrollwerte, aber alle anderen Boden-Pflanzenteil-Raten hatten niedrigere Werte.

Stichwörter: *Amaranthus retroflexus*, *Datura stramonium*, Keimung, *Panicum miliaceum*, Pflanzenextrakt, Trieb, Trockengewicht, Wurzel

Introduction

One of the solid bases of today's agricultural production is the effective control of weeds. Weeds are responsible for about 34% of yield losses globally. Moreover, resistant species are revealed increasingly (KHAWAR et al., 2015). Improperly timed weed control measures, repetitive use of similar herbicides and spraying at an inappropriate phenological stage under unfavourable meteorological conditions can accelerate this process (SOLYMOSSI, 1990). There are about 6700 weed

species having effects on the plant production worldwide, 200 of them can be considered important, which may cause serious damage on every site where agricultural production is taking place (HOLM et al., 1977). Modern weed control has to be performed in the spirit of integrated plant protection, which means that efforts should be made to ensure properly timed mechanical weed control, profound knowledge of the weed flora and the prediction of the expected weed coverage of the given field.

Based on these, the number of treatments with herbicides should be reduced as far as possible and combination of differently acting herbicides should be used to avoid the appearance of resistant or tolerant biotypes of weeds. The headway of herbicide resistance requires more and more active ingredients, but their number is finite, and in addition to it, currently used herbicides are not allowed in biological production (SOLTYS et al., 2013). To eliminate this factor, it is important to have as many tools and technologies as possible to reduce the damage to weeds.

Understanding allelopathy helps to understand the interaction between cultivated plants and the weed flora and it may open up new opportunities for integrated and biological plant protection. The key compounds of allelopathy are the so-called allelochemicals that are synthesized by plants having allelopathic effects. These biologically active compounds have effects on the development of other plants in the surrounding of the emitting plant. Most of these compounds have negative effects, but they may have positive effects as well. These compounds can cause disturbance of germination or growth by upsetting photosynthesis, respiration, water balance and hormonal equilibrium, which processes are typically based on enzyme inhibitions (RICE, 1974, 1979, 1984; PUTNAM and TANG, 1986; SZABÓ, 1994; SOLYMOSSI, 1996; SZABÓ, 1997; INDERJIT and KEATING, 1999). By studying allelochemicals, exploring their mode of action, based on allelopathic processes, even new active ingredients can be produced, which can be used later in weed control. All these help to avoid the resistance of weeds and reduce the load of the environment with herbicides.

The use of allelopathic compounds can be an important component of future integrated and environmentally sound weed management, as increasing emphasis is placed on the research, development and application of environmentally friendly plant protection methods and devices.

In addition to the traditional chemical protection, integrated plant protection is preferred and the research of natural substances that can be used in organic and biological farming is also emerging.

Materials and Methods

Green samples of the given weed plants were collected in the summer of 2015. The samples of *Amaranthus retroflexus* and *Datura stramonium* were collected in August from sunflower and maize fields at Bajót (Komárom-Esztergom county, Hungary), the samples of *Panicum miliaceum* were collected from a stubble field in the vicinity of Keszthely (Zala county, Hungary).

The collected plant material, purified from soil residues has been dried for 6 weeks until air-dry condition. At the end of the drying process, a predetermined portion of the samples was selected for the Petri dish trials, and the rest was kept for the second stage of the experiment series for pot experiments. The dried plant parts (shoots, leaves) were cut into 1-2 cm pieces with secateurs and later homogenized with a coffee grinder.

The purpose of this experiment was to prove the allelopathic effect of the given species.

The experiment was designed with triple dilution line (2.5%, 5% and 7.5%) of plant extracts; therefore dry plant material was measured in required quantities for 200 ml of liquid, in this case distilled water, to obtain the desired solution. Plant samples had been left in the water within measuring cups for 24 hours at room temperature to allow the allelochemicals to dissolve.

At the end of the dissolution, Petri dishes were prepared. The seeds were placed on double-layer filter paper, and then were poured with 15 ml of extract (distilled water for control). For each concentration, 8 replications were used.

The germination experiment was performed with the seeds of the maize variety 'MV Koppány', placing 25 pieces in each cup. As a control, 4 replications were made, using only water instead of plant extract.

Subsequently, the Petri dishes were kept for 7 days at 20°C in a germinating incubator. The moisture content lost during the incubation was retrieved with water spray.

As an evaluation of the experiment, the germinating seeds were individually examined on the 7th day.

By measuring the length of the cotyledons and rootlets 2 times, 200 length data for each extraction concentration were taken. The average of these data was considered as the result of the respective concentration. The same method was used in the case of control Petri dishes, where the average length of 100 cotyledons and rootlets were calculated.

This process was carried out in the same way for all 3 weed species. The evaluation of seedlings treated with the extract of *Amaranthus retroflexus* was carried out on 11.04.2015, with the extract of *Datura stramonium* on 11.11.2015 and with the extract of *Panicum miliaceum* on 18.11.2015.

Pot experiment to study the effects of shoot and leaf residues of *Amaranthus retroflexus*, *Datura stramonium* and *Panicum miliaceum* on the germination of maize were also carried out.

In the second part of the experiment, the remainder part of the weed samples collected for the previous experiment were used, so their collection time and place were the same. In this case, however, 1-2 cm of dried plant pieces were broken into a smaller size range of 1-6 mm by an electric coffee grinder.

Two litres of common black mould were put into the pots, which served as a nutrient medium (Fig. 4). To the given medium, the 2.5%, 5% and 7.5% dilution line was used, adding the plant debris required for the desired concentration. The shredded plant parts were incorporated into the soil within the upper 6 cm layer.

For each concentration, 4 replications were planned, so for each mixture of 2.5% and 5% and 7.5% soil-plant parts 4 pots were assigned with 5 maize kernels per pot. The kernels were sown in a depth of 3 cm. For the control also 4 replications were designed; there were only black mould and maize kernels in the control pots.

The 4 pots belonging to the certain concentrations, with seeds and weed residues after being injected with 200 ml of water, were placed into a BINDER-type rearing chamber at 20°C for 30 days. The constant moisture was kept by irrigation throughout the germination period.



Fig. 1 Maize plants derived from pots treated with the residues of *Datura stramonium*.

Abb. 1 Maispflanzen aus Töpfen, die mit den Resten von *Datura stramonium* behandelt wurden.

The evaluation took place after 30 days. The germination percentage according to certain concentrations was calculated and the dry weight and the length of roots and shoots were

measured per plant. The average of the repetitions of the same plant residues / soil ratio was taken to the end result of the experiment.

All these steps were performed separately for each of the 3 weed species tested. The evaluation of maize treated with *Amaranthus retroflexus* samples was carried out on 19.10.2019, with *Datura stramonium* samples on 27.01.2017 (Fig. 1) and with *Panicum miliaceum* samples on 28.02.2017.

Results

Results of the Petri dish germination trials carried out with the plant extracts from *Amaranthus retroflexus*, *Datura stramonium* and *Panicum miliaceum*

In the case of all 3 plant extracts, the germination percentage ranged from 99% to 100% in every replication and in all concentrations, so a detrimental effect of the extracts on the germination of maize could not be revealed. Each seed developed a cotyledon and rootlet. The length of these cotyledons and rootlets was compared with the results of the control group to ascertain whether the extracts of weeds have an allelopathic effect on the germination.

During the evaluation, it was observed from the measured data that *Amaranthus retroflexus* extracts caused shorter lengths in the case of both the cotyledons and rootlets. Under the 2.5% dilution, the cotyledons reached 67% of the control average size, which was 25% in the case of the 5% dilution while it was 45.56% in the case of the 7.5% dilution. Thus, the strongest inhibition of shoot development was induced by the 5% solution.

Rootlets were also less developed in comparison to the control; in this case, the detrimental effect was proportional to the concentrations so the strength of inhibitory activity ranged from the smallest concentration to the highest. In reaction to the 2.5% plant extract, the rootlets reached 97% of the control size, 83.24% in the case of the 5% and 74.73% in the case of the 7.5% extracts.

Datura stramonium extracts also had an inhibitory effect. The average size of the cotyledons decreased proportionately with the concentration of the plant extracts, reaching 52.11% of the control size in the case of the 7.5% dilution. Rootlets showed a transient stimulatory effect at a concentration of 2.5% with more developed root components than the control ones, but in the case of 5% and 7.5% extracts growth inhibitory effect was manifested.

In the case of *Panicum miliaceum*, a stimulative effect was observed, similarly to the previous results of PRUTENSKAYA (1974). The 5% concentration had the highest positive effect on the growth of cotyledons; in this case the average length of them was 56.92% higher than the mean values of the control. The same positive effect was observed on root growth, where the average root size was 29.88% higher than the average root size.

By comparing the data by using single-factor analysis of variance, it can be established that there was a difference at 5% significance level between the effect of each weed extract on rootlets and cotyledons compared to controls and concentrations. These were potent inhibitory effects in the case of *Amaranthus retroflexus* and *Datura stramonium* while stimulative effect in the case of *Panicum miliaceum*.

Results of groups by concentrations with their significance level are shown in Table 1.

Tab. 1 Results of the Petri dish germination trials.

Tab.1 Ergebnisse der Petrischalen-Keimungsversuche.

Weed extract	Germinating maize	Control	2.5%	5%	7.5%	SD5%
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Length of cotyledon (mm)	21.30	14.43	5.33	9.73	21.30
	Length of rootlet (mm)	89.35	86.85	74.38	66.78	7.68
<i>Datura stramonium</i>	Length of cotyledon (mm)	21.3	34.05	19.76	11.10	2.59
	Length of rootlet (mm)	89.35	98.09	63.61	57.19	5.99
<i>Panicum miliaceum</i>	Length of cotyledon (mm)	21.30	33.43	44.03	25.38	4.37
	Length of rootlet (mm)	89.35	105.13	116.05	99.55	7.49

Group results of the length of cotyledons and rootlets compared to the control are demonstrated in Figure 2.

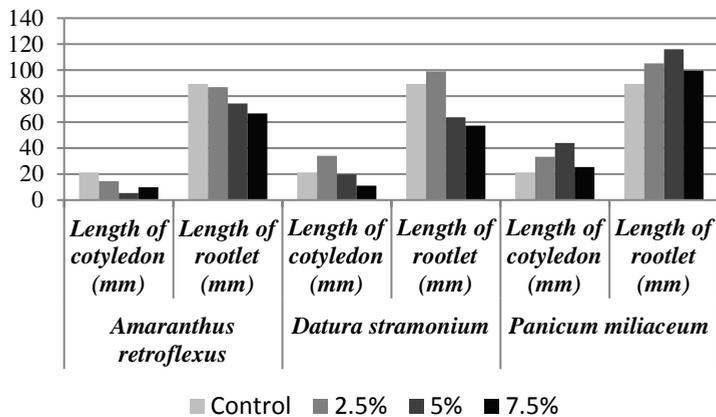


Fig. 2 Overall results of the Petri dish trials.

Abb. 2 Gesamtergebnis der Petrischalenversuche.

It can be seen that the inhibitory or stimulative effect does not necessarily follow the dilution line. The 2.5% solution of *Datura stramonium* had a stimulative effect, only the more concentrated solutions showed inhibitory effect. In the case of the *Panicum miliaceum* extracts, the 5% concentration showed the strongest stimulative effect. The reason of this may be that allelochemicals are able to quench the effect of excessive nutrients in the solution at a given concentration. In addition, consideration should be given to the inhibitory effects derived from the potential differences of solutions, which are independent from the allelopathic effects.

The more concentrated solutions are more difficult to absorb into the seeds, so they can absorb less water for germination. Additionally, plant residues contain spare nutrients besides allelochemicals, which may be released and become available for germinating seeds as germination supporting agents. These effects make it difficult to study allelochemicals.

Results of the pot experiment carried out with stalk and leaf residues of *Amaranthus retroflexus*, *Datura stramonium* and *Panicum miliaceum* on the germination of maize

Germination percentage

In the pot experiment, the effect of weed shoots and leaf fragments on maize germination appeared detrimentally as compared to the control group. In the control pots, all maize seeds germinated successfully, resulting in 100% germination.

During the experiment, it was revealed that the germination of maize was reduced in the case of all weeds in all concentrations compared to the control (Fig. 3). In the greatest extent, *Amaranthus retroflexus* plant parts hindered the germination, but reversely to the proportion of plant debris, the smallest concentration inhibited mostly the germination of maize (35% germination).

Datura stramonium also decreased the germination, but soil-plant residue ratios did not show any significant difference in this extent. In all three concentrations, the germination ratio was about 60%.

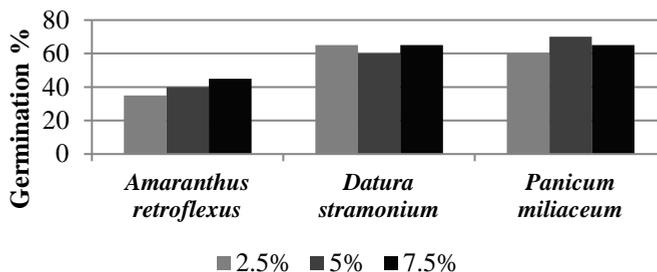


Fig. 3 Germination percentage results for the maize pot experiment according to the concentration of weed plant residues.

Abb. 3 Prozentuale Keimung von Mais im Topfversuch in Abhängigkeit der Konzentration der Unkrautpflanzenreste. *Panicum miliaceum* plant parts also had a hindering effect on the germination compared to the control group. In this case, the 5% soil-residue ratio resulted in the highest plant number, similarly to the Petri dish experiment, where the 5% solution had the highest stimulative effect (Fig. 3).

Effect of weed plant residues on the length of roots and shoots

In this experiment, shoot and leaf residues decomposed during germination, so besides the allelopathic effect, the nitrogen and water removal effect of the bacteria involved in the decomposition has to be taken into account as well. The absence of germination and differences in cotyledon and rootlet lengths may be attributed to this effect, apart from the effects of any allelochemicals.

During the evaluation, the length of shoots and roots were measured separately. Their lengths were compared to the results of the control group in order to determine whether any inhibitory or stimulative allelopathic effect on germinating maize's shoot and root lengths manifested on the effect of weed shoot and leaf residues incorporated into the medium. The data were processed by single-factor analysis of variance.

After comparing the results, it was found that *Amaranthus retroflexus* caused the smallest germination percentage, but the greater the amount of its plant residues in the pots, the greater the length of roots and shoots developed on the maize (Tab. 2). At a 7.5% plant part ratio, the average length of the shoots corresponded to the average length of the control. The average length of the roots exceeded the control group's values with the exception of the 2.5% concentration. Both the shoot ($SD_{5\%} = 7.21\%$) and the root growth ($SD_{5\%} = 8.81\%$) showed significant differences compared to the values in the control group.

In the case of *Datura stramonium*, although the average length of maize shoots decreased proportionally with the concentrations, it did not show significant differences (Tab. 2). The root length averages ($SD_{5\%} = 9.83$) however differed significantly. In this case, the highest root mass was developed at the 5% concentration, but the root mass at all concentrations exceeded its values in the control group, so a kind of stimulative effect occurred.

In the case of *Panicum miliaceum*, no significant difference between the shoot ($SD_{5\%} = 9.04$) and the root lengths ($SD_{5\%} = 9.01$) was found compared to the control group. The results are shown in Table 2.

Tab. 2 Shoot and root length results of germinating maize in the pot experiment according to the soil-plant part ratios (%).

Tab. 2 Spross- und Wurzel-Längen von keimendem Mais im Topf-Experiment je nach den Boden-Pflanzenteil-Verhältnissen (%).

Weed species	Germinating maize	Control	2.5%	5%	7.5%	SD5%
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Length of shoot (cm)	54.55	34.43	42.25	54.78	7.22
	Length of root (cm)	37.40	35.00	56.63	46.22	6.82
<i>Datura stramonium</i>	Length of shoot (cm)	54.55	55.62	51.25	50.62	10.25
	Length of root (cm)	37.40	49.77	51.25	41.69	9.83
<i>Panicum miliaceum</i>	Length of shoot (cm)	54.55	48.17	44.86	46.08	9.05
	Length of root (cm)	37.40	40.42	36.00	33.85	9.01

The average length of shoots and roots according to the experimental groups and concentrations are shown in Figure 4.

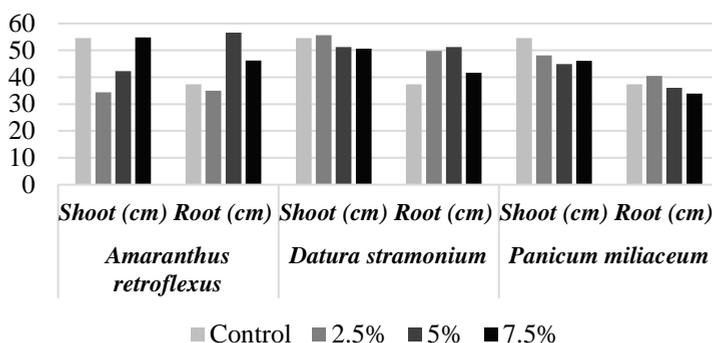


Fig. 4 Length of shoots and roots of maize according to the soil-plant ratios.

Abb. 4 Länge der Sprossen und Wurzeln von Mais in Abhängigkeit des Boden-Pflanzen-Verhältnisses.

Effect on the dry weight of maize plants

The germinated maize plants were weighed and left to become dry. The dry weight of roots and shoots were measured separately. From the total weight and number of germinated plants, the average dry weight of experimental groups per plant could be calculated. So our results show the average dry weight per plant. The values found during the measurement are summarized in Table 3.

Under the effect of *Amaranthus retroflexus* plant debris, the dry weight of maize plants lagged behind the control group. The lowest dry weight value was measured at a ratio of 2.5% and the dry weight per plant was lagged to the highest extent in comparison with the control. The inhibitory effect was inversely affected by the increase in concentration, and at 7.5%, the dry weight almost reached the control value. The dry weight of roots at all three concentrations exceeded the control group's values by far, which fits to the stimulative effect on the root lengths. Therefore, *Amaranthus retroflexus* had a positive impact on the growth of the roots.

Tab. 3 Dry weight of maize shoots and roots according to the experimental groups and weed species in the pot experiment.

Tab. 3 Trockengewicht der Sprosse und Wurzeln von Mais in Abhängigkeit der experimentellen Gruppen und Unkrautarten im Topfversuch.

Weed species	Dry weight/plant specimen	Control	2.5%	5%	7.5%
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Shoot (g)	0.5	0.19	0.44	0.47
	Root (g)	0.31	0.62	0.68	0.67
<i>Datura stramonium</i>	Shoot (g)	0.50	0.60	0.45	0.65
	Root (g)	0.31	0.22	0.28	0.32
<i>Panicum miliaceum</i>	Shoot (g)	0.50	0.36	0.39	0.52
	Root (g)	0.31	0.15	0.23	0.26

Under the effect of *Datura stramonium* plant residues, with the exception of the 5% ratio, both groups showed a stimulative effect on the dry weight of the shoot. The root weight remained below the control values at 2.5% and 5%, but exceeded them in the 7.5% group.

Panicum miliaceum had a negative effect on both the root and shoot weight. Only 7.5% concentration resulted in a higher shoot weight ratio than the control group (Fig. 5).

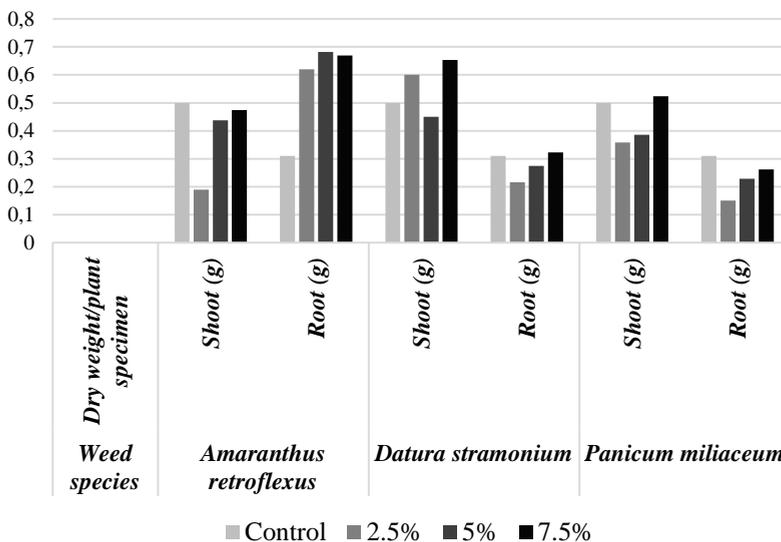


Fig. 5 Dry weight of maize shoots and roots under the effect of different ratios of weed stalk and leaf residues in the pot experiment.

Abb. 5 Trockengewicht-Daten von Mais-Trieben und -Wurzeln in Abhängigkeit der verschiedenen Verhältnisse von Unkraut Stiel- und Blattresten in den Topf-Experimenten.

Conclusions

A number of research studies have proved that some weeds have allelopathic effects that affect the development of other plants in their surroundings. The three species, *Amaranthus retroflexus*, *Datura stramonium* and *Panicum miliaceum* studied in this research based on previous results, also belong to these group based experiments of previous years and decades. In addition to their allelopathic effect, they are considered as major weeds. According to the latest (2007-2008) national weed survey, *Amaranthus retroflexus* is the 7th, *Datura stramonium* is 9th, and *Panicum miliaceum* 10th in the list of the most dangerous agricultural weeds. In the light of this, knowledge of allelopathic effects of these weeds is important for successful weed control and for prevention of their further spread.

Petri dish germination trials

The *Amaranthus retroflexus* extract showed growth inhibitory effect on both the maize cotyledons and rootlets. The effect on root development closely followed the elevation in the concentrations so the highest concentration caused the strongest inhibition. *Amaranthus retroflexus* plant extracts therefore exhibit a negative allelopathic effect on maize.

In the case of *Datura stramonium* extracts, the smallest, 2.5% concentration caused a stimulative effect on both cotyledons and rootlets, but the 5% to 7.5% solutions had inhibitory effects.

In the case of *Panicum miliaceum*, a stimulative effect was observed for the growth of both cotyledons and rootlets in each of the 3 concentrations. The 5% solution exerted a stimulative effect to the greatest extent. *Panicum miliaceum* extracts showed allelopathic effects on germination, as PRUTENSKAYA (1974) had shown earlier.

By evaluating the data with single-factor analysis of variance, it can be stated that at 5% significance level there was a difference among the effects of all weed extracts on cotyledon and rootlet development of maize, so these results are statistically verified.

From the above results, it can be seen that *Amaranthus retroflexus* and *Datura stramonium* are also a major competitor in the cultivation environment of maize. Not only by their competitive properties but also by their germination inhibitory effect they can make it difficult for maize to germinate and develop. Both weed species produce allelochemicals that can inhibit the germination and subsequent development of crop plants.

Although *Panicum miliaceum* is a major weed, causing serious damage its plant extract has a stimulative effect on the germination and later shoot and root developments of maize.

Pot experiments

When incorporating *Amaranthus retroflexus* shoot and leaf residues into the soil, the average shoot and root lengths of germinating maize differed from the control group. The 2.5% and 5% plant-soil ratio had a negative effect on the germination of maize. In the case of root length, the 5% and 7.5% ratios showed a stimulative effect. For each of the 3 concentrations, the dry mass of root per plant was higher than that in the control group, however, the dry weight of shoots per plant was below the control values.

The *Datura stramonium* plant parts had a stimulative effect on the root development of maize, all three ratios showed similar effect, with the 5% group being most prominent. The effect of residues of *Datura stramonium* on the shoot and root length could not be statistically proven, there was no significant difference among groups.

The groups treated with the residues of *Panicum miliaceum* did not show any significant difference the stimulative or inhibitory effects in this experiment were not statistically proven.

The dry plant parts of all three weeds resulted in a decrease in germination percentage in all tested concentrations compared to the control.

A number of factors that are important to consider can complicate allelopathic examinations. The concentration of the plant extracts with the growth of the osmotic potential can in itself have an inhibitory effect besides the effects of allelopathic compounds. Decomposing plant residues remove nitrogen and water from the soil, which also has a detrimental effect on the development of the young plants independently on allelopathic effects.

Investigations should consider these effects and it is important to perform the trials primarily in combinations. More accurate and reliable results can be obtained by combining laboratory tests (bioassays, greenhouse and field experiments) to investigate the allelopathic effects of certain plants.

References

- HOLM, L.S., D.L. PLUCKNETT, J.V. PANCHO and J.P. HERBERGER, 1977: The World's Worst Weeds. Distribution and Biology. Univ. Press. Hawaii, 609 pp.
- INDERJIT and K.I. KEATING, 1999: Allelopathy: Principles, Procedures, Processes, and Promises for Biological Control. *Advances in Agronomy* **67**, 141–231.
- KHAWAR, J., M. GULSHAN, S. VIRENDER and S.C. BHAGIRATH, 2015: Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection* **72**, 57-65.
- PRUTENSKAYA, N.I., 1974: Peculiarities of interaction between *Sinapis arvensis* L. and cultivated plants. In "Physiological – Biochemical Basis of Plant Intereactions Phytocenoses" (A. M. GRODZINSKY, ed.) Kiev. Naukova Dumkavol. **5**, 60-68.
- PUTNAM, A.R. and C.S. TANG, 1986: The Science of Allelopathy. Wiley, New York.
- RICE, E.L., 1974: Allelopathy. Academic Press, Inc. New York, 353.
- RICE, E.L., 1979: Allelopathy an update. - *Bot. Rev.* **45**, 15-109.
- RICE, E.L., 1984: Allelopathy. Academic Press, Orlando, Florida.
- SOLYMOSI, P., 1990: A herbicidrezisztenciáról. *Magyar Tudomány* **10**, 1129-1139.
- SOLYMOSI, P., 1996: Gyomszabályozásra használható donornövények. *Növényvédelem* **32**, 23-34.
- SOLTYS, D., U. KRASUSKA, R. BOGATEK and A. GNIAZDOWSKA, 2013: Allelochemicals as bioherbicides. Present and perspectives. In: PRICE, A. J. – KELTON, J. A. (Eds). *Herbicides - Current Research and Case Studies in Use*. In tech **20**, 517-542.
- SZABÓ, L., 1994: Fitokémiai analógiák ökológiai vonatkozásai. *Gyógyszerészet* **38**, 567-571.
- SZABÓ, L., 1997: Allelopathy – Phytochemical Potential – Life Strategy, JPTE Pécs, 129.

The implications of *Panicum miliaceum* in the viral epidemiology of cereals

Die Bedeutung von Panicum miliaceum in der viralen Epidemiologie von Getreide

György Pásztor*, Erzsébet Nádasy, András Takács

Institute of Plant protection, Georgikon Faculty, University of Pannonia, Hungary

*Corresponding author, pasztor018@gmail.com

DOI 10.5073/jka.2018.458.069



Abstract

Common millet (*Panicum miliaceum* L.) is a spreading weed in Hungary, it can be found mostly on maize fields, but it has been investigated, that it is more and more often occurring in other cultivated plants, like potato, wheat, and other cereals. It can widely spread because of the lack of seed dormancy. This weed is a close relative to wheat, so the aim of the experiment was to investigate, which wheat viruses can infect of the common millet (*Panicum miliaceum* L.).

Forty-five millet leaf samples were collected from fields in 2014 and 2015 near Keszthely, Zala County, and 35 leaf samples in 2016 near Keszthely. After the collection, the samples were immediately frozen and stored at -20°C. The DAS ELISA serological method was used to determine wheat viruses from the leaves.

Among the 80 collected leaf samples 27 gave positive results. Simple virus infection were realised in 20 samples. 10 times Wheat streak mosaic virus (WSMV), 7 times Wheat dwarf virus (WDV), 6 times Barley stripe mosaic virus (BSMV), 5 times Barley yellow dwarf virus (BYDV), and 1 time Brome streak mosaic virus (BStMV) was detected. Brome mosaic virus (BMV) was detected in 4 samples. Complex infections were detected in 5 samples: in 3 samples WDV and WSMV, and in 1 sample WDV, WSMV and BYDV, and in 1 sample BMV, WDV and BYDV. After the first investigation other samples were collected, in order to continue the examination. These results indicate that *Panicum miliaceum* can play a major role in the distribution of different cereal virus species.

Keywords: Common millet, *Panicum miliaceum*, serological test, viral infection, wheat

Zusammenfassung

Die Echte Hirse (*Panicum miliaceum* L.) ist ein häufigeres Unkraut in Ungarn, das man meistens auf Maisfeldern findet, aber auch immer häufiger in anderen Kulturpflanzen wie Kartoffel, Weizen und anderem Getreide. Es kann sich wegen fehlender Dormanz weiter ausbreiten. Dieses Unkraut ist als Gras relativ nah mit Weizen verwandt, so dass es Ziel des Experiments war, zu untersuchen, welche Weizenviren *Panicum miliaceum* infizieren können.

Fünfundvierzig Hirse-Blattproben wurden 2014 und 2015 auf Feldern in der Nähe von Keszthely (Kreis Zala) und 35 Blattproben im Jahr 2016 auch in der Nähe von Keszthely gesammelt. Die Proben wurden sofort eingefroren und bei -20°C gelagert. Die serologische Methode DAS ELISA wurde verwendet, um Weizenviren an den Blättern zu bestimmen.

Unter den 80 gesammelten Blattproben gab es 27 positive Ergebnisse. Eine einfache Virusinfektion wurde in 20 Proben gefunden. 10-mal Weizenstreifen-Mosaikvirus (WSMV), 7-mal Weizenzwergvirus (WDV), 6-mal Gerste-Streifen-Mosaikvirus (BSMV), 5-mal Gerste-Gelb-Zwergvirus (BYDV) und 1-mal Brom-Streifen-Mosaikvirus (BStMV) wurde nachgewiesen. Brom-Mosaikvirus (BMV) wurde in 4 Proben nachgewiesen. Komplexe Infektionen wurden in 5 Proben festgestellt: In 3 Proben wurden WDV und WSMV, in einer WDV, WSMV und BYDV sowie in einer BMV-, WDV- und BYDV-Komplexinfektion identifiziert. Nach der ersten Untersuchung wurden weitere Proben gesammelt, um die Untersuchung fortzusetzen. Diese Ergebnisse zeigen, dass Hirse als Unkraut eine wichtige Rolle bei der Ausbreitung von Getreidevirusarten spielen kann.

Stichwörter: Echte Hirse, *Panicum miliaceum*, serologischer Test, Virusinfektion, Weizen

Introduction

Millet species (*Panicum* spp.) are not just weeds, they represent a really strong competition and play also a role in spreading cereal viruses. This is an important form of damage by weeds, because these species are host plants of viruses, so viruses can infect crops from the weeds. Several viruses have been identified amongst wild and cultivated millet species in several cases. Firstly wheat streak mosaic virus has been identified in Hungary in 1985 by POCSAI and BARABÁS, but it is well

known in more than twenty countries. It was identified from the millet species *P. capillare* in Australia and the United States (CHRISTIAN and WILLIS, 1993; COUTTS, 2008). In the work of LAPIERRE and SIGNORET (2004) is mentioned, that the Barley yellow mosaic virus is a pathogen of millet species. This virus is widespread and economically extremely important (ROCHOW, 1970; SMITH, 1972; D'ARCY and BURNETT, 1995; POCSAI, 1995; SZUNICS et al., 1995) and it was identified in Hungary firstly by SZIRMAI (1967). This fact carries several problems: because recently a lot of alien millet species has been identified, there is a high risk that those species will carry the most important wheat viruses too. Consequently, the dominant millet species *Panicum miliaceum* needs to be examined, if it contains any of the most dangerous wheat viruses of Hungary. The millet causes a major problem in maize, but in the recent years, it has been found in other cultures too, like wheat stubble and potato (PÁSZTOR and NÁDASY, 2016). In the past, three species (*Panicum miliaceum*, *Panicum miliaceum* subsp. *runderale*, *Panicum capillare*) were reported in the Hungarian weed survey (SIMON, 2000). Recently, however, new adventurous species have emerged and become dangerous weeds (MAGYAR and KIRÁLY, 2014). That's the first signal of the mild climate change in Hungary, the millet, which is also a thermophilic species, is spreading into other crops. Consequently, wheat is highly compromised by wheat viruses. The purpose of the experiment was to examine this threat, especially its viral infection.

Materials and Methods

The aim of the experiment was to investigate the viral contamination of cultivated millet in arable fields as weeds and to determine their epidemiological significance for major grain viruses. The survey was conducted in cereal grower areas in Keszthely (Zala county) and Lesencefalu (Veszprém county) in September 2014, 2015 and 2016.

Forty-five *Panicum miliaceum* leaf samples were collected during the investigation in September of 2014 and 2015: 35 samples from grain-field stubble near Lesencefalu, and 10 samples from Keszthely. Another 35 samples were collected in 2016 near Keszthely. The collected samples showed signs of viral infection. The laboratory test requires, that all samples need to be packed individually in polyethylene bags and stored at -20 °C.

The most commonly used serological test, the double antibody sandwich DAS ELISA test was used. The LOEWE Biochemica Brome mosaic virus, Brome dwarf mosaic virus, Brome streak mosaic virus, Barley stripe mosaic virus, Barley yellow dwarf virus, Wheat dwarf mosaic virus and Wheat dwarf virus serum pack were applied to the testing. These serum packs contain a coating IgG and a conjugate too.

Results and Discussion

From the 45 leave samples from the 3 years, viral infection has been proven in 27 cases. The Wheat streak mosaic virus was the most common amongst the samples, 10 samples showed the presence of the infection. In 7 samples the Wheat dwarf virus and in 6 cases Barley stripe mosaic virus was identified, among these 5 Barley yellow dwarf virus and 1 Brome streak mosaic virus infection were found. The Brome mosaic virus was identified in 4 cases (Tab. 1). Complex infection also has been found. Three samples with 2 viruses (WDV, WSMV), and one sample with 3 viruses (WDV, WSMV, BYDV) were infected.

In 2015, there was a lot of rainfall, causing vectors to accumulate a powerful infection. From the 30 samples from this year, just the WSMV caused a near 33 percent infection, but near 66 percent of the samples was infected. In 2016, just the BMV was powerful pathogen, with 11 percent of infection. But, because of the dry summer, in 2014 and 2016 the infection was not significant.

In the samples collected in 2014 and 2015, WSMV, WDV and BSMV infections were more pronounced than BYDV and BstMV viruses. We could not justify the presence of BMV from the examined samples.

Tab. 1 Number of virus-infected *Panicum miliaceum* samples per year.

Tab. 1 Anzahl der Virus-infizierten *Panicum miliaceum*-Proben pro Jahr.

	BMV	BSMV	BStMV	BYDV	WDV	WSMV
2014	0	4	1	0	0	0
2015	0	2	0	2	6	10
2016	4	0	0	3	1	0

Figure 1 shows the amount of multiple viral infected plants. Four complex infections were found according to the virus diagnostic tests. Wheat dwarf virus (WDV) and Wheat streak mosaic virus (WSMV) were commonly found in 3 samples. In 1 sample Wheat dwarf virus (WDV), Wheat streak mosaic virus (WSMV) and Barley yellow dwarf virus (BYDV) was detected.

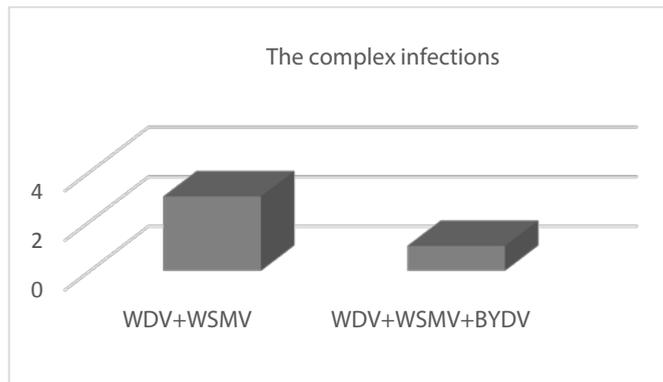


Fig. 1 The complex viral infections according to the DAS ELISA test.

Abb. 1 Die komplexen Virusinfektionen nach dem DAS-ELISA-Test.

The study is unique, because so many viral diseases in such complexity were never identified from *Panicum miliaceum*. The main priority is successful weed control and prevention of spreading of new alien *Panicum* species. The reduced agricultural technology promotes the spread of the pests, like new weed species and also the virus vectors and viruses. But if the stubble of the fields and the cultivation works are carried out in time, the spreading of the pests can be reduced. It is advisable to choose resistant varieties in crop production. For good production of virus resistant varieties optimal plant nutrition is important, because it helps the genetically determined natural defence mechanism of plant. The massive proliferation of pests can be significantly reduced by prevention. Further investigation of *Panicum* species is strongly recommended, because they can be found in other cultures too, and there are a lot more viruses that can infect the millets and therefore the cultivated plants too. For example, in Hungary *Panicum* species cause major problems in maize fields, but it can easily happen that the two maize viruses (the Maize mosaic virus and the Sugarcane mosaic virus) can also infect those species. It is needed to extend the examination on the alien *Panicum* species too.

The results show that the weedy subspecies of cultivated millet can play a significant role in spreading certain cereal viruses beyond their direct competitive effect. Taking this into account, it is of utmost importance to control these *Panicum* weeds in order to prevent their spreading.

References

- CHRISTIAN, M.L. and W.G. WILLIS, 1993: Survival of wheat streak mosaic-virus in grass hosts in Kansas from wheat harvest to fall wheat emergence. *Plant Diseases* **77**, 239-242.
- COUTTS, B.A., 2008: The epidemiology of wheat streak mosaic virus in Australia: case histories, gradients, mite vectors, and alternative hosts. *Australian Journal of Agr. Res.* **59**, 844-853.
- D'ARCY, C.J. and P.A. BURNETT, 1995: Barley yellow dwarf: 40 years of progress. Elsevier, 1995.
- LAPIERRE, H. and P.A. SIGNORET, 2004: Viruses and Virus diseases of *Poaceae* (*Gramineae*). INRA Paris.

- MAGYAR, L. and G. KIRÁLY, 2014: Mai szemmel a *Panicum miliaceum* alakkörének hazai taxonjairól (En: The domestic taxa of the *Panicum miliaceum* branch today.). - Magyar Gyomkutatás és Technológia, 15: 93-94. In: PÁSZTOR GY., NÁDASYNÉ IHÁROSI E., 2016b: A köles fajok (*Panicum* spp.) hazai elterjedése, biológiája és a védekezés lehetőségei (En: The domestic distribution, biology and defense against the millet species (*Panicum* spp.)). Magyar Gyomkutatás és Technológia **17**, 3-14.
- PÁSZTOR, G. and E. NÁDASYNÉ IHÁROSI, 2016: A köles fajok (*Panicum* spp.) hazai elterjedése, biológiája és a védekezés lehetőségei (Eng: The domestic distribution, biology and defense against the millet species (*Panicum* spp.)). Magyar Gyomkutatás és Technológia **17**, 3-14.
- POCSAI, E., 1995: Az árpa sárga törpeség víruskutatás eredményei Magyarországon (En: The results of yellow dwarf barley viral research in Hungary). Növényvédelem **31**, 5-10.
- POCSAI, E. and Z. BARABÁS, 1985: A búza csíkos mozaik vírus identifikálása Magyarországon (Eng: Identifying wheat streaked mosaic virus in Hungary). Növényvédelem **21**, 411.
- ROCHOW, W.F., 1970: Barley yellow dwarf virus. CMI/AAB Descriptions of Plant Viruses **32**, 1-4.
- SIMON, T., 2000: A magyarországi edényes flóra határozója. Harasztok- virágos növények (En: The determination of the Hungarian vascular flora. Ferns – Flowering Plants). Nemzeti tankönyvkiadó Rt., Budapest.
- SMITH, K.M., 1972: A Textbook of Plant Virus Diseases. 3rd ed., Longman, London, 1972. 684 pp.
- SZIRMAY, I., 1967: Új vírusbetegség gabonaföldjeinken (En: New viral disease in our cereal fields). Magyar Mezőgazdaság **22**, 19.
- SZUNICS, L., E. POCSAI, E. SZUNICS and G. HADI, 1995: Milyen árpa sárga törpeség vírus törzsek találhatók a gabonában? (What barley yellow dwarf virus strains are found in grain?). Az MTA Mezőgazd. Kutatóintézet és Kísérleti Gazdaság Közleménye, Martonvásár **2**, 8-9.

Yield losses in vegetable and arable crops caused by yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) in farmers fields in Switzerland

Ertragsverluste durch Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) in Feld- und Gemüsekulturen in der Schweiz

René Total^{1*}, Lutz Collet², Jonathan Heyer², Martina Keller¹

¹ Agroscope, Schloss 1, 8820 Wädenswil, Schweiz

² Grangeneuve, 1725 Posieux, Schweiz

*Korrespondierender Autor, rene.total@agroscope.admin.ch

DOI 10.5073/jka.2018.458.070



Abstract

Cyperus esculentus has become a serious weed in Switzerland. Despite intensive awareness training unaffected farmers tend to underestimate the consequences of *C. esculentus* infestation, especially the potential yield losses. Hence, countermeasures are often taken hesitantly.

Yield loss data from abroad is widely available. However, this data was of limited value to raise awareness in Switzerland, because its transferability to our production systems was questioned. To close this gap yield losses caused by *C. esculentus* were determined for different crops in farmers' fields in Switzerland (2013-2016).

Yield was assessed with and without *C. esculentus* infestation and its coverage was estimated. Standard herbicides had been applied in the fields. For sugar beet and potatoes average, actual yield losses of 67% and 34% were detected at *C. esculentus* coverages of 68% and 44%, respectively. High infestation (80-100%) in leek, onions and Brussels sprouts caused losses of 86%, 90%, 93%, accordingly. In carrots: A high infestation led to 61% yield loss. At these infestation levels yield quality was also negatively affected.

In Switzerland, these figures are employed to further train farmers. The findings are presented here to make this more recent yield loss data available to colleagues facing the same problem in their countries.

Keywords: Brussels sprouts, carrots, interference, leek, onions, potatoes, sugar beet

Zusammenfassung

Cyperus esculentus ist zu einem Problemunkraut in der Schweiz geworden. Trotz Sensibilisierungsanstrengungen werden die drohenden Ertragsverluste von noch nicht betroffenen Landwirten oft unterschätzt. Dementsprechend wird den Auswirkungen eines Erdmandelgrasbefalls zu wenig Beachtung geschenkt und Eindämmungs- und Bekämpfungsmaßnahmen werden oft nur zögerlich ergriffen.

Ertragsverlustzahlen aus dem Ausland sind breit verfügbar. Diese Zahlen erwiesen sich aber nur als bedingt hilfreich, um Schweizer Landwirte zu sensibilisieren. Die Übertragbarkeit auf Schweizer Anbausysteme wurde bezweifelt. Um diese Datenlücke zu schließen, wurden entsprechende Ertragsdaten für verschiedene Kulturen auf Schweizer Praxisflächen erhoben (2013-2016).

Erträge mit und ohne Besatz von *C. esculentus* wurden erhoben und dessen Deckungsgrad geschätzt. Auf den Flächen war eine praxisübliche, chemische Unkrautbekämpfung erfolgt. Für Zuckerrüben und Kartoffeln betragen die Ertragsverluste durchschnittlich 67 % und 34 %, bei einer *Cyperus*-Bedeckung von 68 % respektive 44 %. Bei einem hohen Besatz (80-100 % Deckungsgrad) betragen die Ertragsverluste in Lauch, Zwiebeln und Rosenkohl 86 %, 90 % and 93 %. In Karotten führte ein starker Befall zu einer Ertragsreduktion von 61 %. Bei so hohen Dichten war auch die Qualität des Ernteguts beeinträchtigt.

Die Ergebnisse sollen dazu dienen, Schweizer Landwirte weiter zu sensibilisieren. Die Ergebnisse werden zudem Forschungsinstituten bzw. landwirtschaftlichen Beratungsinstitutionen in anderen Ländern zur Verfügung gestellt, die mit der gleichen Problematik konfrontiert sind.

Stichwörter: Karotten, Kartoffeln, Konkurrenz, Lauch, Rosenkohl, Zuckerrüben, Zwiebeln

Introduction

Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) is considered one of the worst weeds worldwide (HOLM et al., 1991). It was observed for the first time in Switzerland about 30 to 40 years ago. Meanwhile it has spread and can be found in all vegetable growing and arable farming areas. Despite its reputation as one of the worst weeds worldwide and its rapid spread, farmers took and still tend to take the weed not seriously enough. This may be due to the fact, that they underestimate the consequences of *C. esculentus* infestations and especially the resulting yield losses.

Yield loss data for *Cyperus* species (*C. esculentus* and *C. rotundus*) from abroad is widely available (e.g. STOLLER et al. 1979, STOLLER, 1981; FELIX and BOYDSTON, 2010). KEELEY (1987) provided an overview of yield losses in various crops due to *C. esculentus* infestation. In a recent study, FOLLAKE et al. pointed out that yield losses were mainly determined in North America and that quantitative data of yield losses from Europe is scarce (2016). They also stressed that the transferability of data from North America is limited due to different climate and cropping practices (FOLLAKE et al., 2016). In Switzerland, we experienced the same criticism against yield loss data from abroad. It became clear, that for our extension work, yield loss data from Switzerland is a key element. Thus, the aim of this study was to determine yield losses caused by *C. esculentus* for different crops in farmers' fields in Switzerland.

Materials and Methods

Actual yield losses caused by *C. esculentus* were determined in Swiss fields from 2013 to 2016. Infested fields were chosen according to infestation levels, crop and possibility to sample. Per field 3 to 5 samples were taken, when possible from different *C. esculentus* patches. Infestation levels were estimated as coverage (%) and when feasible *C. esculentus* density was assessed (plants m⁻²). 3 to 5 samples from field areas with none too little infestation were collected as well (Tab. 1). In the fields standard weed control had been carried out, which was mainly chemical and can be characterized as intensive. The same had been the case for pest control in general. Thus, we assumed that the average yield without *C. esculentus* (actual yield) was similar to the attainable yield for the field in the corresponding year. As a consequence we could calculate the actual yield loss (%) due to *C. esculentus* infestation (OERKE, 2006):

$$\text{actual yield loss} = 100 \times \left(1 - \frac{\text{average yield with } C. \text{esculentus}}{\text{average yield without } C. \text{esculentus}} \right)$$

For summer onions (2015) and carrots (2015) samples over a wider range of infestation levels could be collected (onions: 8 samples; carrots: 9 samples in total). In onions, an area of 0.6 m⁻² was harvested per sample. In carrots, a ridge length of 0.5 m was harvested per sample. These samples allowed modeling a nonlinear yield loss curve employing the drc package in R (RITZ et al., 2015; R CORE TEAM, 2016). The 3 parameter Michaelis-Menten model was used (RITZ et al., 2015).

Results

For potatoes we found actual yield losses of 39 and 28% in 2013 and 2014 (Tab. 1). For sugar beet actual yield losses were 62% and 71% for 2013 and 2014. In sugar beet the infestation level was on average higher. In vegetables the observed infestation levels and thus effects of *C. esculentus* were even higher compared to the arable crops: Infestation levels from 80 to 100% coverage in leek, onions and Brussels sprouts caused losses of 86%, 90% and 93%, accordingly (2014, 2015 and 2016). An intermediate infestation of *Cyperus esculentus* (40%) resulted in a yield loss of almost 62% in the Brussels sprout field. This field was heavily infested. Thus, we had to take samples for the "non-infested" group also in spots where some *C. esculentus* plants were growing (coverage < 10%). The stems of Brussels sprout plants exposed to intermediate and high *C. esculentus* competition were considerably smaller compared to the plants with no to little competition: 0.38 m and 0.40 m compared with 0.65 m (data not shown). The number of sprouts was reduced by roughly one and two thirds at an infestation level of 40% and 80-90%, correspondingly (data not shown). Sprouts' size in the samples of the no to low and the intermediate infestation groups were 1 cm to 2.5 cm, whereas sprouts' size in 3 samples of the high infestation group was ≤ 1 cm (data not shown).

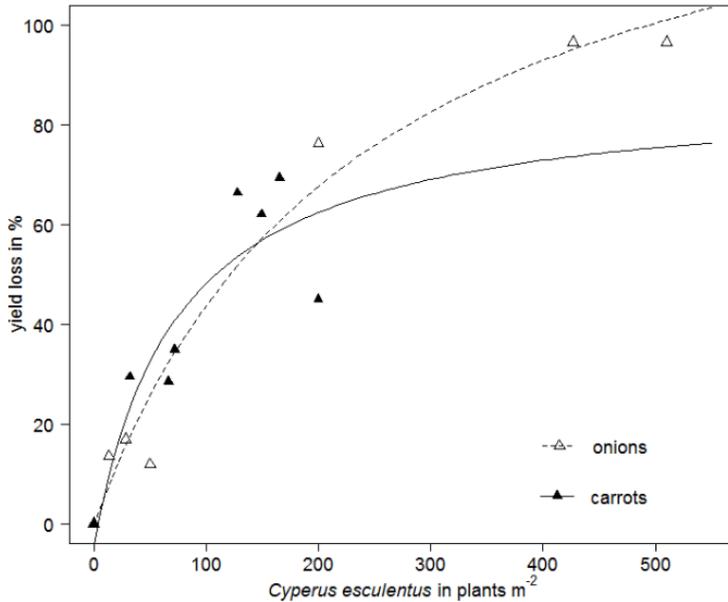


Fig. 1 Yield loss caused by Yellow nutsedge (*C. esculentus*) in summer onions and carrots in 2015.

Fig. 1 Ertragsverluste durch Erdmandelgras (*C. esculentus*) in Sommerzwiebeln und Karotten 2015.

In carrots and onions high *C. esculentus* densities resulted in high yield losses (Fig. 1). In onions, a coverage of almost 100% (i.e. 427 and 510 plants m⁻²) resulted in a yield loss of 97%. Whereas a coverage of about 90% (200 plants m⁻²) resulted in a yield loss of 76%. For carrots, 128 to 200 *C. esculentus* plants m⁻² resulted in a yield loss of 61%.

Tab. 1 Actual yield losses caused by yellow nutsedge (*C. esculentus*) in vegetable and arable crops in Switzerland.

Tab. 1 Ertragsverluste durch Erdmandelgras (*C. esculentus*) in Gemüse- und Feldfrüchten in der Schweiz.

			Coverage	Density	Actual yield loss
			[%]	[plants m ⁻²]	[%]
Potato	2013	3 ^b	47	-	39
	2014	5 ^b	40	-	28
Sugar beet	2013	3 ^c	77	-	62
	2014	5 ^d	58	-	71
Leek	2014	3 ^e	100	620	86
Brussels sprouts	2016	5 ^f	40	-	62
			80-90	-	93

^a Number of samples taken per category, ^b 2 m of a ridge was harvested per sample, ^c 4 m of a row was harvested per sample (7 plants per sample), ^d 2 m of a row was harvested per sample, ^e 2 m of a row was harvested, ^f 5 neighboring plants were harvested per sample.

Discussion

Actual yield losses were determined in Swiss fields by sampling yields of crops in self-established *C. esculentus* patches and in field areas without infestation. As a consequence, yield differences between infested and non-infested areas caused by other factors such as compacted soil or water logging cannot be ruled out. However, *Cyperus esculentus* thrives generally and especially in fields and field areas where the crop suffers also due to the aforementioned factors (common observation). Thus, this data is realistic and relevant to farmers.

Transplanted crops tend to tolerate higher infestation levels than seeded ones. For example, we could not observe any tangible yield loss in transplanted lettuce at *C. esculentus* infestation levels of 40 plants m⁻² (15% coverage), whereas a slightly lower infestation level in seeded corn salad resulted in complete crop failure (data not shown).

The determined losses were similar or tended to be higher than the yield losses found in North America (e. g. KEELEY, 1987; KEELING et al., 1990; FELIX and BOYDSTON, 2010). The yield loss data reviewed by KEELEY were usually calculated based on untreated control plots (1987). In contrast, our data was derived from fields with intensive chemical weed control, which is comparable to other Swiss regions and other regions in Western Europe. *C. esculentus* is a weed which profits generally from intensive weed control as other weeds are removed and thus competition by shading is reduced (STOLLER, 1981; BRYSON and CARTER, 2008).

Apart from the quantitative actual yield losses, *C. esculentus* caused also qualitative yield losses. For example the Brussels sprouts from heavily infested field areas (coverage 80-90%) were very small and thus not marketable. The same was the case for the leek crop. In contrast, in onions the yield loss calculated based on weight and on marketable onions was similar. In carrots, rhizomes of *C. esculentus* can penetrate and grow through the roots. The same is the case for potatoes. We even observed tuber formation of *C. esculentus* within potato tubers, which had also been reported by FELIX and BOYDSTON (2010).

Apart from the quantitative and qualitative yield losses, *C. esculentus* infestation causes nuisances such as extra costs and extra work to control *C. esculentus* and to prevent its further spread. In addition, high *C. esculentus* infestation levels cause difficulties during harvest (PRATT et al., 2003). On highly infested soils several crops cannot be successfully grown anymore. As a consequence the value of land, especially leasehold, might be substantially reduced due to *C. esculentus* infestation (ANONYMOUS, 2004). Therefore, we strongly advise weed scientists and federal consultants of countries and regions which are not (heavily) affected by *C. esculentus* yet to inform and train farmers, to raise their awareness for the risks which this weed poses, as well as to establish strict control measures.

References

- ANONYMOUS, 2004: *Cyperus esculentus* (European/non-european). 05-11809 Draft EPPO quarantine pest, Data Sheets on Quarantine Pests, https://www.eppo.int/INVASIVE_PLANTS/ias_lists.htm#others last retrieved 28.09.2017. Quarantine Pests, <http://www.eppo.int> last retrieved 28.09.2017.
- BRYSON, C.T. and R. CARTER, 2008: The Significance of Cyperaceae as Weeds. In: Sedges: Uses, Diversity and Systematics of the Cyperaceae. Naczi, R.F.C. and B.A. Ford. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden **108**.
- FELIX J. and R.A. BOYDSTON, 2010: Evaluation of Imazosulfuron for Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus*) and broad leaf weed control in potatoe. Weed Technology **24**, 471-477.
- FOLLAK, S., R. BELZ, C. BOHREN, O. DE CASTRO, E. DEL GUACCHIO, N. PASCUAL-SEVA, M. SCHWARZ, F. VERLOOVE and F. ESSL, 2016: Biological flora of Central Europe: *Cyperus esculentus* L. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics **23**, 33-51.
- HOLM, L.G., D.L. PLUCKNETT, J.V. PANCHO and J.P. HERBERGER, 1991: The world's worst weeds – distribution and biology. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida US, 125-133.
- KEELEY, P.E., 1987: Interference and Interaction of Purple and Yellow Nutsedges (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*) with Crops. Weed Technology **1**, 74-81.
- KEELING, J.W., D.A. BENDER and J.R. ABERNATHY, 1990: Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus*) management in transplanted onions (*Allium cepa*). Weed Technology **4**, 68-70.
- ORKE, E.-C., 2006: Centenary review Crop losses to pests. Journal of Agricultural Science **144**, 31-43.

28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig

PRATT, R., R. RANDALL and A. REEVES, 2003: Exotic threat to Western Australia Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus*). Factsheet. Department of Agriculture, Government of Western Australia, N07/2002.

R CORE TEAM, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>.

RITZ, C., F. BATY, J.C. STREIBIG and D. GERHARD, 2015: Dose-Response Analysis Using R. PLOS ONE **10**, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021>.

STOLLER, E. W., L. M. WAX and F. W. SLIFE, 1979: Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus*) Competition and Control in Corn (*Zea mays*). Weed Science **27**, 32-37.

STOLLER, E. W., 1981: Yellow Nutsedge a menace to the corn belt. USDA technical bulletins.

Keimverhalten und Bekämpfung tropanalkaloidhaltiger Unkräuter

Germination and control of tropanalkaloid-containing weeds

Hans-Peter Söchting*, Saskia Pfundheller

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

*Korrespondierender Autor, hans-peter.soechting@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.071



Zusammenfassung

Tropanalkaloidhaltige Unkräuter können bei diversen Kulturen zur Verunreinigung des Erntegutes führen und sollten nicht geduldet werden. Um Erfahrungen mit diesen Unkrautarten zu sammeln wurden am JKI in Braunschweig im Frühjahr 2017 Untersuchungen zur Keimungsbiologie und Bekämpfung einiger tropanalkaloidhaltiger Arten durchgeführt. Das für die Versuche verwendete Saatgut stammte aus eigener Vermehrung aus dem Jahr 2016. Es wurde das Keimverhalten der Arten *Datura stramonium*, *Datura innoxia*, *Datura ferox*, *Hyoscyamus niger* und *Hyoscyamus albus* bei 15°C/10°C, 20°C/10°C und 25/10°C mit 14 Stunden Tageslicht und 10 Stunden Dunkelheit geprüft. Dazu wurden alle 3-4 Tage die gekeimten Samen gezählt und aussortiert. Der Ablauf der Arten war extrem unterschiedlich wobei einheitlich von allen Arten die höchste Temperaturstufe bevorzugt wurde. *Hyoscyamus niger* und *Datura ferox* verfügen vermutlich über eine ausgeprägte Dormanz, da bei diesen Arten nur ein Ablauf von wenigen Pflanzen aus dem frischen Saatgut beobachtet werden konnte.

Neben der Keimung wurden in einem Biotest die Bekämpfungsmöglichkeiten der Arten *Datura stramonium* und *Hyoscyamus albus* mit verschiedenen in Mais zugelassenen Herbiziden geprüft. Die Unkrautarten wurden im Keimblatt-, 2-Blatt- und 4-6-Blattstadium mit der jeweils höchsten zugelassenen Aufwandmenge der Herbizide behandelt. Es zeigte sich, dass sich die im Keimblatt befindlichen Pflanzen mit den Herbiziden aus den Wirkgruppen der Photosynthesehemmer, Wuchsstoffe, Zellteilungshemmer und ALS-Hemmer ausreichend bis gut bekämpfen ließen. Größere *Datura*- und *Hyoscyamus*-Pflanzen waren dagegen fast nicht mehr mit den verwendeten Wirkstoffen zu bekämpfen.

Stichwörter: Bekämpfung, Herbizid, Keimverhalten, Tropanalkaloide, Unkräuter

Abstract

Tropanalkaloid-containing weeds can lead to contamination of the yield in various crops and should not be tolerated. In this context, studies on germination biology and the control of selected tropanalkaloid-containing weed species were carried out in spring 2017. The seed used was from its own propagation from the year 2016. The germination of the species *Datura stramonium*, *Datura innoxia*, *Datura ferox*, *Hyoscyamus niger* and *Hyoscyamus albus* was tested at 15°C/10°C, 20°C/10°C and 25/10°C. For this purpose the germinated seeds were counted and sorted out every 3-4 days. All species preferred the highest temperature stage for germination. *Hyoscyamus niger* and *Datura ferox* presumably have a pronounced dormancy, since in these species only a germination of few plants could be observed. Beside the germination, the control of the species *Datura stramonium* and *Hyoscyamus albus* was tested in a biotest with various herbicides approved in maize. Both weed species were treated in the cotyledon, 2-leaf and 4-6 leaf stage with the highest permitted application rate of the tested herbicides. It was found that the plants of the two species with the herbicides from the active groups of the photosynthesis inhibitors, synthetic auxins, cell division inhibitors and ALS inhibitors were at least sufficiently controlled. Larger *Datura* and *Hyoscyamus* plants, on the other hand, could not be completely controlled.

Keywords: Control, germination, herbicide, tropanalkaloid, weed

Einleitung

Tropanalkaloide sind sekundäre Pflanzenstoffe, die in Nachtschattengewächsen wie dem Weißen Stechapfel (*Datura stramonium*) und dem Schwarzen Bilsenkraut (*Hyoscyamus niger*) vorkommen. Ein sporadisches Auftreten findet man auch in einigen Winden-, Rotholz-, Silberbaum-, Rhizophora- und Wolfsmilchgewächsen sowie Kreuzblütlern. Tropanalkaloide werden in den Wurzeln gebildet und mit dem Flüssigkeitsstrom über die Pflanze verteilt. Die Konzentrationen sind in der Regel am höchsten in den Wurzeln und Samen, wo sie als Schutz gegen Fraßfeinde dienen. Die Gruppe der Tropanalkaloide umfasst mehr als 200 unterschiedliche Alkaloide. Die bekanntesten sind das

Hyoscyamin und Scopolamin (LINDENMANN, 1961). Bereits im Mittelalter waren Tropanalkaloide als Arzneimittel bzw. Drogen im Umlauf (MÜLLER-EBELING et al., 1999). Gelangen Pflanzenbestandteile dieser Arten über das Erntegut in Nahrungs- oder Futtermittel kann es zu Vergiftungssymptomen kommen. Beispielsweise vergifteten sich in Österreich im Jahr 2006 mehrere Personen durch den Verzehr eines mit Stechapfelsamen verunreinigten Hirsegerichts (AGES, 2017).

In Deutschland kam es im Jahr 2015 vermehrt zu Rückrufaktionen des Handels, als bei der Untersuchung verschiedener Getreideprodukte, insbesondere Rispenhirse-Produkte (*Panicum miliaceum*) vielfach erhöhte Tropanalkaloidgehalte ermittelt wurden (BfR, 2013). Generell sind Sommerungen wie Hirse-Arten, Mais, Buchweizen und Sonnenblumen mehr von der Problematik betroffen als Winterungen, da die tropanalkaloidhaltigen Unkräuter wärmeliebend sind und erst relativ spät im Jahr auflaufen. Samen tropanalkaloidhaltiger Unkräuter sind nicht immer gut aus dem Erntegut heraus zu reinigen, hinzu kommt eine mögliche Kontamination durch andere Pflanzenteile wie Blattstückchen oder Pflanzensäfte (SÖCHTING, 2016). In Deutschland sind der Weiße Stechapfel (*Datura stramonium*) und das Schwarze Bilsenkraut (*Hyoscyamus niger*) die wichtigsten tropanalkaloidhaltigen Acker-Unkräuter. Laut MEHRTENS (2005) liegen die Stetigkeiten für den weißen Stechapfel in Maisschlägen bei 0,3 % und für das Schwarze Bilsenkraut bei 0,4 %. Somit ist ein Auftreten der Arten in Kulturpflanzenbeständen zwar weniger häufig festzustellen, kann aber nach eigenen Erfahrungen schlagspezifisch massiv sein. Die Bedeutung von verunreinigten Futter- oder Nahrungsmitteln mit Tropanalkaloiden könnte zunehmen, da sich durch Klimaveränderung und veränderte Anbaustrukturen die betroffenen tropanalkaloidhaltigen Arten auch in Deutschland weiter ausbreiten werden. Am JKI wurden mit mehreren tropanalkaloidhaltigen Unkräutern Keimtests und Untersuchungen zu herbiziden Kontrollmöglichkeiten durchgeführt, um weitere Erfahrungen mit diesen Arten zu gewinnen.

Material und Methoden

Keimversuch im Labor

Die Keimtests im Labor wurden auf Nährlösungsbasis durchgeführt. Bei der verwendeten Nährlösung handelte es sich um eine 2,0 mM Ca (NO₃)₂ + 0,1%ige Previcur Energy Lösung, um die Keimung anzuregen und Pilzwachstum zu verhindern. Zur Ermittlung der Keimfähigkeit sollten die Samen bei definierten Temperaturbedingungen in Petrischalen mittels Nährlösung zur Keimung gebracht werden. Zur Temperaturregulierung wurden Klimaschränke der Firma Rumed eingesetzt. Wie in der Einleitung erwähnt, sollte der Temperaturbereich für eine optimale Keimung ermittelt werden. Jede Petrischale wurde zuvor mit 2 Filterpapieren ausgelegt, dann wurden 5 ml der oben beschriebenen Nährlösung ausgebracht. Nachfolgend wurden jeweils 25 Samen der 5 Arten (Tab. 1) gleichmäßig in den Petrischalen verteilt. Das Saatgut stammte aus dem Jahr 2016 aus eigener Vermehrung. Je nach Variante mussten die Petrischalen täglich oder in Abstand von mehreren Tagen nachgewässert werden, damit die Samen nicht austrockneten.

Im Klimaschrank wurden drei Temperaturvarianten für die Keimtests eingestellt und zwar

1. 15/10 °C Wechseltemperatur
2. 20/10 °C Wechseltemperatur
3. 25/10 °C Wechseltemperatur

Die Beleuchtung war 14 Stunden hell und 10 Stunden dunkel eingestellt. Die Versuche wurden wöchentlich bonitiert und galten als beendet, wenn nach zwei Zählterminen keine weitere Keimung mehr beobachtet werden konnte.

Tab. 1 Im Keimversuch verwendete Unkrautarten.

Tab. 1 *Weeds used in the experiment.*

	Art	Deutscher Name	Eppo-Code
1	<i>Datura stramonium</i>	Weißer Stechapfel	DATST
2	<i>Datura innoxia</i>	Großblütiger Stechapfel	DATIN
3	<i>Datura ferox</i>	Furchtbarer Stechapfel	DATFE
4	<i>Hyoscyamus niger</i>	Schwarzes Bilsenkraut	HSYNI
5	<i>Hyoscyamus albus</i>	Weißes Bilsenkraut	HSYAL

Die gekeimten Samen wurden gezählt und mit einer Pinzette aus der Petrischale entfernt. Als gekeimt galten jene Samen, bei denen die gesunde Keimwurzel deutlich erkennbar war. Die Werte pro Schale bildeten eine Wiederholung. Aus den Wiederholungen wurden der Mittelwert mit Standardabweichung sowie die Keimfähigkeit in Prozent errechnet.

Biotest

In einem Biotest wurde die Möglichkeit geprüft, *Hyoscyamus albus* und *Datura stramonium* mit Herbiziden zu bekämpfen. Dazu wurden die beiden Arten ausgesät und Pflanzen angezogen, die dann in entsprechende Töpfe pikiert wurden. Die Keimpflanzen wurden (4 Pflanzen/Topf) in vier Wiederholungen pikiert. Es wurde ein JKI Standardboden verwendet (gesiebt auf 2,5 mm, sterilisiert, ca. 6 % Ton; pH-Wert 6,4; C_{org} 0,9 %). Nach dem Pikieren wurden die Versuchsgefäße für zwei Wochen im Gewächshaus aufgestellt (Tagphase: 20 °C +14 h Beleuchtung, Nachtphase: 10 °C). Danach erfolgte das Wachstum in Klimaschränken (Tagphase 20 °C + 14 h Beleuchtung mit 14000 Lux, Nachtphase: 10 °C). Die Bewässerung erfolgte mit Leitungswasser von oben. Die Herbizidapplikation erfolgte als on-Top-Applikation mit einer stationären Applikationsanlage der Firma Schachtner. Verwendet wurde eine Flachstrahldüse (Teejet 8003 EVS) mit einem Systemdruck von 7 bar und einem Düsendruck von 2,1 bar. Die Spritzgeschwindigkeit betrug 2 km/h und die Spritzhöhe 45 cm (Düse bis Gefäßoberfläche). Zur Versuchsauswertung wurden Wirkungsbonituren (Wirkungsgrad im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle) durchgeführt und die oberirdische Pflanzenfrischmasse pro Gefäß jeweils 21 Tage nach Versuchsansatz ermittelt. Die Unkrautarten wurden in jeweils 3 Entwicklungsstadien bekämpft (Tab. 2).

Tab. 2 Unkrautarten und BBCH zur Applikation der im Biotest behandelten Pflanzen.

Tab. 2 *Weed species and BBCH at application of the plants of the biotest.*

	Art	BBCH zur Applikation
1	<i>Datura stramonium</i>	12
2	<i>Datura stramonium</i>	14 - 16
3	<i>Hyoscyamus albus</i>	Keimblatt
4	<i>Hyoscyamus albus</i>	12
5	<i>Hyoscyamus albus</i>	14 -16

Die im Versuch eingesetzten Herbizide (Tab. 3) werden im Mais verwendet und könnten unter Berücksichtigung der Selektivität (bezogen auf die Kulturpflanze), bis auf Callisto und Dual Gold auch in *Panicum miliaceum* eingesetzt werden.

Tab. 3 Im Biotest verwendete Herbizide.

Tab. 3 In the experiment used herbicides.

	Herbizid	Wirkstoff (g/l, kg)	Aufwandmenge
1	Kontrolle		
2	Click	Terbuthylazin (500)	1,5 l/ha
3	Buctril	Bromoxynil (225)	1,5 l/ha
4	Dual Gold	S-Metolachlor (960)	1,25 l/ha
5	Callisto	Mesotrione (100)	1,5 l/ha
6	U 46 M-Fluid	MCPA (500)	1 l/ha
7	Basagran	Bentazon (480)	2 l/ha
8	Harmony SX	Thifensulfuron (500)	15 g/ha
9	Biathlon + Mero	Tritosulfuron (714)	70 g/ha + 1 l/ha
10	Mais Banvel WG	Dicamba (700)	0,5 kg/ha

Ergebnisse

Keimversuch im Labor

Den besten Auflauf der Stechapfel-Arten zeigte *Datura stramonium* mit 88 % der ausgelegten Samen bei 30 °C nach 10 Tagen. Bei 20 °C lag die maximale Keimfähigkeit der Art nach 10 Tagen mit 84 % nur geringfügig darunter. Schlechter war die Keimfähigkeit bei 15 °C mit 79 %. Dieser Wert wurde erst nach 28 Tagen erreicht.

Die Keimfähigkeit von *Datura innoxia* war insgesamt deutlich schlechter. Die höchste Keimrate wurde mit 54 % bei 20 °C erzielt. Die Keimfähigkeit insgesamt war damit vergleichbar mit der 25 °C-Variante, in der 50 % der Samen aufliefen. Bei 25 °C erfolgte die Keimung allerdings zügiger und bereits nach 10 Tagen waren 38 % der Samen gekeimt, wohingegen bei 20 °C noch kein Keimling zu finden war. Bei 15 °C wurde auch nach 44 Tagen nur eine Keimfähigkeit von 12 % festgestellt.

Datura ferox zeigte das schlechteste Keimverhalten der drei geprüften Stechapfel-Arten. Bei dieser Art erfolgte keine Keimung bei 15 °C, bei 20 °C keimten 2 % und bei 25 °C 12 % der Samen.

Auch die beiden Bilsenkraut-Arten zeigten große Unterschiede bezüglich der Keimfähigkeit. Keine Keimung wurde bei *Hyoscyamus niger* ermittelt. Bei *Hyoscyamus albus* keimten dagegen bei 30 °C 95 % der Samen. Bei 20 °C konnten nach 55 Tagen immerhin 88 % der Samen zur Keimung gebracht werden. Dagegen keimten bei 15 °C nur noch 5 % der Samen. Insgesamt zeigten die fünf geprüften Arten ein völlig unterschiedliches Keimverhalten (Abb. 1 und 2).

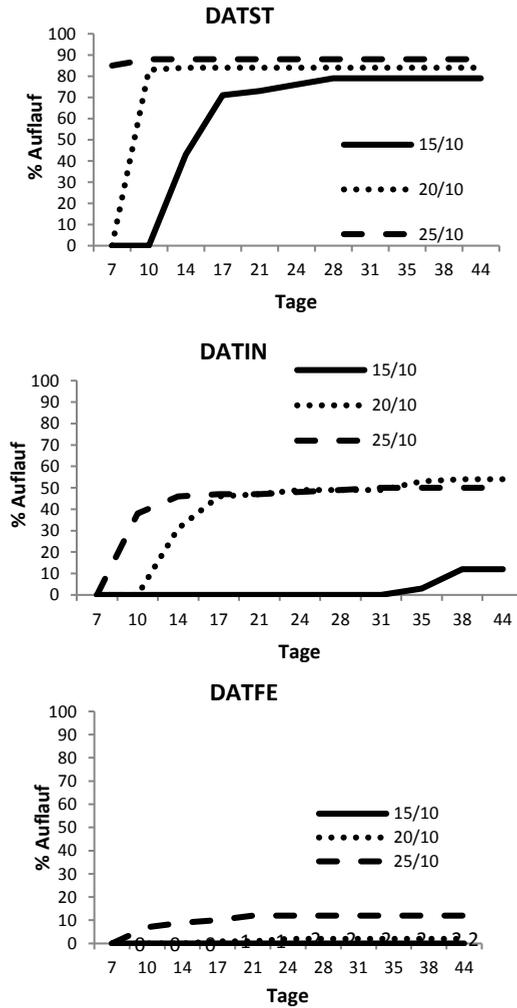


Abb. 1 Keimverhalten von *Datura stramonium*, *Datura innoxia* und *Datura ferox*.

Fig. 1 Germination behavior of *Datura stramonium*, *Datura innoxia* and *Datura ferox*.

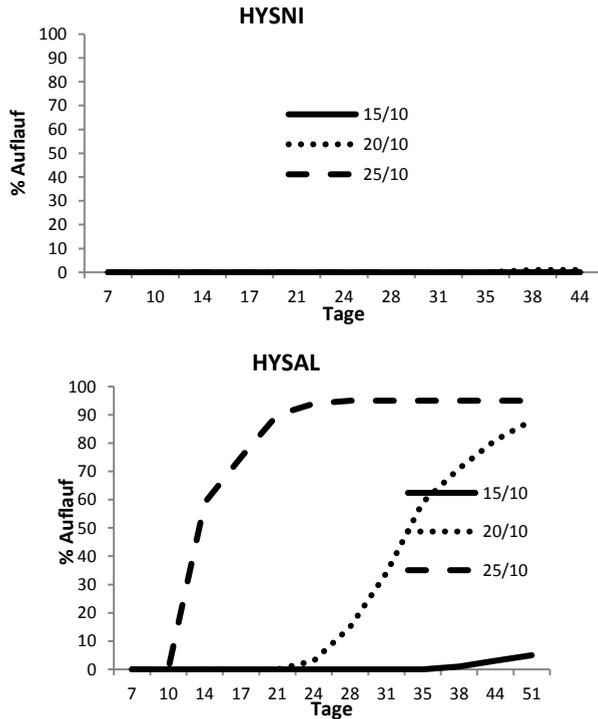


Abb. 2 Keimverhalten von *Hyoscyamus niger* und *Hyoscyamus albus*.

Fig. 2 Germination behaviour of *Hyoscyamus niger* und *Hyoscyamus albus*.

Biotest

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, erfolgten die Herbizidbehandlungen von *Hyoscyamus albus* im Keimblatt (KB), 2-Blatt und 4-6-Blattstadium, während *Datura stramonium* im 2-Blatt und 4-6-Blattstadium behandelt wurde. Auch letztere Art sollte im Keimblattstadium behandelt werden, jedoch kamen nicht ausreichend Samen zur Keimung, so dass diese Variante verworfen werden musste.

Datura stramonium im 2-Blattstadium ließ sich lediglich mit Bucril (Bromoxynil) hinreichend bekämpfen (Tab. 4). Basagran DP und Mais Banvel WG zeigten noch Wirkungsgrade um 30 % bezogen auf die Frischmassegehalte, während die anderen Herbizide kaum noch eine Wirkung zeigten.

Hyoscyamus albus wurde im Keimblattstadium gut bekämpft (Ausnahme Dual Gold). Im 2-Blattstadium nahm die Wirkung bei Dual Gold weiter ab und auch U 46 M-fluid, Harmony SX, Biathlon und Mais Banvel WG zeigten zurückgehende Wirkungsgrade. Im 4-6-Blattstadium von *Hyoscyamus albus* war kein Herbizid mehr vollständig wirksam.

Tab. 4 Wirkung der Herbizide gegen *Datura stramonium* / Frischmasse in g und Frischmasse in % zur unbehandelten Kontrolle.

Tab. 4 *Herbicide efficacy against Datura stramonium / fresh weight in g and fresh weight in % to untreated control.*

Herbizid	Aufwandmenge	BBCH 12		BBCH 14- 16	
		FM g (SD)	FM %	FM g (SD)	FM %
Kontrolle		4,8 (0,2)	100	6,9 (0,8)	100
Click	1,5 l/ha	4,6 (0,6)	96,1	6,5 (0,3)	96,1
Buctril	1,5 l/ha	0 (0)	0,0	3,5 (0,5)	0,0
Dual Gold	1,25 l/ha	4,6 (0,3)	95,8	6,4 (0,2)	95,8
Callisto	1,5 l/ha	4,9 (0,4)	103,3	7,2 (0,3)	103,3
U 46 M-fluid	1 l/ha	5,1 (0)	106,5	7,6 (0,1)	106,5
Basagran DP	2 l/ha	3,1 (0,4)	65,5	5,6 (0,3)	65,5
Harmony	15 g/ha	4,6 (0,2)	97,4	6,0 (0,4)	97,4
Biathlon + Mero	70 g/ha + 1 l/ha	3,8 (0,1)	80,4	3,6 (0,2)	80,4
Mais Banvel	0,5 l/ha	3,5 (0,7)	72,8	5,3 (0,5)	72,8

FM = Sprossfrischmasse; SD = standard deviation

Tab. 5 Wirkung der Herbizide gegen *Hyoscyamus albus* / Frischmasse in g und Frischmasse in % zur unbehandelten Kontrolle.

Tab. 5 *Herbicide efficacy against Hyoscyamus albus / fresh weight in g and fresh weight in % to untreated control.*

Herbizid	Aufwand- menge	KB	BBCH 12		BBCH 14- 16			
			FM g (SD)	FM %	FM g (SD)	FM %		
Kontrolle			3,5 (1)	100	4,5 (0,6)	100	3,7 (0,3)	100
Click	1,5 l/ha	0 (0)	0	0	0,1 (0,1)	2,1	5,5 (1,3)	150,5
Buctril	1,5 l/ha	0 (0)	0	0	0,1 (0)	2,7	1,8 (0,5)	47,8
Dual Gold	1,25 l/ha	0,8 (0,7)	22,1	4,6 (0,5)	101,5	4,5 (0,1)	121,3	
Callisto	1,5 l/ha	0 (0)	0,0	0,2 (0,5)	5,3	4,5 (0,3)	121,2	
U 46	1 l/ha	0,3(0,1)	0	3,9 (1,4)	86,8	5,7 (0,6)	154,8	
Basagran	2 l/ha	0 (0)	8	0,0 (0)	0,0	3,3 (0,4)	88,9	
Harmony	15 g/ha	0,2 (0)	5	2,6(0,4)	56,7	4,3 (0,5)	117,6	
Biathlon + Mero	70 g/ha + 1 l/ha	0,1 (0)	3	2,1 (1,4)	46,5	4,9 (0,4)	132,0	
Mais Banvel	0,5 l/ha							
		0,1 (0,1)	3	1,7 (0,3)	37,2	4,6 (0,5)	126,2	

KB = Keimblatt; FM = Sprossfrischmasse; SD = standard deviation

Diskussion

Keimtest im Labor

Bevor man die Ergebnisse des Keimtests genauer betrachtet, gilt es festzustellen, dass die Arten *Datura ferox* und *Datura innoxia* in Deutschland nur sporadisch auftreten und als Ackerunkräuter keine Bedeutung besitzen. Da sie in den Versuchen deutlich schlechter keimten als *Datura stramonium* und auch noch wärmeliebender sind, ist auf absehbare Zeit auch nicht mit diesen Arten als ernstzunehmendes Ackerunkraut zu rechnen. In anderen Regionen der Welt spielen die Arten dagegen sehr wohl eine Rolle.

Der genetisch fixierte Zeitpunkt einer Unkrautkeimung wird je nach Art durch Umwelteinflüsse mehr oder weniger stark beeinflusst. In dem oben durchgeführten Keimtest wurde frisches Saatgut verwendet und die Keimung sollte unter einem Temperaturwechsel bei ebenfalls wechselnden Lichtverhältnissen stattfinden. Die bei uns häufige Stechapfelart *Datura stramonium* sprach gut auf diese Bedingungen an und zeigte schon bei 15 °C eine gute Keimfähigkeit, was für eine weiteres Verbreitungspotential dieser Art in Deutschland spricht. Die extrem schlechte Keimfähigkeit von *Datura ferox* könnte auf eine ausgeprägtere Samenruhe zurückzuführen sein im Vergleich zu den anderen beiden Arten. Vermutlich braucht der Embryo im Samenkorn wesentlich

längere Entwicklungszeiten oder spezielle Keimhemmstoffe müssen deaktiviert werden. Ähnliches könnte für die bei uns weitverbreitete Art *Hyoscyamus niger* gelten, die partout keine Keimlinge hervorbrachte. Eventuell benötigen die Samen dieser einheimischen Art eine Frostperiode, um die Keimruhe zu brechen. Gegensätzlich dazu keimte die bei uns selten auftretende und eher in südeuropäischen Klimaten verbreitete Art *Hyoscyamus albus* bei 25 °C nahezu vollständig. Die Wärmebedürftigkeit dieser Art zeigt sich aber durch eine reduzierte Keimung der Samen bei 15 °C. Die nur bei hohen Temperaturen gleichmäßige und gute Keimung der hier geprüften Arten zeigt, dass in Kulturpflanzenbeständen in Deutschland damit gerechnet werden muss, dass die übliche Herbizidapplikation vor der Keimung der hier untersuchten Arten durchgeführt wird und somit keine ausreichende Bekämpfung mehr gewährleistet werden kann. Dieses dürfte besonders für im April ausgesäte Kulturen wie den Mais zutreffen.

Biotest

Verunreinigungen mit Tropanalkaloiden traten in der Vergangenheit besonders in der Rispenhirse (*Panicum miliaceum*) auf. Daher wurden die für den Biotest herangezogenen Herbizide auch hinsichtlich einer möglichen Selektivität gegenüber *Panicum miliaceum* ausgewählt. Hier sind nach eigenen Erfahrungen die Wirkstoffe Terbuthylazin, Bromoxynil, Thifensulfuron und Tritosulfuron geeignet. Die Bekämpfung von *Datura stramonium* und *Hyoscyamus albus* mit Herbiziden zeigte sich im Versuch sehr abhängig vom Stadium der Unkräuter. Mit zunehmenden Entwicklungsstadien wurde eine Bekämpfung immer schwieriger und war im 4-6-Blattstadium gar nicht mehr möglich. Ursprünglich war für den Biotest die Bilsenkräuter *Hyoscyamus niger* vorgesehen. Da die Art aber keine Keimlinge hervorbrachte wurde auf *Hyoscyamus albus* zurückgegriffen. Diese Art ist eher in Südeuropa beheimatet. Im Keimblattstadium war bei *Hyoscyamus albus* mit fast allen Herbiziden (ausgenommen Dual Gold) noch eine sichere Bekämpfung möglich. Im Großen und Ganzen kann man die beiden geprüften Arten hinsichtlich der Wirkung der geprüften Herbizide mit anderen Nachtschattengewächsen vergleichen, die im Ackerbau eine Rolle spielen, wie etwa dem Schwarzen Nachtschatten (*Solanum nigrum*). Laut Gebrauchsanleitungen der Herbizide Dual Gold, Biathlon, U46 M-fluid und Mais Banvel WG ist diese Art weniger gut zu bekämpfen. Als Fazit für die Bekämpfung mit Herbiziden bleibt stehen, dass die Arten in Kulturen wie *Panicum mileaceum*, in denen der Einsatz nur weniger Herbizide möglich ist, nicht gut zu bekämpfen sind und weiterhin zu Problemen führen können. Es muss weiterhin beachtet werden, dass sich unter Umständen *Hyoscyamus niger*, auch wenn es *Hyoscyamus albus* phänotypisch sehr ähnelt unter Umständen doch ganz anders verhält und gegen diese Art eine andere Wirkung erzielt wird.

Literatur

- BFR, 2013: Hohe Tropanalkaloidgehalte in Getreideprodukten. Stellungnahme Nr. 035/2014.
- LINDENMANN, A., 1961: Chemie der Tropan-Verbindungen. *Planta Medica* **9**(4), 317-339.
- MEHRTENS, J., M. SCHULTE und K. HURLE, 2005: Unkrautflora in Mais. *Gesunde Pflanzen* **57**, 206-2018.
- MÜLLER-EBELING, C., C. RÄTSCH und W.-D. STORL, 1999: Hexenmedizin. 2. Auflage, AT Verlag, Aarau, Schweiz.
- AGES (ÖSTERREICHISCHE AGENTUR FÜR GESUNDHEIT UND ERNÄHRUNGSSICHERHEIT), 2017: Tropanalkaloide. 14.09.2017 (www.ages.at/themen/rueckstaende-kontaminanten/tropanalkaloide/); Abruf vom 14.09.2017.
- SÖCHTING, H.-P., 2016: Probleme mit tropanalkaloidhaltigen Unkräutern im Ackerbau. *Julius-Kühn-Archiv* **454**, 83-184.

Sektion 9: Unkrautmanagement in Zuckerrüben

Session 9: Weed management in sugar beets

Versuche zur Bekämpfung aussamender Zwischenfrüchte als Unkraut in nachfolgenden Zuckerrüben

Trials to combat seed building catch crops as weeds in following sugar beets

Verena Haberlah-Korr¹*, Iris Henneken¹, Franz Stuke²

¹FH-Südwestfalen, Lübecker Ring 2, 59494 Soest

²ADAMA Deutschland GmbH, Edmund-Rumpler-Str. 6, 51149 Köln

*Korrespondierende Autorin, Haberlah-Korr.Verena@fh-swf.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.072



Zusammenfassung

Eine wachsende Beliebtheit des Zwischenfruchtanbaus im Rahmen des Greenings, sowie zunehmend milde Winter haben dazu geführt, dass Praktiker sich bisweilen auch mit aussamenden Zwischenfrüchten in der nachfolgenden Sommerung beschäftigen müssen. Die Wirkungsspektren bisher erfolgreich eingesetzter Herbizide geben meist keine Auskunft über eine Wirkung gegen beispielsweise Malve, Senf und Wicke.

Zu dieser Fragestellung wurde 2016 an der FH Südwestfalen in Soest ein Halbfreiland-Gefäßversuch mit 10 verschiedenen Zwischenfrüchten (Buchweizen, Phacelia, Ölrettich, Alexandrinerklee, Sommerwicke, Kulturmalve, Öllein, Rauhafer, Gelbsenf, Ramtilkraut) angelegt. Die Zwischenfrüchte wurden kulturrein ausgesät und in frühen Entwicklungsstadien jeweils einmalig mit den Zuckerrübenherbiziden Goltix Titan und Belvedere Extra sowie einer praxisüblichen Kombination beider Produkte behandelt. Diese Kombination erzielte bei Buchweizen, Phacelia, Alexandrinerklee, Öllein und Ramtilkraut hohe Wirkungsgrade.

In 2017 wurde dieser Ansatz auf einen Feldversuch übertragen, der nun die Konkurrenzkraft der Kulturpflanze Zuckerrübe berücksichtigte und mit mehrmaliger praxisüblicher Behandlung in NAK 1-3 stattfand. Dazu wurde eine Mischung der als problematisch identifizierten Kulturen Buchweizen, Phacelia und Gelbsenf kurz vor bzw. zeitgleich mit den Zuckerrüben ausgesät. Diese wurden mit den gleichen Herbizidvarianten wie 2016 behandelt. Goltix Titan und Belvedere Extra in Mischung war auch hier die beste Variante mit hohem Wirkungsgrad auf alle drei Zwischenfrüchte. Belvedere Extra zeigt eine ähnlich gute und ausreichende Wirkung.

Stichwörter: Buchweizen, Gelbsenf, Herbizide, Phacelia, Zuckerrüben, Zwischenfrüchte

Abstract

The growing popularity of catch crops in the scope of greening and increasing milder winters can lead to problems with self-seeding catch crops in following summer crops. The effective ranges of so far successfully applied herbicides usually do not provide information on the efficacy against e.g. mallow, yellow mustard and common vetch.

To answer this question a pot trial with 10 catch crops (buckwheat, (tansy) phacelia, oil radish, berseem clover, common vetch, common mallow, linseed, black oat, yellow mustard and niger thistle) was carried out under semi field conditions at the University of Applied Science in Soest / Germany in 2016. The catch crops were cultivated separately and treated once in early growth stages with the sugarbeet herbicides Goltix Titan and Belvedere Extra as well as a customary combination of both products. The combination achieved high efficacy against buckwheat, phacelia, berseem clover, linseed and niger thistle.

In 2016 this approach was transferred to a field trial, where the competitive ability of sugarbeet was factored in and treatments were customarily applied three times according to the cotyledons stages (NAK 1-3). Three catch crops that were identified as problematic were sown shortly before or with the sugarbeets. The treatments were the same as in 2016. The mixture of Goltix Titan and Belvedere Extra was the best variant with high efficiency on all three catch crops. Belvedere Extra showed a similar and sufficient effect.

Keywords: Buckwheat, catch crops, herbicides, phacelia, sugarbeet, yellow mustard

Einleitung

Zwischenfrüchte haben vor dem Anbau von Zuckerrüben eine große Bedeutung zur Konservierung von Nährstoffen und Minderung von Erosion sowie zur Reduzierung des zystenbildenden Nematoden *Heterodera schachtii*. Vor Einführung des Greenings wurden hier vor allem Reinsaaten aus nematodenresistentem Gelbsenf und Ölettrich genutzt. Ihr Anbau führt bei diesen Nematoden zu einem Schlupfreiz. Da die Pflanzen aber eine mangelhafte Nahrungsgrundlage für Weibchen bieten, überleben hauptsächlich die Männchen und die Population wird reduziert. Gelbsenf vermehrt allerdings das Rübenkopffähnchen *Ditylenchus dipsaci*.

Für im Rahmen des Greenings als ökologische Vorrangfläche angebaute Zwischenfrüchte ist eine Mischung aus mindestens zwei Arten vorgeschrieben. Damit kommen oft neue Arten ins Spiel, für die häufig nicht bekannt ist, wie sie auf bewährte Zuckerrübenherbizide reagieren. Häufig genutzt wird dabei Phacelia, die wie Lein, Alexandrinerklee und Rauhafer eine Neutralpflanze für Rübenzystennematoden ist. Rauhafer bietet allerdings als Wirt für Blattläuse für nachfolgendes Getreide eine grüne Brücke für Getreidevirosen (SCHLATHÖLTER, 2015).

Zunehmend mildere Herbste, eventuell noch in Kombination mit frostfreien Wintern, können bei einzelnen Zwischenfrüchten zur unerwünschten Samenbildung führen. In der nachfolgenden Sommerung kommt es dann zur Verunkrautung mit diesen Pflanzen. Die nachfolgenden Versuche stellen zu deren Bekämpfung neue Erkenntnisse dar.

Material und Methoden

Im Jahr 2016 wurde an der FH-Südwestfalen in Soest auf einem Halbfreilandgelände ein Gefäßversuch mit 10 verschiedenen Zwischenfrüchten angelegt. Im folgenden Jahr wurden drei ausgewählte Zwischenfrüchte im benachbarten Freilandversuch in Zuckerrüben ausgesät. Beide Versuche wurden mit den in Tabelle 1 genannten Herbiziden behandelt.

Tab. 1 Herbizidvarianten im Gefäßversuch Halbfreiland 2016 und im Feldversuch Freilandversuch 2017 in Soest.

Tab. 1 *Herbicide treatments in the pot trial under semi field conditions 2016 and in the field trial 2017 in Soest.*

Var.	Mittel	Wirkstoffe	l / ha je Termin	Einsatz Halb- freiland (1 x)	Einsatz Freiland (3 x NAK*)
1	Kontrolle		-		
2	Goltix Titan	525 g/l Metamitron, 40 g/l Quinmerac	2,0	BBCH 10-12	NAK 1, NAK 2, NAK 3
3	Belvedere Extra	200 g/l Ethofumesat, 150 g/l Phenmedipham, 50 g/l Desmedipham	1,3	BBCH 10-12	NAK 1, NAK 2, NAK 3
4	Goltix Titan + Belvedere Extra	525 g/l Metamitron, 40 g/l Quinmerac + 200 g/l Ethofumesat, 150 g/l Phenmedipham, 50 g/l Desmedipham	2,0 + 1,25 (Topf) 2,0 + 1,3 (Feld)	BBCH 10-12	NAK 1, NAK 2, NAK 3

*NAK = Nachauflauf Kultur, Keimblattstadium Unkraut

Gefäßversuch Halbfreiland

Der Versuch bestand aus 160 Töpfen, die sich aus den 10 Zwischenfrüchten (Tab. 2) mit je vier Herbizidbehandlungsvarianten (Tab. 1) in vier Wiederholungen zusammensetzte. Jede vier Töpfe

bildeten somit eine Variante. Am 4.5.2016 wurden die Zwischenfrüchte einzeln in mit Mutterboden befüllte Töpfe von 28 cm Durchmesser und 21,5 cm Höhe ausgesät. Als Zielbestand wurden 20 Pflanzen pro Topf gewählt. Unter Berücksichtigung der Keimfähigkeit wurden dazu 30-45 Samen pro Topf ausgesät und nach Auflauf bei Bedarf reduziert und bewässert.

Die einmalige Applikation der Herbizide (Tab. 1) erfolgte individuell, sobald die jeweilige Zwischenfrucht das Keimblatt bis Zweiblattstadium erreicht hatte. Nach der Applikation der Herbizide, wurden die Pflanzen nach 1, 3 und 7 Tagen und anschließend im wöchentlichen Abstand bis zu fünf Wochen nach Applikation bonitiert. Dabei wurden zunächst der Anteil gesunder, geschädigter und abgestorbener Pflanzen erfasst, später die Wuchshöhe sowie der Deckungs- und Wirkungsgrad. Der Wirkungsgrad wurde dabei nicht geschätzt, sondern aus dem Deckungsgrad in Relation zur unbehandelten Kontrolle errechnet. Zum Abschluss des Versuchs am 20.6.2016 wurde der Biomasseaufwuchs pro Topf ermittelt.

Tab. 2 Zwischenfrüchte im Gefäßversuch 2016 und Applikationstermine.

Tab. 2 *Catch crops in the pot trial 2016 and application dates.*

Zwischenfrucht	EPP0-Code	Wissenschaftlicher Name	Applikation
Tatarischer Buchweizen	FAGTA	Fagopyrum tataricum	19.5.2016
Phacelia	PHCTA	Phacelia tanacetifolia	19.5.2016
Ölrettich	RAPSO	Raphanus sativus	17.5.2016
Alexandrinerklee	TRFAL	Trifolium alexandrinum	17.5.2016
Saatwicke	VICSA	Vicia sativa	19.5.2016
Wilde Malve	MALSI	Malva sylvestris	17.5.2016
Öllein	LIUUT	Linum usitatissimum	19.5.2016
Rauhafer	AVESG	Avena strigosa	17.5.2016
Gelbsenf	SINAL	Sinapis alba	17.5.2016
Ramtillkraut	GUIAB	Guizotia abyssinica	17.5.2016

Feldversuch

Der Versuch wurde 2017 im Lehrgarten der Fachhochschule Südwestfalen in Soest als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Die Parzellengröße betrug 14 m² (7 x 2 m). Phacelia und Buchweizen wurden einen Tag vor der Zuckerrübe und Gelbsenf aufgrund seines schnelleren Auflaufens einen Tag später zusammen mit den Zuckerrüben ausgesät. Dies erfolgte breitwürfig per Hand mit jeweils 20 % der üblichen Aussaatmenge.

Am 30.03.17 erfolgte die Aussaat der Zuckerrüben mit einem Reihenabstand von 45 cm. Ab Erreichen von BBCH 10 wurden die Zuckerrüben zu 3 Terminen mit den in Tab. 1 genannten Herbiziden behandelt. Die Behandlungen erfolgten mit ungewöhnlich langen Spritzabständen von bis zu 14 Tagen (Tab. 3), welches der niederschlagsarmen und dabei sehr kalten Witterung (Frosthächte am 19. und 24.4.17) geschuldet war. Im Anschluss wurden vor jeder Applikation sowie in wöchentlichen Abständen nach Applikation bis insgesamt 3 Wochen nach der letzten Behandlung (NAK3) der Wirkungsgrad bonitiert.

Tab. 3 Pflanzendichte und Entwicklungsstadien von Zuckerrübe und Zwischenfrüchten bei den Applikation.

Tab. 3 *Plant dense and growth stages of sugar beet and catch crops at the different application.*

	Pfl /m ²	BBCH		
		NAK 1, 12.4.17	NAK 2, 26.4.17	NAK 3, 9.5.17
Zuckerrübe	15,3	10	10-12	15
Phacelia	11,1	10-11	10-12	10-18
Buchweizen	3,3	10	10-12	10-12
Gelbsenf	8,1	10	10-12	10-18

Ergebnisse

Gefäßversuch Halbfreiland

Tabelle 4 stellt die Wirkungsgrade der Herbizide im Boniturverlauf dar. Dabei erzielte die Kombination aus Goltix Titan und Belvedere Extra erwartungsgemäß die besten Ergebnisse. Zufriedenstellende Wirkungsgrade von über 80 % konnten bei einmaliger Behandlung damit gegen Buchweizen, Phacelia, Alexandrinerklee, Öllein und Ramtillkraut erreicht werden. Unzureichende Wirkungsgrade wurden bei Gelbsenf, Sommerwicke und Kulturmalve erzielt. Die besten Wirkungsgrade wurden meist gut zwei Wochen nach der Applikation erzielt (Abb. 1), danach fiel die Wirkung der vorwiegend blattaktiven Substanzen oft wieder ab.

Tab. 4 Wirkungsgrade der Herbizide gegen die Zwischenfrüchte im Gefäßversuch 2016 (DAT = Tage nach Behandlung).

Tab. 4 *Efficacy of herbicides against the catch crops in the pot trial 2016 (DAT = days after treatment).*

	Wirkungsgrad in %											
	Goltix Titan				Belvedere Extra				Goltix Titan + Belvedere Extra			
DAT	17	21	28	34	17	21	28	34	17	21	28	34
FAGTA	30	11	1	1	65	51	1	16	91	90	74	70
PHCTA	4	0	0	6	51	34	5	9	85	81	54	45
RAPSO	0	0	0	0	16	10	0	0	51	41	11	5
TRFAL	34	23	14	17	65	69	80	75	92	94	96	97
VICSA	4	8	1	0	36	43	29	21	47	38	31	21
MALSI	1	6	12	24	11	9	12	24	29	14	2	8
LIUUT	25	25	14	9	35	29	23	8	78	80	73	65
AVESG	6	1	0	1	6	1	1	1	9	4	0	1
SINAL	1	0	3	5	14	5	0	3	33	23	5	4
GUIAB	50	42	22	12	21	20	14	4	89	85	72	56

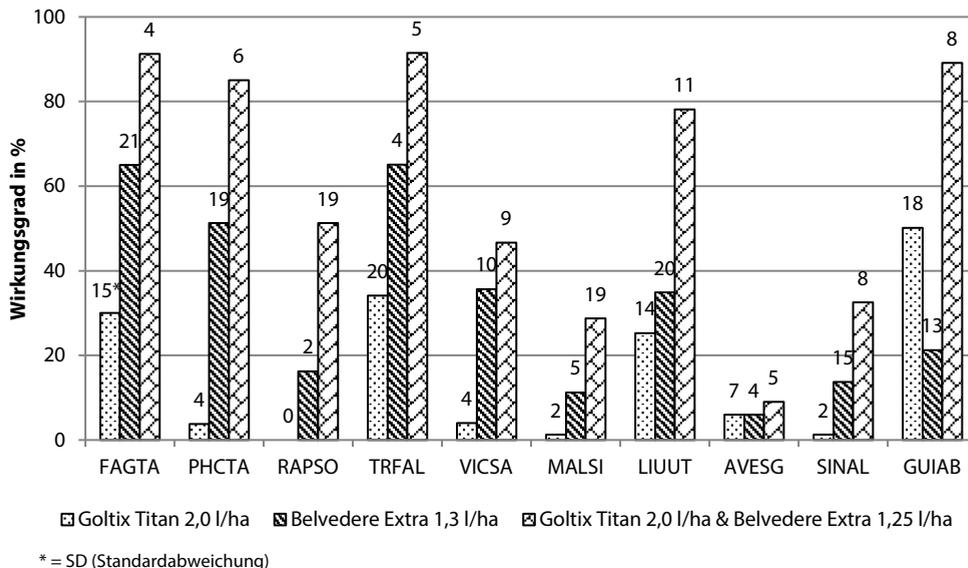


Abb. 1 Wirkungsgrade der Herbizide auf die Zwischenfrüchte im Gefäßversuch 2016, 15-17 Tage nach Applikation.

Fig. 1 Herbicide efficiencies against catch crops in the pot trial 2016, 15-17 days after treatment.

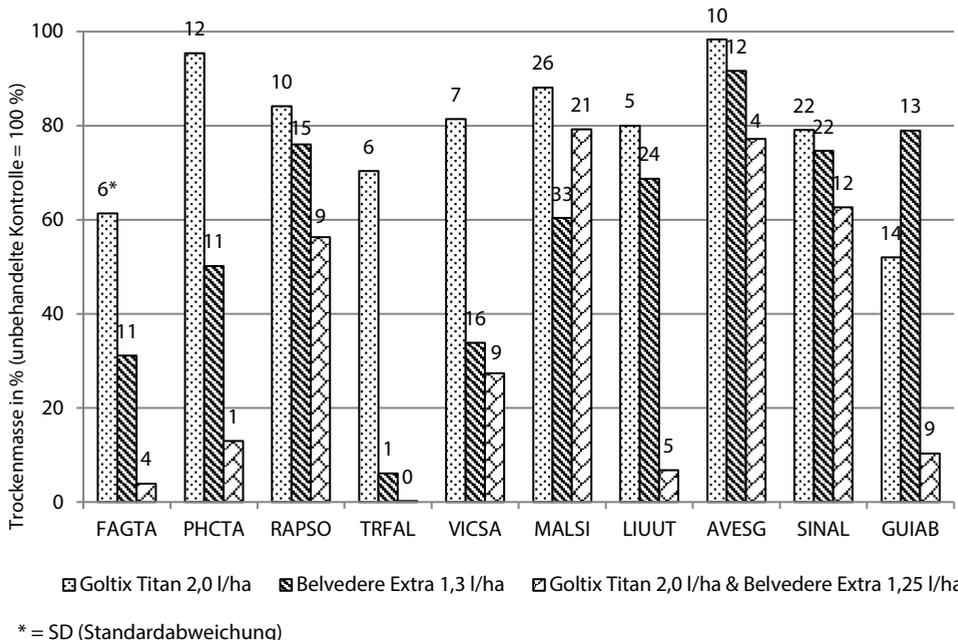


Abb. 2 Trockenmasse der Zwischenfrüchte in Abhängigkeit der Herbizidbehandlung 32-34 Tage nach Applikation.

Fig. 2 Dry matter of the catch crops related to herbicide treatment 32-34 days after treatment.

Die Wirkung der Herbizide auf die Trockenmasse zum Abschluss des Versuches im Vergleich zur Kontrolle ist in Abb. 2 dargestellt. Auch hier reduzierte die Kombination aus Goltix Titan und Belvedere Extra die meisten Zwischenfrüchte deutlich. Weniger Biomassereduktion durch eine einmalige Herbizidapplikation erfolgte bei Wilder Malve, Gelbsenf, Ölrettich und Rauhafer.

Feldversuch

Der Buchweizen lief im ganzen Versuch nur sehr zögerlich und über einen langen Zeitraum auf und war in geringerer Pflanzenanzahl vorhanden als Senf und Phacelia (Tab. 3). Sein Deckungsgrad war auch durch seine langsamere Entwicklung niedrig. Phacelia und Gelbsenf entwickelten sich zunächst ähnlich gut, Gelbsenf dominierte die Parzellen aber zunehmend.

Abb. 3 zeigt den Deckungsgrad der Zwischenfrüchte in der unbehandelten Kontrolle sowie den Verlauf der Wirkungsentwicklung ein bis drei Wochen nach der letzten Behandlung NAK 3. Goltix Titan zeigte keine ausreichende Wirkung gegen Phacelia und mit maximal 82 % eine mäßige Wirkung gegen Gelbsenf. Gegen Buchweizen wurde mit 98 % eine sehr gute Wirkung erzielt. Belvedere Extra zeigt auf alle drei Zwischenfrüchte eine sehr gute Wirkung, welche durch den Zusatz von Goltix Titan nicht mehr gesteigert werden konnte.

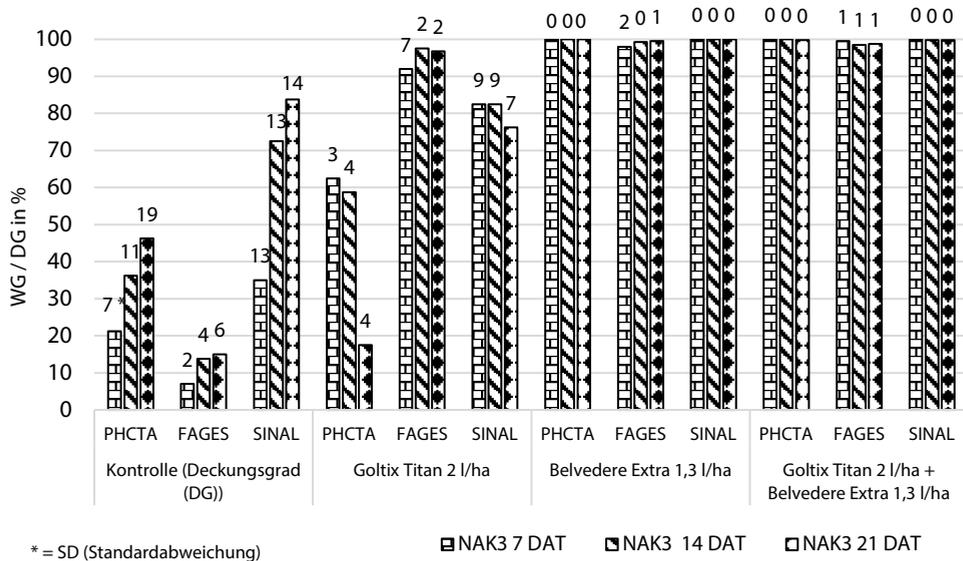


Abb. 3 Wirkungsgrade (WG) der Herbizidvarianten auf die Zwischenfrüchte im Freilandversuch 7 bis 21 Tage nach der Applikation NAK 3.

Fig. 3 Herbicide efficacy (WG) against catch crops in the field trial 7 to 21 days after treatment NAK 3.

Diskussion

Die in beiden Versuchsjahren eingesetzten Zuckerrübenherbizide Goltix Titan und Belvedere Extra sind Standardprodukte, die in der Praxis meist zu drei Terminen im Abstand von 7 bis 10 Tagen im Nachauflauf der Zuckerrübe im Keimblattstadium der Unkräuter (= NAK 1-3) eingesetzt werden. Das Herbizid Goltix Titan wird über Wurzel und Blatt der Unkräuter aufgenommen. Es besteht aus einer Mischung des die Photosynthese hemmenden Triazinons Metamitron (HRAC C1) und des Wachstoffs Quinmerac (HRAC O). Die beste Wirkung wird im Keimblatt bis max. 2-Blattstadium der Unkräuter erzielt. Das Herbizid Belvedere Extra setzt sich aus einer Mischung der blattaktiven Wirkstoffe Phenmedipham und Desmedipham (HRAC C1) sowie dem blatt- und bodenwirksamen Ethofumesat (HRAC N) zusammen (ADAMA, 2016).

Die Gefäßversuche erzielten mit nur einmaliger Applikation und ohne die unkrautunterdrückende Wirkung der Hauptkultur erwartungsgemäß meist keine optimalen Wirkungsgrade. Da keine weitere Behandlung erfolgte, nahmen die Pflanzen im Topf nach etwa 15 bis 17 Tagen wieder an Biomasse zu. Auch wurde die Behandlung statt im Keimblattstadium erst im zweiten Laubblattstadium durchgeführt. Die bessere Wirkung im Feldversuch ist bei Gelbsenf und Phacelia gut sichtbar. Während Gelbsenf durch Belvedere im Topf einen maximalen Wirkungsgrad von 14 % erzielte, war eine Bekämpfung im Feldversuch zu 100 % möglich. Bei Phacelia wurde im Gefäß mit Belvedere Extra 51 % Wirkungsgrad erzielt, im Feld auch hier 100 % Wirkung.

Goltix Titan konnte im Gefäßversuch keine der 10 Zwischenfrüchte ausreichend schädigen. Am besten war die Wirkung gegen Ramtillkraut mit max. 50 %. Ramtillkraut dürfte in „normalen Wintern“ ohnehin unproblematisch sein, da es sehr frostempfindlich ist und schon bei wenig Frost sicher abfriert (Dsv, 2017)

Belvedere Extra erreichte Wirkungsgrade über 50 % gegen Phacelia (max. 51 %), Buchweizen (max. 65 %) und Alexandrinerklee (max. 80 %). Die Mischung aus beiden Produkten erreichte Wirkungsgrade über 80 % gegen Buchweizen, Phacelia, Alexandrinerklee und Ramtillkraut. Gegen Öllein konnte max. 80 % Wirkung erzielt werden.

Eine ungenügende Wirkung aller Produkte im Gefäßversuch wurde gegen die fünf Zwischenfrüchte Rauhafer, Gelbsenf, Ölrettich, Sommerwicke und Malve erzielt. Rauhafer wäre sicher besser mit Graminiziden zu bekämpfen gewesen. Ölrettich, Sommerwicken und Malven wurden in den Feldversuch 2017 nicht mehr mit aufgenommen. Die Bekämpfung von Ölrettich wie auch von Öllein ist aber nach Erfahrungen der Firma Bayer (Feldversuch ohne Wiederholungen) über eine dreimalige Applikation von Betanal maxxPro® (Phenmedipham, Desmedipham, Ethofumesat, Lenacil) sicher möglich (BAYER, 2016). Sommerwicken konnten nach einem Tastversuch (ohne Wiederholungen) von Klingenhagen durch eine einmalige Applikation von Lontrel® (Clopyralid) zu 100 % bekämpft werden (KLINGENHAGEN, 2016). Für Malven wird es schwierig. Mit den verfügbaren Zuckerrübenherbiziden scheint aktuell keine sichere Reduzierung möglich, wohl aber mit Getreide- oder Maisherbiziden (Tomigan® 200, MaisTer® power) in nachfolgenden monokotylen Kulturen (KLINGENHAGEN, 2016).

Im Feldversuch konnten die drei getestet Zwischenfrüchte Gelbsenf, Buchweizen und Phacelia mit Belvedere Extra sehr gut bekämpft werden. Durch die manuelle Aussaat war die Verteilung der Zwischenfrüchte etwas ungleichmäßig, was einerseits zu deutliche Häufungen an einigen Stellen und andererseits zu Parzellen führte, in denen zeitweise eine Zwischenfruchtart gar nicht vorzufinden war. Eine ungleichmäßige Verteilung stellt natürlicherweise aber auch die Verteilung von aussamenden Zwischenfrüchten dar, welche punktuell im Feld eine hohe Anzahl von Samen abgeben.

Buchweizen weist allgemein eine rasche Entwicklung mit früher Samenbildung auf. Da hier eine unerwünschte Samenbildung besonders häufig ist, wird er oft für Zuckerrübenfruchtfolgen nicht empfohlen (HOFFMANN, 2017). In den vorgestellten Feldversuchen war eine Bekämpfung bis zum Bonitierende drei Woche nach der NAK 3 allerdings problemlos möglich. Problematisch könnte es werden, wenn später noch Buchweizen aufläuft, der dann mit der Hacke bekämpft werden müsste. Vergleichbare Ergebnisse zeigte 2015 auch ein Feldversuch mit Tatarischem Buchweizen bei der KWS. Hier zeigte eine einmalige Applikation von 2,0 l/ha Goltix Titan auf Buchweizen ohne Zuckerrüben 20 Tage nach Applikation 80 % Wirkungsgrad, im Vergleich zu 97 % Wirkungsgrad im vorgestellten Feldversuch. Eine sichere Bekämpfung von 99 % war mit 1,5 l/ha Betanal maxxPro möglich (KRULL, 2016).

Danksagung

Die vorgestellten Versuche wurden im Rahmen von Abschlussarbeiten am Fachbericht Agrarwirtschaft der FH-Südwestfalen durch die durch die engagierte Arbeit der Studierenden Jacob Kühn (Bachelorarbeit, Topfversuche 2016), Jennifer Godyn und Marius Hoffmann

(Projektarbeit Master, Freilandversuche 2017) erstellt. Herzlichen Dank auch an die Firma Adama für die finanzielle Unterstützung.

Literatur

ADAMA, 2016: Produktkatalog, <http://www.adama-produkte.com/de/d/136> (19.9.2017).

BAYER, 2016: Bekämpfung von Zwischenfrüchten in Zuckerrüben, persönl. Mitteilung Herrn Andreas Lagmann-Kohnhorst, 1.6.2016.

Dsv, 2017: Ramtillkraut, <https://www.dsv-saaten.de/zwischenfruechte/terralife/artenkompass/ramtillkraut.html> (27.9.2017).

HOFFMANN, A., 2017: Mehr Ärger als Nutzen? DLG Mitteilungen 8/2017, S. 52-55.

KLINGENHAGEN, G., 2016: Zwischenfrüchte kennenlernen und Herbizide ausprobieren. Getreidemagazin 3/2016, S. 21-24.

KRULL, A., 2016: Bekämpfung von Tatarischem Buchweizen mit verschiedenen Herbiziden, Vortrag DPG-Arbeitskreis Raps, 16.2.2016, Braunschweig.

SCHLATHÖLTER, M., 2015: Zwischenfrüchte und Greening: Wie passt das zusammen? Zuckerrübe 3/2015, S. 36-38.

Aspekte einer Systemanalyse zur Bewertung des CONVISO® SMART Systems

Aspects of a system analysis contributing to an evaluation of the CONVISO® SMART SYSTEM

Nicol Stockfisch*, Nelia Nause

Institut für Zuckerrübenforschung an der Universität Göttingen, Holtenser Landstraße 77,
37079 Göttingen

*Korrespondierende Autorin, stockfisch@ifz-goettingen.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.073



Zusammenfassung

In Feldversuchen zeigte sich, dass das Herbizid Conviso One über ein breites Wirkungsspektrum und eine lange Wirkungsdauer verfügt. Die Erwartung an das System aus Herbizid und toleranter Sorte (Conviso Smart) ist, dass typische Probleme der praxisüblichen Unkrautbekämpfung im Zuckerrübenanbau besser gelöst werden können. Damit wären Voraussetzungen geschaffen, die Anzahl an Herbizidmaßnahmen zu reduzieren und damit die Intensität des Herbizideinsatzes insgesamt zu verringern. Wie vorteilhaft das neue System für einen Zuckerrüben anbauenden Betrieb ist, ergibt sich aus dessen Unkrautsituation und damit aus den Veränderungen in den Direktkosten für Herbizide und der Anzahl eingesparter Überfahrten zur Unkrautbekämpfung.

Stichwörter: Behandlungsindex, Herbizide, Zuckerrüben

Abstract

Field trials demonstrated the broad spectrum of efficacy and the long residual activity of the herbicide Conviso One. It is expected that the system consisting of a herbicide plus a herbicide-tolerant variety (Conviso Smart) will provide solutions for typical problems regarding weed control in sugar beets. This system would allow reducing the number of herbicide treatments and the overall intensity of weed control measures. The actual positive effects on a sugar beet growing farm depend on the respective weed situation, which in turn would interact with the extent of changes in direct costs for herbicides and in number of herbicide application.

Keywords: Herbicides, sugar beet, treatment index

Einleitung

Mit dem neuen Herbizid Conviso One könnten typische Probleme der praxisüblichen Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben wesentlich verbessert werden (WENDT et al., 2016a und 2016b; GÖTZE et al., 2017). Schwierige Bekämpfungssituationen entstehen beispielsweise beim Auftreten von Unkrautrüben, Raps/Ausfallraps oder verschiedenen Knöterich- oder Hirse-Arten. Die Anwendung von Conviso One könnte die Anzahl an Herbizidmaßnahmen auf einer Fläche reduzieren und insgesamt die Intensität des Herbizideinsatzes verringern.

Das Herbizid Conviso One ist in einigen europäischen Ländern bereits zugelassen, in Deutschland ist das Zulassungsverfahren jedoch noch nicht abgeschlossen (Stand: Oktober 2017). Nutzbar wird das Herbizid nur beim Anbau einer dazu komplementären, konventionell gezüchteten Zuckerrübensorte, die tolerant gegenüber dem Herbizid ist (WEGENER et al., 2016; WENDT et al., 2016b). Die ersten Sorten befinden sich aktuell in den Wertprüfungen für eine Zulassung durch das Bundessortenamt.

Für einen Vergleich der Herbizidintensität zwischen den aktuell praxisüblichen und zukünftig möglichen Herbizidstrategien sind besonders die Herbizidmaßnahmen interessant, die zukünftig durch Conviso One ersetzbar wären. Das betrifft insbesondere alle Nachauflaufbehandlungen (NAK), da Conviso One ausschließlich für Anwendungen im Nachauflauf beantragt wurde (BALGHEIM et al., 2016).

Datenbasis

Im Rahmen einer jährlich durchgeführten Betriebsbefragung zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau (STOCKFISCH et al., 2013) wurden von 2010 bis 2015 bundesweit insgesamt 2314 Betriebe zur Anbaugestaltung auf ihrem größten Zuckerrübensschlag des jeweiligen Anbaujahres

befragt. Die jährlich wechselnden befragten Betriebe sind über alle Zuckerrübenanbauregionen Deutschlands verteilt. Es wurde unter anderem nach Maßnahmen zur Unkrautbekämpfung gefragt, d.h. welche Herbizide wann in welcher Aufwandmenge zur Anwendung kamen. Aus diesen Daten wurden die aktuellen praxisüblichen Strategien zur Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben abgeleitet (NAUSE et al., 2017). Dazu wurden aus allen befragten Betrieben die Angaben von 2137 Feldern für die weitergehenden Betrachtungen ausgewählt. Ausgeschlossen wurden Felder, bei denen sich Besonderheiten im Anbauverfahren (z.B. eine Neusaat) vermutlich deutlich auf die Herbizidstrategien auswirkten.

Verglichen wurden die praxisüblichen Herbizidstrategien aus der Betriebsbefragung mit alternativen Strategien zur Unkrautbekämpfung mit Conviso One, die sich in Feldversuchen als erfolgreich herausgestellt hatten (BALGHEIM et al., 2016). Daher dienen sie als Grundlage für die vorliegende Analyse.

Im Gegensatz zu empirisch ermittelten Ergebnissen aus Feldversuchen konnte im Rahmen der Betriebsbefragung zur Produktionstechnik weder bonitiert werden, welche Unkräuter in welcher Dichte ursprünglich auf dem Feld vorhanden waren, noch wie erfolgreich die Unkrautbekämpfung war.

Ergebnisse

Die Angaben der befragten Betriebe zu häufig auftretenden Unkräutern im Zuckerrübenanbau waren während der sechs Jahre in der Befragung ziemlich stabil, obwohl in jedem Jahr andere Betriebe befragt wurden. Besonders häufig wurden *Chenopodium album* L., *Galium aparine* L., Kamille-Arten und *Polygonum convolvulus* L. genannt (HAUER-JÄKLI et al., 2017). Die Unkrautsituation variierte jedoch zwischen den unterschiedlichen Regionen. Beispielsweise traten Unkräuter wie Raps/Ausfallraps, *P. convolvulus* und *Polygonum aviculare* L., *Aethusa cynapium* L. und *Cirsium arvense* L. nicht in allen Zuckerrüben-Anbauregionen auf. Darüber hinaus wurden diese Unkräuter auch nicht immer, wenn sie als häufig auftretend genannt wurden, von allen Betrieben als schwer zu bekämpfen eingeordnet. Daraus lässt sich schließen, dass die Unkrautbekämpfung in den Regionen und Betrieben unterschiedlich intensiv und eventuell auch unterschiedlich erfolgreich durchgeführt wird.

Unter der Annahme, dass Betriebe auf Flächen mit schwer zu bekämpfenden Unkräutern vermehrt bereit sind, ein neues Herbizid bzw. das neue System Conviso Smart aus Herbizid und Sorte zu testen, wurden die Ergebnisse zur Intensität des Herbizideinsatzes strukturiert. Als Maß für die Intensität dient der Behandlungsindex (BI). Dieser stellt die Anzahl der angewandten Pflanzenschutzmittel auf einem Schlag, unter Berücksichtigung von reduzierten Aufwandmengen (im Vergleich zur zugelassenen Aufwandmenge) und Teilflächenbehandlungen dar (BMELV, 2013). Für die vorliegende Studie wurden ausschließlich die Herbizidbehandlungen, die im Anbaujahr der Zuckerrüben durchgeführt wurden, berücksichtigt. Der durchschnittliche Behandlungsindex Herbizide (BI_{Herb}) in der selektierten Gruppe von 2137 Betrieben lag im Mittelwert der Jahre 2010 – 2015 bei 2,56. Auf 86 % der Flächen aus der Befragung lag der Behandlungsindex unter 3,5 (Abb. 1). Ein Behandlungsindex von 3,50 oder höher zeigte sich für 14 % der Flächen. Hierbei könnte es sich um Flächen mit schwierigen Unkrautsituationen handeln. Auf den Flächen mit einem hohen Behandlungsindex Herbizide wurden durchschnittlich 8,5 herbizide Wirkstoffe angewendet und damit zwei Wirkstoffe mehr als auf den Flächen mit einem Behandlungsindex Herbizide unter 3,5.

Der Behandlungsindex ist im Nationalen Aktionsplan Pflanzenschutz als Indikator für die Behandlungsintensität aufgeführt (BMELV, 2013) und das Sinken des Behandlungsindex ist dort als Ziel definiert. Im Zuckerrübenanbau dominieren bei den Pflanzenschutzanwendungen die Herbizidanwendungen den Behandlungsindex (ROßBERG et al., 2017). Da sich mit der Anwendung von Conviso One voraussichtlich die Anzahl der Herbizidanwendungen reduzieren ließe (WEGENER et al., 2016; WENDT et al. 2016a; HAUER-JÄKLI et al., 2017; GÖTZE et al., 2017), könnte dadurch der Behandlungsindex sinken und damit zum Erreichen der im Nationalen Aktionsplan Pflanzenschutz

definierten Ziele beigetragen werden. Wie stark der Behandlungsindex sinken würde, wenn auf einem Teil der Flächen Conviso One zur Anwendung käme, ist in Tabelle 1 für unterschiedliche Szenarien abgebildet.

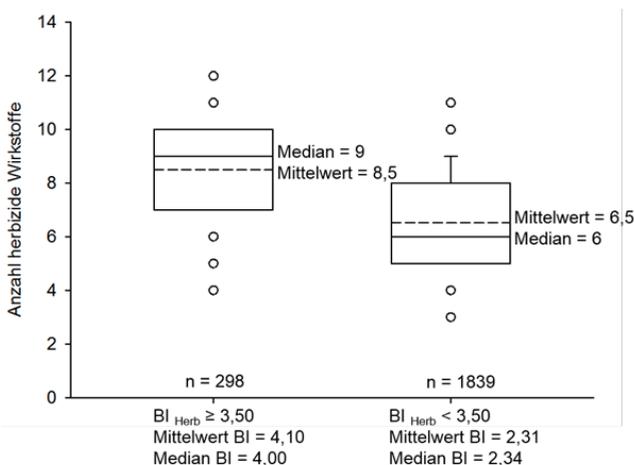


Abb. 1 Anzahl eingesetzter Wirkstoffe zur Unkrautbekämpfung im Nachauflauf auf Flächen aus einer Betriebsbefragung zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau in Deutschland, 2010 – 2015, n = 2137. Links sind die Felder mit dem höchsten Behandlungsindex für Herbizidanwendungen (BI_{Herb}) zusammengefasst, rechts die Felder mit einem BI_{Herb} kleiner 3,50, was für 86 % aller Felder zutrifft.

Fig. 1 Number of applied active ingredients for weed control after crop emergence, results from a farm survey regarding sugar beet cultivation in Germany, 2010 – 2015, n = 2137. On the left, fields with the highest treatment index for herbicide treatments (BI_{Herb}) are aggregated, on the right fields with a BI_{Herb} below 3.50, which is true for over 86% of all fields.

Tab. 1 Mögliche Veränderungen des Behandlungsindex für Herbizide im Zuckerrübenanbau durch Anwendungen des CONVISO SMART Systems (Herbizidstrategien A und B) auf unterschiedlichen Anteilen der Felder (100; 50; 14 %) bzw. auf den 14 % der Felder mit einem $BI_{Herb} \geq 3,50$.

Tab. 1 Possible changes in treatment index for herbicides in sugar beet cultivation by application of the CONVISO SMART system (strategies A and B) in different percentages of fields (100; 50; 14%) or in the 14% of fields with a $BI_{Herb} \geq 3.50$.

Herbizidstrategie	Flächenanteil für Herbizidstrategie mit Conviso One			
	100 %	50 %	14 %	14 % mit höchstem BI
A) 1 Anwendung mit 1,0 L ha ⁻¹ CONVISO ONE® + 1 Anwendung mit 1,5 L ha ⁻¹ Betanal® maxxPro und 1,0 L ha ⁻¹ Goltix® Gold	1,71	2,13	2,44	2,23
B) 2 Anwendung mit je 0,5 L ha ⁻¹ CONVISO ONE®	1,18	1,87	2,37	2,15

* Mittelwert des Behandlungsindex Herbizide 2010 – 2015, anders als für die PAPA-Statistikerhebung (ROBBERT et al., 2017) berechnet ohne Berücksichtigung von Herbizidanwendungen im Herbst vor dem Zuckerrübenanbaujahr

Ausblick

Ob mit der Anwendung von Conviso One neben der möglichen Reduktion der Herbizidintensität außerdem ein Beitrag zur Risikoreduktion im Sinne des Nationalen Aktionsplans Pflanzenschutz (BMELV, 2013) geleistet werden kann, wird im weiteren Verlauf der Systemanalyse untersucht. Die

Risiken für den Naturhaushalt bei Anwendung von Conviso One im Vergleich zu den praxisüblichen Herbiziden (NAUSE et al., 2017) werden mit dem Modell SYNOPSIS abgeschätzt.

Eine Betrachtung der möglichen Vor- oder Nachteile des Conviso Smart Systems auf betrieblicher Ebene vervollständigt die Systemanalyse. Vorteile des Conviso Smart Systems sind unter anderem durch das breite Wirkungsspektrum von Conviso One gegenüber einigen bisher schwer zu bekämpfenden Unkrautarten, aus der größeren Flexibilität bei den Applikationsterminen, der hohen Nutzpflanzenverträglichkeit und aus Einsparungen bei Arbeiterledigungs- und Direktkosten zu erwarten. (Anzahl Überfahrten und Kosten für Herbizide; siehe auch HAUER-JÄKLI et al., 2017 und GÖTZE et al., 2017). Besondere Beachtung finden soll auch der Gesichtspunkt des Fruchtfolge-übergreifenden Resistenzmanagements, da Herbizide der gleichen Wirkstoffgruppen umfangreich in anderen Kulturen Angewendet werden, die regelmäßig mit Zuckerrüben in einer Fruchtfolge stehen.

Ein Abschluss der Systemanalyse wird erst nach der Zulassung von Herbizid und Sorte in Deutschland und ersten Erfahrungen aus der Praxis erfolgen können.

Literatur

- BALGHEIM, N., M. WEGENER, H. MUMME, C. STIBBE und B. HOLTSCHULTE, 2016: CONVISIO® SMART - ein neues System zur erfolgreichen Kontrolle von Ungräsern und Unkräutern in ALS-toleranten Zuckerrüben. Julius-Kühn-Archiv **452**, 327-334.
- BMELV – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2013: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. BMELV, Bonn, 75 S.
- GÖTZE, G., M.J. WENDT und C. KENTER, 2017: Wirksamkeit und Einsatzzeitpunkt von CONVISIO ONE (Formasulfuron + Thien-carbazone-methyl) zur Unkrautkontrolle in Zuckerrüben. Sugar Industry **142**, Sonderheft 13. Göttinger Zuckerrübenentagung, 85-90.
- HAUER-JÄKLI, M., N. NAUSE, K. TRIMPLER, N. STOCKFISCH und B. MÄRLÄNDER, 2017: CONVISIO® ONE – Ansätze für eine Systemanalyse der Herbizidstrategie. Sugar Industry **142**, Sonderheft 13. Göttinger Zuckerrübenentagung, 91-99.
- NAUSE, N., J. STRASSEMAYER und N. STOCKFISCH, 2017: Herbizideinsatz im Zuckerrübenanbau in Deutschland und damit verbundene Umweltrisiken. Sugar Industry **142**, Sonderheft 13. Göttinger Zuckerrübenentagung, 37-45.
- ROßBERG, D., N. AECKERLE und N. STOCKFISCH, 2017: Erhebung zur Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln in Zuckerrüben. Gesunde Pflanzen **69**, 59-66.
- STOCKFISCH, N., M. GALLASCH, H. REINEKE, K. TRIMPLER, C. MIELKE, M. REINERS, P. RISSER, K. SCHMITZ und B. MÄRLÄNDER, 2013: Betriebsbefragung zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau: Datenbasis und Basisdaten. Sugar Industry **138**, 656-663.
- WEGENER, M., N. BALGHEIM, M. KLIE, C. STIBBE und B. HOLTSCHULTE, 2016: CONVISIO® SMART – ein innovativer Ansatz der Unkrautkontrolle in Zuckerrüben. Sugar Industry **141**, 517-524.
- WENDT, M.J., C. KENTER, M. WEGENER und B. MÄRLÄNDER, 2016a: Efficacy of different strategies using an ALS-inhibitor herbicide for weed control in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Journal für Kulturpflanzen **68**, 338-343.
- WENDT, M.J., M. WEGENER, E. LADEWIG, and B. MÄRLÄNDER, 2016b: Efficacy of foramsulfuron + thien-carbazone-methyl towards different development stages of weed species in sugar beet cultivation. Sugar Industry **141**, 436-445.

Übersicht zu Wirksamkeitsversuchen von Conviso® One in Zuckerrüben

Survey of efficacy trials for Conviso® One in sugar beet

Philipp Götze*, Christine Kenter, Moritz Jasper Wendt, Erwin Ladewig

Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstraße 77, 37120 Göttingen

*Korrespondierender Autor, goetze@ifz-goettingen.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.074



Zusammenfassung

Das Herbizid Conviso One mit den beiden Wirkstoffen Foramsulfuron 50 g l⁻¹ und Thien carbazole-Methyl 30 g l⁻¹ (HRAC-Gruppe B) benötigt im Zuckerrübenanbau komplementär eine resistente Sorte (sortenspezifische Selektivität). Erfahrungen mit diesen Wirkstoffen in Mais zeigen, dass eine hohe Wirksamkeit auch bei Unkräutern in späteren Wachstumsstadien gegeben ist, während die bisher im Zuckerrübenanbau eingesetzten Herbizide die höchste Effizienz im Keimblattstadium der Unkräuter haben. Um Erkenntnisse bezüglich der Wirkdauer im Boden, der Sensitivität von Unkräutern in verschiedenen Wachstumsstadien und des optimalen Einsatztermins zu gewinnen, wurden in den Jahren 2013 und 2014 vom Institut für Zuckerrübenforschung mehrere Feldversuche angelegt. Dabei wurden Unkräuter der Arten *Chenopodium album*, *Brassica napus*, *Galium aparine*, *Matricaria chamomilla* und *Polygonum convolvulus* ausgesät, um die Bodenwirksamkeit (Applikation vor Aussaat der Unkräuter) sowie die Wirksamkeit nach Spritzapplikation in unterschiedlichen Stadien der Unkräuter zu testen. Weitere Versuche auf Praxisflächen unter standorttypischer Verunkrautung dienen zur Ermittlung der Wirksamkeit von Conviso One gegenüber einer Standard-Herbizidstrategie sowie gegenüber Tankmischungen und Spritzfolgen unter Zugabe von Conviso One. Die Ergebnisse zeigen eine abnehmende Wirksamkeit mit zunehmenden Entwicklungsstadien der Unkräuter, vor allem bei *C. album*. Im Vergleich zu praxisüblichen Herbizidstrategien, die eine erste Behandlung im Keimblattstadium der Unkräuter vorsehen, kann bei Conviso One ein wirksamer Einsatz bis BBCH 14 von *C. album* erfolgen. Verglichen mit einer Standard-Herbizidstrategie kann durch den Einsatz von Conviso One eine höhere Wirksamkeit gegenüber schwer bekämpfbaren Unkrautarten wie *Mercurialis annua* und Durchwuchskartoffel (*Solanum tuberosum*) erreicht werden und die Anzahl der notwendigen Spritzapplikationen sinkt. Die Bodenwirksamkeit betrug im Mittel der Versuche und Jahre 15-20 Tage.

Stichwörter: ALS-Hemmer, Aufwandmenge, Bodenwirksamkeit, Entwicklungsstadium

Abstract

The ALS-inhibitor herbicide Conviso One (foramsulfuron 50 g l⁻¹ + thien carbazole-methyl 30 g l⁻¹, HRAC B) requires a corresponding resistant variety when used in sugar beet cultivation. Experiences with these active ingredients in maize show a high efficacy even at later development stages of weeds, whereas active ingredients applied in current sugar beet cultivation cause highest efficacy at the cotyledonous stage. To acquire insights concerning soil activity, sensitivity of weeds at various development stages and the optimum application timing of Conviso One, numerous field trials were conducted in 2013 and 2014 by the Institute of Sugar Beet Research, Göttingen. Weed plants of the species *Chenopodium album*, *Brassica napus*, *Galium aparine*, *Matricaria chamomilla* and *Polygonum convolvulus* were sown to test soil activity (application prior to sowing of weeds) and efficacy after spraying at various development stages of weeds. Additional field trials on naturally infested sites built the basis to investigate efficacy of Conviso One compared to standard herbicides and compared to combinations of Conviso One and standard herbicides in spraying sequence or tank mixture. The results indicate decreasing efficacy when development of weeds increases, especially for *C. album*. Compared to current herbicide strategies, which require application at the cotyledonous stage of weeds, effective application of Conviso One can take place until BBCH 14 of *C. album*. Conviso One caused higher efficacy against difficult to control weeds as *Mercurialis annua* and volunteer-potato (*Solanum tuberosum*) than the standard herbicide treatment and the number of applications decreased. Soil activity lasted 15-20 days on average of the field trials.

Keywords: ALS-inhibitor, application rate, developmental stage, soil activity

Einleitung

Sowohl die Sorte als auch das Herbizid des Unkrautbekämpfungssystem Conviso Smart (klassisch gezüchtete ALS-Inhibitor resistente Zuckerrübensorte, Komplementärherbizid Conviso One, Wirkstoffe: Foramsulfuron 50 g l⁻¹, Thien carbazole-methyl 30 g l⁻¹) befinden sich in Deutschland

zurzeit in den jeweiligen Zulassungsverfahren. Das System soll neben den wichtigen Ungräsern und Unkräutern auch schwer bekämpfbare Arten erfolgreich kontrollieren, wobei entweder eine einfache Applikation mit 1 l ha^{-1} oder eine Splitting-Behandlung mit $2 \times 0,5 \text{ l ha}^{-1}$ bis BBCH 14 der Unkräuter vorgesehen ist (BALGHEIM et al., 2016). Für den Zuckerrübenanbau könnten sich dadurch Vorteile durch einen flexibleren Applikationstermin, eine Verringerung der Applikationsanzahl und der ausgebrachten Wirkstoffmenge sowie durch eine geringere Phytotoxizität ergeben. Der folgende Beitrag fasst den aktuellen Kenntnisstand aus Publikationen zur herbiziden Wirkung von Conviso One zusammen und soll einen Ausblick über Einsatzmöglichkeiten in Zuckerrüben geben.

Wirksamkeitsspektrum

BALGHEIM et al. (2016) sowie WEGENER et al. (2016) haben sowohl bei einfacher ($1 \times 1 \text{ l ha}^{-1}$) als auch bei zweifacher ($2 \times 0,5 \text{ l ha}^{-1}$) Applikation gute (90-95 %) bis sehr gute ($> 95 \%$) Wirkungsgrade gegenüber einer Vielzahl typischer Unkräuter in Zuckerrüben nachgewiesen. Diese beinhalteten auch Gräser wie *Echinochloa crus-galli*, *Poa annua* und *Alopecurus myosuroides*. Schwer bekämpfbare Arten wie *Aethusa cynapium* und *Mercurialis annua* sowie Durchwuchskartoffeln (*Solanum tuberosum*) wurden ebenso besser kontrolliert als durch die Standard-Tankmischung. Allerdings können *Veronica*-Arten (*V. agrestis*, *V. hederifolia*, *V. persicae*) oftmals nicht ausreichend bekämpft werden.

Bodenwirksamkeit

Der Wirkstoff Thien carbazonemethyl wird sowohl über das Blatt als auch über die Wurzel aufgenommen und es besteht damit eine Residualwirkung auf neu auflaufende Unkräuter (WEGENER et al., 2016). Von WENDT et al. (2017) wurden nach der Applikation von Conviso One in unterschiedlichen Zeitabständen (5 bis 40 Tage nach Applikation) Unkräuter ausgesät um die Dauer der Bodenwirksamkeit zu testen. Mit zunehmend späterem Aussaatzeitpunkt der Unkräuter nahm die Wirkung ab. Eine signifikante Abnahme zeigte sich zwischen den Aussaatterminen 10 und 15 Tage nach Applikation (WENDT et al., 2017), welches somit in Übereinstimmung mit dem DT50-Wert von Thien carbazonemethyl (geometr. Mittelwert 15,5 Tage, Variation 3,2 bis 53,2 Tage) ist (European Food Safety Authority (EFSA), 2013).

Einsatzzeitpunkt

Ergebnisse aus dem Maisanbau, in denen ALS-Inhibitoren auch bei der Applikation nach dem Keimblattstadium der Unkräuter hohe Wirkungsgrade erzielten (SANTEL, 2012; WEGENER und BALZ, 2014), lassen beim Einsatz von Conviso One ebenso eine hohe Wirksamkeit ($> 95 \%$) zu späteren Entwicklungsstadien der Unkräuter erwarten. Wendt et al. (2016b) prüften hierzu die Wirksamkeit von Conviso One gegenüber *Chenopodium album* (BBCH 12-32) zu fünf unterschiedlichen Applikationszeitpunkten. Im Allgemeinen zeigte sich auch bei Conviso One eine Abnahme der Wirksamkeit gegenüber *C. album*, *Matricaria chamomilla* und *Polygonum convolvulus* mit zunehmendem Entwicklungsstadium. Dieser Effekt war bei *C. album* am stärksten ausgeprägt, aber auch bei Applikation in BBCH 16 wurden noch über 90 % Wirksamkeit erreicht. *Galium aparine* und *Brassica napus* wurden auch bei Applikation in BBCH 32 bzw. 29 sehr gut kontrolliert.

Herbizidstrategien

In weiteren sechs Versuchen haben WENDT et al. (2016a) verschiedene Herbizidstrategien von Conviso One als Soloanwendung ($1 \times 1 \text{ l ha}^{-1}$, $2 \times 0,5 \text{ l ha}^{-1}$) und in Spritzfolge bzw. Tankmischung mit klassischen Herbiziden sowie eine Standard-Herbizidstrategie ($3 \times 1,25 \text{ l ha}^{-1}$ Betanal maxxPro + $1,0 \text{ l ha}^{-1}$ Goltix Gold) geprüft. Der kombinierte Einsatz von Conviso One und klassischen Herbiziden zeigte an allen Standorten hohe Gesamtwirkungsgrade, während an einzelnen Standorten sowohl die Standard-Herbizidstrategie als auch die alleinige Anwendung von Conviso One geringere Gesamtwirkungsgrade erreichten. Varianten mit Conviso One konnten gegenüber

schwer bekämpfbaren Unkrautarten wie *M. annua* und Durchwuchskartoffel (*S. tuberosum*) eine hohe Wirkung erzielen.

Ausblick

Der alleinige Einsatz von Conviso One war unter bestimmten Applikations- und Standortbedingungen, jedoch nicht in allen Versuchen, hoch wirksam gegenüber typischen Unkräutern im Zuckerrübenanbau (WENDT et al., 2016a, b). Um das Auftreten von Resistenzen bei Unkräutern gegenüber ALS-Inhibitoren zu vermeiden, sollte ein alleiniger Einsatz von Conviso One jedoch nur erfolgen, wenn eine optimale Wirksamkeit (100 %) zu erwarten ist und Wirkungsschwächen bisher nicht beobachtet wurden (GÖTZE et al., 2017). Darüber hinaus ist ein Resistenzmanagement über die gesamte Fruchtfolge notwendig (GUMMERT et al., 2017). Die Kombination von Conviso One mit Standard-Herbiziden in Tankmischung oder Spritzfolge könnte sowohl im Sinne der Wirkung als auch im Sinne der Resistenzvermeidung eine interessante zukünftige Herbizidstrategie darstellen. Aufgrund eines späteren möglichen Applikationszeitpunktes und der langen Bodenwirksamkeit kann man die Herbizidapplikation entsprechend der jahresspezifischen Witterungsbedingungen flexibler gestalten.

Literatur

- BALGHEIM, N., M. WEGENER, H. MUMME, C. STIBBE und B. HOLTSCHULTE, 2016: CONVISO® SMART - ein neues System zur erfolgreichen Kontrolle von Ungräsern und Unkräutern in ALS-toleranten Zuckerrüben. Julius-Kühn-Archiv **452**, 327-334.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2013: Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance thien carbazono-methyl. EFSA Journal **11**, 3270.
- GÖTZE, P., M.J. WENDT und C. KENTER, 2017: Efficacy and timing of CONVISO® ONE (foramsulfuron + thien carbazono-methyl) application for weed control in sugar beet. Sugar Industry **142**, im Druck.
- GUMMERT, A., E. LADEWIG, M. VARRELMANN, C. KENTER und B. MÄRLÄNDER, 2017: Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau. 2. Auflage. Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen (Hrsg.), in Vorbereitung.
- WEGENER, M., N. BALGHEIM, M. KLIE, C. STIBBE und B. HOLTSCHULTE, 2016: CONVISO® SMART – ein innovativer Ansatz der Unkrautkontrolle in Zuckerrüben. Sugar Industry **141**, 517-524.
- WEGENER, M. und T. BALZ, 2014: MAISTER® POWER: eine Terbutylazin- freie Lösung zur Bekämpfung von Ungräsern und Unkräutern in Mais. Julius-Kühn-Archiv **443**, 565-569.
- WENDT, M.J., C. KENTER, M. WEGENER und B. MÄRLÄNDER, 2016a: Efficacy of different strategies using an ALS-inhibitor herbicide for weed control in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Journal für Kulturpflanzen **68** (11), 338-343.
- WENDT, M.J., M. WEGENER, E. LADEWIG und B. MÄRLÄNDER, 2016b: Efficacy of foramsulfuron + thien carbazono-methyl towards different development stages of weed species in sugar beet cultivation. Sugar Industry **141** (7), 436-445.
- WENDT, M.J., C. KENTER, E. LADEWIG, M. WEGENER und B. MÄRLÄNDER, 2017: Duration of soil activity of foramsulfuron plus thien carbazono-methyl applied to weed species typical of sugar beet cultivation. Weed Technology **31**, 291-300.
- SANTEL, H.J., 2012: Thien carbazono-methyl (TCM) and Cyprosulfamide (CSA) - a new herbicide and a new safener for use in corn. Julius-Kühn-Archiv **434**, 499-505.

Examination of efficacy and selectivity of herbicides in ALS-tolerant sugar beets

Untersuchungen zur Wirksamkeit und Selektivität von Herbiziden in ALS-toleranten Zuckerrüben

Anja Löbmann*, Jan Petersen

Technische Hochschule Bingen, Fachbereich Life Science and Engineering,
Fachrichtung Agrarwirtschaft, Berlinstr. 109, 55411 Bingen, Germany
*Korrespondierende Autorin, a.loebmann@th-bingen.de



DOI 10.5073/jka.2018.458.075

Abstract

The development of herbicide-tolerant sugar beet varieties offers the possibility to use only herbicides from the group of the aceto-lactate synthase (ALS) inhibitors. At present, ALS inhibitors are used in many crops of the rotation to a significant extent, in particular in cereals and maize. However, more than 159 weed species with resistance to ALS inhibitors are known. Consequently, this is the mode of action with most cases of herbicide resistances. The advancing spread of ALS-resistant weeds is a major challenge for herbicide management, if herbicide ALS-tolerant crops are used.

The present study was concerned with the question of which herbicide strategies ensure the efficacy of the new herbicide CONVISO® with and without presence of ALS-resistant weeds. Furthermore, the selectivity in ALS-tolerant sugar beet was investigated. Without presence of ALS-resistant weeds one treatment with CONVISO® was sufficient for weed control. With a splitting application and use of an additive the CONVISO® efficacy could be improved. The application of CONVISO® herbicide caused no visual symptoms or yield loss in the sugar beet. ALS-resistant weeds were only partly controlled by CONVISO® herbicide. By using tank mixtures with other modes of action efficacy could be improved, but complete control of ALS-resistant weeds was not possible.

Keywords: ALS-inhibitors, CONVISO®, herbicide tolerance

Zusammenfassung

Die Entwicklung herbizidtoleranter Zuckerrübensorten bietet die Möglichkeit, ausschließlich Herbizide aus der Gruppe der Aceto-Lactat-Synthase (ALS-) Hemmer zu verwenden. Derzeit werden in vielen Kulturen, insbesondere in Getreide und Mais, ALS-Hemmer zu signifikanten Anteilen eingesetzt. Inzwischen sind mehr als 159 Unkrautarten mit Resistenz gegen ALS-Hemmer bekannt, was die größte Resistenzverbreitung bezogen auf die Anzahl betroffener Unkrautarten darstellt. Die voranschreitende Ausbreitung von ALS-resistenten Unkräutern ist eine große Herausforderung für das Herbizidmanagement beim Anbau ALS-toleranter Kulturen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit der Frage, welche Herbizidstrategien die Wirksamkeit von CONVISO® bei Auftreten ALS-resistenter und sensibler Unkräuter gewährleisten. Weiterhin wurde die Selektivität von Herbizidstrategien in ALS-toleranten Zuckerrüben untersucht. Die Einfachbehandlung mit CONVISO® war für die Unkrautbekämpfung sensibler Unkräuter ausreichend. Mit einer Splittingbehandlung und der Verwendung eines Additivs konnte die Wirksamkeit von CONVISO® verbessert werden. Die Anwendung von CONVISO® führte zu keinen visuellen Symptomen oder Ertragsverlusten der Zuckerrübe. ALS-resistente Unkräuter wurden teilweise von CONVISO® erfasst. Tankmischungen mit anderen Wirkmechanismen konnten die Effizienz verbessern, aber eine vollständige Kontrolle der ALS-resistenten Unkräuter war nicht möglich.

Stichwörter: ALS-Inhibitoren, CONVISO®, Herbizidtoleranz

Introduction

Sugar beets have a low competitiveness against weeds during the juvenile development. Consequently, without any weed control the loss of yield can be up to 95% (PETERSEN, 2003). Accordingly, farmers usually treat the crops 3 to 5 times with mixtures of different active ingredients (MÄRLÄNDER and TIEDEMANN, 2006). CONVISO® SMART is a new system for weed control developed by Bayer CropScience AG and KWS SAAT SE. This system consists of an ALS-tolerant sugar beet hybrid and a complementary ALS-inhibiting herbicide (50 g L⁻¹ foramsulfuron plus 30 g L⁻¹ thien carbazonemethyl). It offers the chance to control major weeds with low dose rates of product and reduced number of applications (WEGENER et al., 2015). The registration of CONVISO®

was requested with an application rate of 1.0 L ha⁻¹ or 2 x 0.5 L ha⁻¹ in ALS-inhibitor tolerant sugar beets (BALGHEIM et al., 2016).

However, the intensive use of ALS-inhibitors in crop rotations favored the development of herbicide resistance in numerous weed species. In the last 30 years, resistant populations have spread widely in Western and Central Europe (HEAP, 2017). Until now, there are 97 dicot and 62 monocot species known having an ALS-resistance (HEAP, 2017).

CONVISO® is supposed to be active against nearly all economically important weeds in sugar beets (BALGHEIM et al., 2016). Consequently, the solo use of the CONVISO® herbicide as an ALS-inhibitor is possible in many cases. The risk to select ALS-resistant weeds in this system is high. For the sustainable use of this system it is important to find strategies to reduce that risk. In this study the following hypothesis were tested: (i) It is possible to supplement the application of Convviso® with classical sugar beet herbicides in such a way that even ALS-resistant weeds are safely controlled. (ii) The efficacy of CONVISO® is comparable to classical herbicides. (iii) The use of an adjuvant ensures the effect of CONVISO® under dry conditions. Therefore, an outdoor container test and a field experiment were cultivated in Bingen (Rhein).

Materials und Methods

Outdoor container test

The trial was established with 30 containers (0.75 m²) under outdoor conditions. The sowing of 8 herbicide-tolerant sugar beets (experimental hybrid) was done by hand on 24th March 2016 and 16th March 2017. To require a seed stock of ALS-resistant weeds, seeds of *Echinochloa crus-galli*, *Stellaria media*, *Papaver rhoeas* and *Matricaria inodora* were mixed in the sterilized soil of the containers immediately before sowing (Tab. 1). The seed samples were from the original origin, except MATIN seeds. They were multiplied under selection pressure (tribenuron treatment) in 2015. The germination rate was estimated between 50 to 80% depending on the species.

Tab. 1 Characterization of weeds used in the outdoor container test.

Tab. 1 Charakterisierung der Unkräuter aus dem Gefäßversuch.

Weed species	EPP0-Code	Amount [g per container]		Origin, type of ALS-resistance
		2016	2017	
<i>Echinochloa crus-galli</i>	ECHCG	0.5	0.75	Thal (A); EMR; Trp574Leu
<i>Matricaria inodora</i>	MATIN	1.5	0.25	Freiburg/Elbe; Pro197Gln
<i>Papaver rhoeas</i>	PAPRH	0.015	0.02	Volkstedt (SA); Pro197Ser
<i>Stellaria media</i>	STEME	0.03	0.1	Selbitz (Bay); Pro197Thr + Trp574Leu

A total of 10 herbicide strategies were tested with three replicates (Tab. 3). The containers were treated with a one wheel plot sprayer (Air mix 110-025 Flat Fan, pressure 2.1 bar, water amount 200 L ha⁻¹, speed 4.5 km h⁻¹). The harvest was done on 29th July 2016 and 13th July 2017.

Tab. 2 Characterization of herbicides.**Tab. 2** Charakterisierung der Herbizide.

Product	Ingredients	MoA	HRAC
Betanal maxxPro	60 g L ⁻¹ phenmedipham 27 g L ⁻¹ lenacil	inhibition of photosynthesis at PS II	C 1
	47 g L ⁻¹ desmedipham 75 g L ⁻¹ ethofumesat	inhibition of lipid sythesis	N
Conviso®	50 g L ⁻¹ foramsulfuron 30 g L ⁻¹ thiencazabone-methyl	ALS-inhibitor	B
Goltix Gold	700 g L ⁻¹ metamitron	inhibition of photosynthesis at PS II	C 1
Hasten		adjuvant	
Lontrel SG 720	720 g kg ⁻¹ clopyralid	Synthetic auxin	O
Mero		adjuvant	
Para Sommer		adjuvant	
Select 240 EC	241,9 g L ⁻¹ clethodim	inhibition of ACCase	A

The efficacy of the herbicide applications was evaluated by counting weeds by species two weeks after treatment and by fresh weight determination of weed and sugar beet biomass. The experiences made in the first experimental year led to an adjustment of the seed rates.

Tab. 3 Herbicide treatments to control ALS-resistant weed in sugar beet in outdoor containers in the years 2016 and 2017 (T 2, T 4, T 6 and T 7 were only conducted in 2017).**Tab. 3** Herbizidvarianten zur Kontrolle ALS-resistenter Unkräuter in Zuckerrüben im Freiland-Gefäßversuch in den Jahren 2016 und 2017 (T 2, T 4, T 6 und T 7 wurden nur 2017 angelegt).

Treatment	Product	Dose [l ha ⁻¹ / g ha ⁻¹]		
		Early post- 1*	post- 2	post- 3
T 1	no treatment			
T 2	Conviso®		1.0	
	+ Mero		1.0	
T 3	Goltix Gold	1.25	1.25	1.25
	+ Betanal maxxPro	1.25	1.25	1.25
	+ Hasten		0.5	
T 4	Conviso®		1.0	
	+ Select + Para Sommer			0.75
	+ Lontrel		165	
T 5	Conviso®		0.5	0.5
	+ Betanal maxxPro		1.25	1.25
	+ Goltix Gold		1.25	1.25
T 6	Conviso®		0.5	0.5
	+ Betanal maxxPro	1.25		
	+ Goltix Gold	1.25		
T 7	Conviso®		0.5	0.5
	+ Betanal maxxPro	1.25	1.25	
	+ Goltix Gold	1.25	1.25	
T 8	Conviso®		0.5	0.5
	+ Betanal maxxPro		1.25	1.25
T 9	Conviso®		0.5	0.5
	+ Goltix Gold		1.25	1.25
T 10	Conviso®		0.5	0.5
	+ Mero		1.0	1.0

*early post-1: 6th April 2016, 4th April 2017; post- 2: 20th April 2016, 20th April 2017; post- 3: 10th May 2016, 5th May 2017

Field trial

In field trials, the efficacy and selectivity of different herbicide strategies to ALS-tolerant sugar beets were tested from 2015 to 2017. The trial site was in Bingen (Rhein) with a natural weed infestation. In a randomized block design 12 herbicide programs were tested with 4 replicates (Tab. 4). The plot size was 2.5 to 8.0 m. The herbicide application was done by the same plot sprayer as in the container trial.

The investigations included number of weeds, visually assessment of herbicide selectivity, yield and quality determination.

Statistical analysis

Data analysis was made with the statistic program "R", version 3.2.2. Differences between the herbicide programs were compared using an ANOVA with $\alpha > 0.05$, and a Tukey post-hoc test. The investigations were done on beet fresh weight (container trial) and on white sugar yield (field trial).

Tab. 4 Herbicide programs and dosages used for the field trial from 2015 to 2017 (V 8 to V 12 were only conducted in 2016 and 2017).

Tab. 4 *Herbizidbehandlungen und Dosierungen im Feldversuch von 2015 bis 2017 (V 8 bis V 12 wurden nur in 2016 und 2017 angelegt).*

Treatment	Herbicide variation	Dose [l ha ⁻¹]	Treatment timing
V 1	no treatment		
V 2	mechanical by hand		
V 3	Goltix Gold	3 x 1.25	NAK 1, 2, 3
	+ Betanal maxxPro	3 x 1.5	
	+ Hasten	3 x 0.5	
V 4	Conviso®	1.0	BBCH 10-14 CHEAL
V 5	Conviso®	2 x 0.5	BBCH 10-14 CHEAL and 14 days later
V 6	Conviso®	2.0	BBCH 10-14 CHEAL
V 7	Conviso®	2 x 1.0	BBCH 10-14 and 14 days later
V 8	Conviso®	2 x 0.5	BBCH 10-14 CHEAL and 14 days later
	+ Betanal maxxPro	2 x 1.25	
V 9	Conviso®	2 x 0.5	BBCH 10-14 CHEAL and 14 days later
	+ Goltix Gold	2 x 1.25	
V 10	Goltix Gold	3 x 2.5	NAK 1, 2, 3
	+ Betanal maxxPro	3 x 3.0	
V 11	Conviso®	2 x 0.5	BBCH 10-14 CHEAL and 14 days later
	+ Mero	2 x 1.0	
V 12	Conviso®	1.0	BBCH 10-14 CHEAL
	+ Mero	1.0	

Results

Outdoor container trial

In the containers different weed species showed variation in germination. MATIN developed very fast and became the dominant weed in both years. In 2016, only single individuals of ECHCG weeds occurred in the trial. Nevertheless the final infestation level differed between the weed species and the herbicide programs. T 1 was an untreated control which included all sown weed species. The best weed control was obtained in treatments T 5 and T 7 (Conviso® plus Betanal maxxPro plus Goltix Gold). Herbicide efficacies ranged between minimum 40% (PAPRH, 2016) and maximum 100%. However, numerous individuals of ECHCG (2017) and MATIN (2016) survived in treatment T 5. T 7 achieved a slight improvement in efficiency against ECHCG by an earlier application of classic herbicides in 2017. With the exception of ECHCG, T 3 controlled all weed species well (classic herbicide treatment). For T 6, an insufficient weed control was observed.

Compared to a single application (T 2), the splitting treatment of Conviso® plus Mero (T 10) showed a better efficiency. The combination of Conviso® plus one classic herbicide (T 8 and T 9) was less effective against several weeds. In general, the infestation with ALS-resistant MATIN was difficult to eliminate in most herbicide programs.

In 2016 the highest fresh mass of sugar beet leaves were achieved in T 3, T 5 and T 10 (fig. 1). Generally, in 2017 the infestation level was lower than in 2016. It was caused by reduced amount of ALS-resistant MATIN seeds. The values of sugar beet leaf weights varied in this trial extremely. The highest sugar beet yields (beet fresh weight) were found in those herbicide treatments which also had the highest sugar beet leaf masses. As expected T 1 (untreated control) showed the lowest yields in both trial years. In 2016 the highest yield of sugar beet fresh mass was received in T 3 (3 x Goltix Gold + 3 x Betanal maxxPro) with 11.3 kg followed by T 5 (8.1 kg) and T 10 (6.0 kg). In 2017 the significant highest yields were achieved in all treatments where CONVISO® was combined with classic herbicides (T 5, T 8 and T 9). All other treatments reached a similar yield level.

Tab. 5 Number of occurring weeds per container and efficacy of herbicide applications in ALS-tolerant sugar beets infested with ALS-resistant weeds two weeks after application in 2016 and 2017.

Tab. 5 Ausgangsverunkrautung (mittlere Pflanzenanzahl pro Kübel) und Wirkungsgrad der Herbizidbehandlungen in ALS-toleranten Zuckerrüben mit ALS-resistenten Unkräutern zwei Wochen nach Applikation in 2016 und 2017.

Treatment	MATIN		STEME		PAPRH		ECHCG	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
T 1	88*	29	8	42	12	7	0	32
T 2	n.a.	48*	n.a.	38	n.a.	9	n.a.	30
Eff. [%]**		0		0		0		0
T 3	3	4	0	11	3	1	5	29
Eff. [%]	78	100		100	100	100	66	0
T 4	n.a.	18	n.a.	28	n.a.	4	n.a.	21
Eff. [%]		67		66		31		100
T 5	34	5	0	34	3	10	0	28
Eff. [%]	0	100		100	40	100		22
T 6	n.a.	9	n.a.	19	n.a.	4	n.a.	16
Eff. [%]		0		90		0		0
T 7	n.a.	3	n.a.	15	n.a.	5	n.a.	21
Eff. [%]		100		100		93		100
T 8	28	20	0	41	2	4	0	29
Eff. [%]	0	0		98	50	0		100
T 9	34	5	2	30	9	7	0	38
Eff. [%]	0	69	0	78	21	71		72
T 10	72	11	2	35	4	3	0	21
Eff. [%]	0	0	0	67	17	0		12

*number of occurring weeds per container; **efficacy of herbicide treatment against occurring weeds; n.a., not available

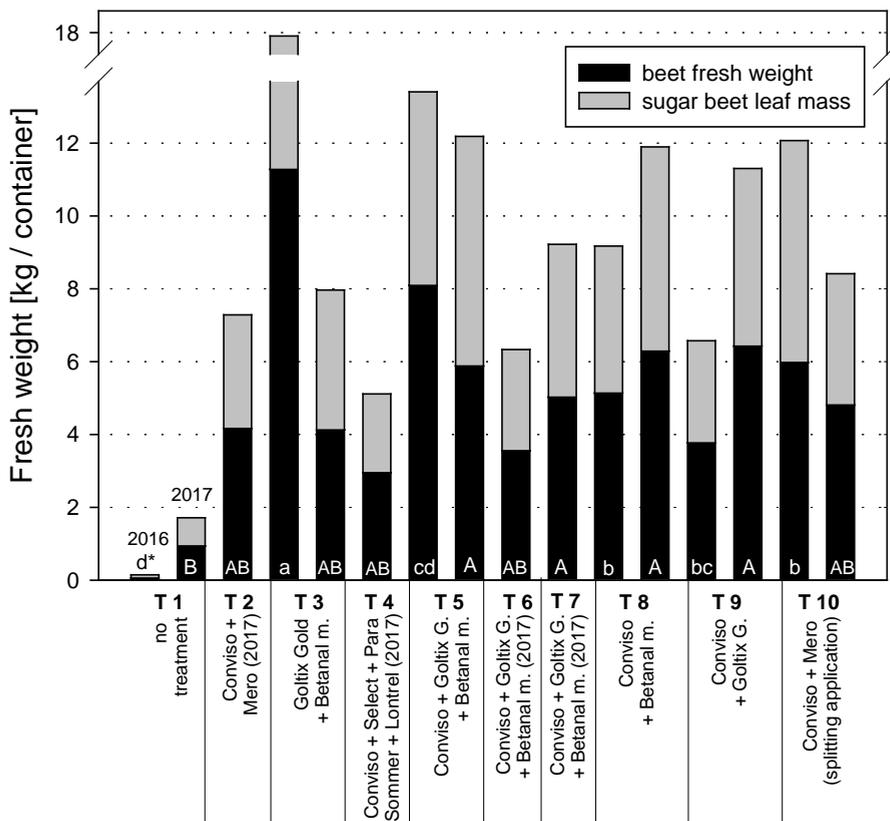


Fig. 1 Fresh weight of sugar beet leaves and beet yield depending on herbicide treatment in ALS-tolerant sugar beet (outdoor container trial 2016 and 2017). *Significant differences at $p \leq 0.05$ are indicated different small letters (Tukey-HSD) only for beet fresh weight.

Abb. 1 Frischmasse von Zuckerrübenblättern und Rübenkörpermasse in Abhängigkeit der Herbizidbehandlung in ALS-toleranten Zuckerrüben (2016 und 2017). *Signifikante Unterschiede in der Rübenfrischmasse sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet ($p \leq 0,05$, Tukey-HSD).

Field trial

The field trials confirmed the high tolerance of the hybrid against CONVISSO®. All treatments including a CONVISSO® application showed no phenotypic damages in all three years. Only the classic treatment resulted in chlorosis and growth delay in the standard application (V 3) as well as for the double dose (V 10). Occurring growth retardation disappeared during the growing period. Table 6 displays that V 3 and V 10 achieved fewer yields, however, the yield was not influenced significantly (data not shown).

In 2015 the dominant weeds were *Chenopodium album* (CHEAL), *Galium aparine* (GALAP) and *Solanum nigrum* (SOLNI). In the following year, the weed population comprised of ALS-resistant *Apera spica-venti* (APESV) and susceptible CHEAL. In 2017 there was a wide spectrum of weeds *Amaranthus retroflexus* (AMARE), APESV, CHEAL, ECHCG, volunteer OSR, *Setaria viridis* (SETVI) and SOLNI. The weed population of V 1 (untreated control) covered the plots to 100% in all years. The splitting applications in V 5 ($2 \times 0.5 \text{ L ha}^{-1}$ CONVISSO®) and V 7 ($2 \times 1.0 \text{ L ha}^{-1}$ Conviso®) achieved

much better efficacies than the single applications. The single application of the double dosage of Conviso® (2.0 L ha⁻¹) was more effective than the splitting application of the double dose rate 2 x 1.0 L ha⁻¹. The use of the adjuvant Mero improved the performance of Conviso® in V 11 (2 x 0.5 L ha⁻¹ Conviso® + 1.0 L ha⁻¹ Mero). The classic herbicide treatments V 3 and V 10 showed the highest numbers of surviving CHEAL plants. Furthermore, AMARE, ECHCG, SETVI and SOLNI survived, too. In classic herbicide programs, a graminicide would have been used to control grass weeds. Generally, the best herbicide efficacy was obtained in all herbicide treatments which included Conviso®. Moreover, seeds of ALS-tolerant oilseed rape were spread from neighbouring field trials from previous years into this trial site. None of the CONVISO® treatments were able to control this ALS-tolerant volunteer OSR. The following molecular analysis confirmed the target site resistance at the position Trp-574 and Ser-653 in the surviving OSR plants. Plots with occurring OSR reached the coverage of minimum 0.5% and maximum 3.0%.

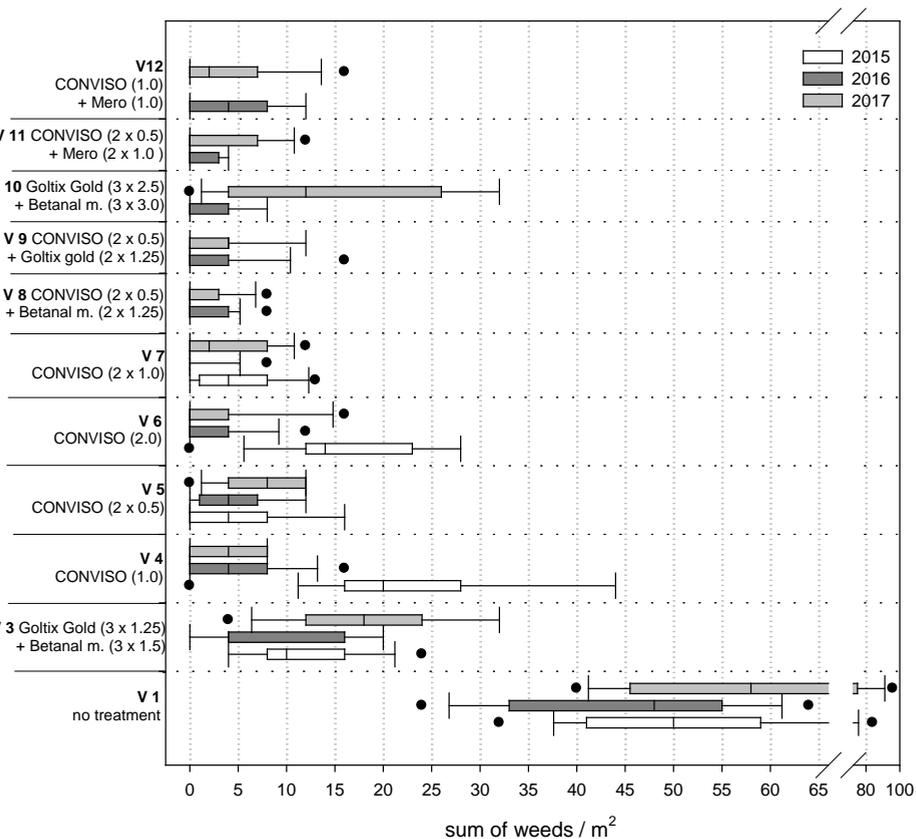


Fig. 2 Weed density in ALS-tolerant sugar beet after herbicide treatment at field trial site Bingen (n = 3, 2015 – 2017). Dosages in L ha⁻¹. Box plot with median, 25th-75th quantiles (box) and 5th- 95th quantiles (whiskers). Black circles show outliers.

Abb. 2 Unkrautdichte in ALS-toleranten Zuckerrüben in Abhängigkeit der Herbizidstrategie am Feldversuchsstandort Bingen (n = 3, 2015 bis 2017). Aufwandmengen in L ha⁻¹. Boxplot mit Median, 25-75 % Quantil (Box) und 5-95 % Quantil (Whisker). Schwarze Punkte zeigen Ausreißer.

The white sugar yields in 2015 and 2016 as well as the beet fresh weight in 2017 did not show any differences between the herbicide treatments. Only V 1, the untreated control, achieved significant Lower yields. In 2015 the white sugar yields were lower than in 2016. It was caused by drought period during summer.

Tab. 6 White sugar yield [t ha⁻¹] 2015, 2016 and beet fresh weight [t ha⁻¹] 2017 in ALS-tolerant sugar beet depending on the herbicide treatment.

Tab. 6 Bereinigter Zuckerertrag [t ha⁻¹] 2015, 2016 und Rübenfrischmasse [t ha⁻¹] 2017 in ALS-toleranten Zuckerrüben in Abhängigkeit der Herbizidbehandlung.

Herbicide treatment	2015 Mean (SD)	2016 Mean (SD)	2017 Mean (SD)
V 1	4.69 ^a (0.82)	0.51 ^a (0.30)	1.56 ^A (2.06)
V 2	9.49 ^b (0.80)	15.73 ^b (0.49)	88.06 ^B (9.20)
V 3	8.86 ^b (0.39)	14.92 ^b (0.79)	90.54 ^B (8.59)
V 4	9.02 ^b (0.54)	15.03 ^b (0.69)	86.46 ^B (9.96)
V 5	9.57 ^b (0.54)	15.56 ^b (1.01)	86.56 ^B (9.30)
V 6	9.22 ^b (0.79)	15.19 ^b (1.15)	94.31 ^B (6.39)
V 7	8.91 ^b (0.38)	15.42 ^b (0.81)	95.90 ^B (3.02)
V 8		15.55 ^b (0.58)	99.08 ^B (5.41)
V 9		15.91 ^b (0.69)	93.85 ^B (7.79)
V 10		14.45 ^b (0.96)	89.52 ^B (3.67)
V 11		16.13 ^b (0.58)	92.69 ^B (7.29)
V 12		16,11 ^b (1.60)	95.44 ^B (5.15)

*Significant differences at $p \leq 0.05$ (Tukey-HSD) are indicated different small letters.

Discussion

The aim of this study was to examine the efficacy of herbicide strategies against ALS-resistant weeds using CONVISO® plus classic herbicides (container trial). Furthermore, crop selectivity of the CONVISO® SMART hybrids and efficacy of CONVISO® under natural weed infestation were investigated (field trial). Resistance to ALS-inhibitors is a result of reduced sensitivity of the target ALS enzyme to inhibition by the herbicide (TRANDEL and WRIGHT, 2002). The degree of the resistance dominance varies among plant species or alleles (FOES et al., 1999). Thus, in principle, an effect of CONVISO® against ALS-resistant weeds was assumed.

In the container trial, the best weed control was obtained in the herbicide treatments including CONVISO®, Goltix Gold and Betanal maxxPro (T 5, T 7). Adding just one classic herbicide to the CONVISO® treatment led to a decreased efficacy of the application (T 8, T 9). The herbicide treatment T 2 (1.0 L ha⁻¹ CONVISO® plus 1.0 L/ha Mero) and the splitting application T 10 (2 x 0.5 L ha⁻¹ CONVISO® plus 2 x 1.0 L/ha Mero) were not effective enough for controlling ALS-resistant weeds. This indicates that CONVISO® needs a supplement of classic herbicides for controlling ALS-resistant weeds. In the classic herbicide treatment (T 3), most of the weeds were well controlled. Surviving plants of ECHCG can be explained by the fact that Betanal maxxPro and Goltix Gold are no suitable grass herbicides. The control of ALS-resistant MATIN was a challenge for nearly all herbicide treatments. Owing to the results in most cases the hypothesis can be confirmed that even ALS-resistant weeds are controlled by supplementing CONVISO® with classic herbicides (i). The relationship between weed biomass and sugar beet leaf weight corresponded with the number of surviving weeds per container. Low infestation levels favored leaf development and beet growth.

The dominant weed species in field trials were CHEAL, SETVI and SOLNI. In addition to these susceptible species, ALS-tolerant oilseed rape occurred in 2017. These plants came from neighboring experimental areas and could not be controlled in any herbicide program. In practice, therefore, the cultivation of herbicide tolerant sugar beets and herbicide tolerant oilseed rape in same crop rotation or farm cannot be recommended at all. Even for a farm with different crop rotation systems, there might be problems with volunteer OSR. Similar to the container trial, the application of CONVISO® plus classic herbicides achieved the best efficacies (V 8, V 9) in the field trial. Investigations on CONVISO® in single and in splitting treatments showed a slight benefit of the splitting application. All in all, CONVISO® was well active against weeds and an additional adjuvant ensured the efficacy. Hence CONVISO® has a comparable or even better performance in

weed controlling like classic herbicides (ii). However, this statement does not apply to the weed control of ALS-resistant species.

The use of Mero improved the performance of CONVISO® in the splitting treatment (V 11) in comparison to an application without an adjuvant (V 5). Thus, the hypothesis (iii) can be confirmed. Similar results can be found in the study of BALGHEIM et al. (2016). The number of surviving weeds of the classic herbicides (V 3) was higher than the other herbicide treatments. Comparing the white sugar yields of 2015 and 2017 it is noticeable that there are no significant differences between the herbicide programs.

Compared to classic herbicide programs CONVISO® was very selective even with double dose in all three years. No chlorosis or stunting was observed. This may lead to quicker canopy closing and less late developing weeds. Similar results were found by WENDT et al. (2017) in more detailed studies on crop selectivity in ALS-tolerant sugar beets.

References

- BALGHEIM, N., M. WEGENER, H. MUMME, C. STIBBE and B. HOLTSCHULTE, 2016: CONVISO® SMART – ein neues System zur erfolgreichen Kontrolle von Ungräsern und Unkräutern in ALS-toleranten Zuckerrüben. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 327-334.
- FOES, M.J., L. LIU, G. VIGUE, E.W. STOLLER, L.M. WAX and P.J. TRANEL, 1999: A kochia (*Kochia scoparia*) biotype resistant to triazine and ALS-inhibiting herbicides. *Weed Science* **47**, 20-27.
- HEAP, I. (2017): International Survey of Herbicide Resistant Weeds (available at: <http://www.weedscience.org>) [Sep 06th 2017]
- MÄRLÄNDER, B. and A. VON TIEDEMANN, 2006: Herbizidtolerante Kulturpflanzen – Anwendungspotenziale und Perspektiven. *Schriftenreihe der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft e.V.* Bd. **8**, 32-45.
- PETERSEN, J., 2003: A review on weed control in sugar beet: from tolerance zero to period threshold. *Inderjit (Publ.): Weed biology and Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 467-483.
- TRANEL, P.J. and T.R. WRIGHT, 2002: Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? *Weed Science* **50**, 700-712.
- WEGENER, M., N. BALGHEIM, M. KLIE, C. STIBBE and B. HOLTSCHULTE, 2015: Conviso® SMART – ein innovativer Ansatz der Unkrautkontrolle in Zuckerrüben. *Sugar Industry* **141**, 517-524.
- WENDT, M.J., C. KENTER, C. STIBBE, E. LADEWIG and B. MÄRLÄNDER, 2017: Selectivity of foramsulfuron + thienencarbazone-methyl and classic herbicides in sensitive and non-sensitive sugar beet genotypes. *Weed Research* **57** (4), 267-277.

CONVISO Smart - Erste Erfahrungen zum Einsatz

CONVISO Smart - first experiences with the new sugar beet production system

Natalie Balgheim^{1*}, Martin Wegener², Heinrich Mumme¹

¹Bayer CropScience Deutschland GmbH, Elisabeth-Selbert-Straße 4a, 40764 Langenfeld

²Bayer AG, Alfred-Nobel-Straße 50, 40789 Monheim

*Korrespondierende Autorin, natalie.balgheim@bayer.com

DOI 10.5073/jka.2018.458.076



Zusammenfassung

CONVISO Smart ist ein neues System zur Bekämpfung von Ungräsern und Unkräutern in Zuckerrüben. Es besteht aus der Kombination eines Herbizides mit Wirkstoffen aus der Gruppe der ALS-Hemmer (CONVISO One) und einer Zuckerrübensorte, die gegenüber diesem Herbizid tolerant ist. Durch die Kombination aus blatt- und bodenaktiven Wirkstoffen, die Unkräuter auch in größeren Entwicklungsstadien erfassen können, können die Applikationstermine des Herbizides im Gegensatz zum klassischen Zuckerrübenanbau in vielen Fällen flexibler und damit später gesetzt werden. Zusätzlich kann die Anzahl der Applikationen deutlich reduziert werden.

Doch wie wirken sich die spätere Terminierung und die reduzierte Anzahl an Herbizid-Anwendungen auf das Wirkungsspektrum insgesamt aus?

Hierzu wurden verschiedene Versuche durchgeführt, um u.a. die Dauer der Bodenwirkung im Vergleich zu klassischen Zuckerrübenherbiziden zu bestimmen.

Die hieraus resultierenden Ergebnisse bezüglich Wirksamkeit und Dauerwirkung von CONVISO One zeigen das breite Unkrautspektrum des Produktes sowie die langanhaltende Dauerwirkung, durch die in den meisten Fällen mit nur zwei Applikationen eine Unkrautfreiheit der Zuckerrübe bis zum Reihenschluss erzielt werden kann.

Stichwörter: ALS-tolerante Zuckerrüben, CONVISO, Herbizidtoleranz

Abstract

CONVISO Smart is a new system to control grass and dicotyledonous weeds in sugar beets. It is a combination of an ALS-inhibitor herbicide (CONVISO One) and a corresponding ALS-inhibitor tolerant sugar beet. Due to the combination of both foliar and soil active ingredients in the herbicide product, which can control weeds even at increased BBCH stages, application timing can be more flexible and numbers of application can be reduced.

But what is the effect of CONVISO One on the weed spectrum and efficacy if the herbicide application is conducted later in the season in comparison to the classical sugar beet production system?

A number of trials have been conducted in Germany to get an idea of the efficacy spectrum and the residual efficacy of the new herbicide.

Results confirm the broad efficacy spectrum and the long residual efficacy of the product, so in most cases only two applications are needed to control weeds until row closure of the beets.

Keywords: ALS-inhibitor tolerance, CONVISO, herbicide tolerance

Einleitung

Gerade im Zuckerrübenanbau ist eine erfolgreiche Unkrautbekämpfung im Jugendstadium der Zuckerrübe unerlässlich, um sie vor Konkurrenz zu schützen. Hierzu werden normalerweise im sog. NAK-Verfahren Kombinationen aus boden- und blattaktiven Herbiziden im Keimblattstadium der Unkräuter appliziert. Dies führt in Zuckerrüben im Schnitt zu ca. 3,4 Herbizidbehandlungen (VASEL et al. 2012; KLEFFMANN, 2017).

Wie bereits von WEGENER et al. (2015) beschrieben, werden mit dem neuen System CONVISO Smart im Schnitt nur noch zwei Herbizidbehandlungen notwendig sein, um die Zuckerrübe sicher bis zum Reihenschluss unkrautfrei zu halten. Dabei besteht CONVISO Smart aus einer herbizidtoleranten Zuckerrübe und dem komplementären Herbizid CONVISO One, das die beiden Wirkstoffe Foramsulfuron und Thiencarbazon-methyl aus der chemischen Gruppe der ALS-

Hemmer enthält. Dabei bedingt Foramsulfuron die blattaktive Wirkung des Produktes, während Thiencarbozone-methyl hauptsächlich für die Bodenwirkung verantwortlich ist.

Sowohl von WEGENER et al. (2015), als auch von BALGHEIM et al. (2016) wurde bereits das breite Wirkungsspektrum von CONVISO One beschrieben, dass sich mit dem der klassischen Rübenherbizide deckt und zudem einige, in Rüben schwer zu bekämpfende Unkräuter, wie Bingelkraut und Gemeine Hundspetersilie, kontrollieren kann. Es besteht allerdings eine Wirkungsschwäche bei *Veronica*-Arten. Auch beim Einsatz von CONVISO One ist weiterhin auf das Entwicklungsstadium der Unkräuter zu achten. Dabei ist der Weiße Gänsefuß als Leitunkraut anzusehen. Dieser sollte bei der Splittingapplikation bestehend aus zwei Applikationen á 0,5 l/ha, bei der ersten Behandlung nicht größer als BBCH 12 sein, bei der Einfachbehandlung mit 1 l/ha nicht größer als BBCH 14.

In den Jahren 2012-2017 wurden in Deutschland verschiedene Versuche mit dem neuen System durchgeführt, um weitere Daten über die Wirkungsdauer und das Wirkungsspektrum von CONVISO One zu erhalten.

Material und Methoden

Um das Wirkungsspektrum von CONVISO One in Deutschland zu bestimmen wurden in den Jahren 2012-2017 insgesamt 47 Versuche angelegt. Diese Versuche wurden u.a. nach der EPPO-Guideline PP 1/52 (3) bzw. PP 1/52 (4) mit jeweils drei bzw. vier Wiederholungen durchgeführt und waren über das gesamte Bundesgebiet verteilt. In all diesen Versuchen wurde ein orthogonaler Vergleich zwischen den beiden CONVISO-Strategien, Einfachapplikation (1 x 1 l/ha) und Splittingapplikation (2 x 0,5 l/ha), und einem Vergleichsmittel, bestehend aus 3 NAK-Behandlungen, abgebildet. Als Vergleichsmittel (VGM) wurde entweder eine 3malige NAK-Behandlung bestehend aus 1,5 l/ha Betanal maxxPro + 1 l/ha Goltix SC/WG/Gold + 1 l/ha Mero (Rapsmethyl-Ester) oder 1,25 l/ha Betanal maxxPro + 1,5 l/ha Goltix Titan angewendet.

Tab. 1 Übersicht der Herbizid-Behandlungen und Applikationstermine der Wirkungsversuche.

Tab. 1 Treatment list and application timings for the efficacy trials.

Applikation	Aufwandmenge	Applikationstermin
CONVISO One	2 x 0,5 l/ha	BBCH 12 CHEAL und 10-14 Tage später
CONVISO One	1 x 1 l/ha	BBCH 12-14 CHEAL
Standard Tankmischung	3 x 1,5 + 1 + 1 l/ha bzw.	NAK 1, 2, 3
(Vergleichsmittel)*	3 x 1,25 + 1,5 l/ha	

*Beschreibung siehe Text oben

Um die Bodenwirkung von CONVISO One im Vergleich zu den klassischen Rübenherbiziden zu bestimmen, wurden in den Jahren 2016 und 2017 an insgesamt drei Standorten in Deutschland Versuche durchgeführt. In diesen Versuchen wurden verschiedene bodenwirksame Rübenherbizide einmalig im Voraufbau der Rübe appliziert und danach wöchentlich die Wirkung gegen die auflaufenden Unkräuter bonitiert. Neben CONVISO One (1 l/ha) wurden die folgenden Herbizide benutzt: Goltix Gold bzw. Goltix Titan mit jeweils 3 l/ha sowie Ethofumesat mit 2 l/ha.

Ergebnisse und Diskussion

Die Wirkungsergebnisse der insgesamt 47 deutschen Versuche aus den Jahren 2012-2017 zeigen eine breite Wirkung von CONVISO One gegenüber allen im Zuckerrübenanbau wichtigen Ungräsern und Unkräutern.

Bei den Gräsern zeigt sich im Vergleich zur Standardtankmischung eine sehr gute Wirkung von CONVISO One. So wurden gegen die bonitierten Ungräser Acker-Fuchsschwanz (ALOMY), Einjährige Risppe (POAAN), Gemeiner Windhalm (APESV), Quecke (AGGRE), Hühnerhirse (ECHCG) und die verschiedenen Ausfallgetreide (TRZAW, HORVW, HORVS) eine sehr gute Wirkung von >95 % sowohl mit der Einfach- als auch mit der Splittingbehandlung erreicht. Einzig mit der

Einfachbehandlung von CONVISO One gegen AGRRE wurde nur eine Wirkung von 90 % erzielt. Die im NAK-Verfahren applizierte Vergleichsmitteltankmischung erzielte bei ECHCG, ALOMY, AGRRE und den Ausfallgetreidearten (TRZAW, HORVW und HORVS) nicht ausreichende Wirkungsergebnisse von < 85 %. Nur bei POAAN und APESV wurde eine Wirkung im ausreichenden bzw. sehr guten Bereich bonitiert. Die gute Gräserwirkung von CONVISO One zeigt, dass der z.T. notwendige Einsatz von Graminiziden entfallen kann.

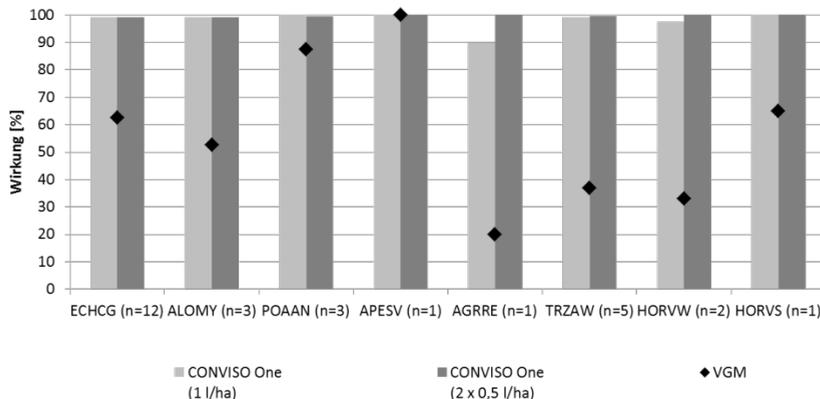


Abb. 1 Wirkung von CONVISO One gegenüber Ungräsern (Ergebnisse aus 47 deutschen Wirkungsversuche aus den Jahren 2012-2017) (Zahlen in Klammern geben die Anzahl der Standorte an).

Fig. 1 Efficacy of CONVISO One against grass weeds (overall efficacy of 47 trials carried out in Germany in the years 2012-2017) (Numbers in brackets indicate the number of trials).

Die Wirkungsergebnisse von CONVISO One gegenüber zweikeimblättrigen Unkräutern sind sowohl bei der Einfach- als auch bei der Splittingapplikation mit der Wirkung der Standardvergleichstankmischung vergleichbar. Gegenüber den im Rübenanbau am häufigsten vorkommenden Unkräutern Weißem Gänsefuß (CHEAL), Knöterich-Arten (POLCO, POLLA, POLAV), Kamille-Arten (MATCH, MATIN), Ausfallraps (BRSNW) und Klettenlabkraut (GALAP) zeigt CONVISO One eine sehr gute, und zu der Standardvergleichstankmischung vergleichbare Wirkung von > 95 %. Allerdings zeigt CONVISO One beim Persischen Ehrenpreis (VERPE) eine nicht ausreichende Wirkung von 58,5 % bei der Einfachbehandlung bzw. 60 % bei der Splittingbehandlung. Die Vergleichstankmischung erzielt mit 99 % bei dieser Unkrautart eine sehr gute Wirkung. Bei den im Zuckerrübenanbau schwer zu bekämpfenden Unkräutern Hundspetersilie (AECTY) und Einjähriges Bingelkraut (MERAN) wurden mit CONVISO One deutlich höhere Wirkungsgrade erzielt als mit der Vergleichstankmischung mit 3 NAKs. MERAN trat an vier Standorten auf und wurde im Mittel mit der CONVISO One-Einfachbehandlung zu 97,5 % und mit der Splittingapplikation zu 95% bekämpft. Mit der Vergleichstankmischung wurde ein nicht ausreichender Wirkungsgrad von 75 % erzielt. AECTY trat an zwei Standorten auf und wurde mit CONVISO One zu 99 % bzw. 98 % bekämpft, während mit der Vergleichstankmischung nur eine Wirkung von 37,5 % erzielt wurde. Besonders MERAN und AECTY machen im heutigen NAK-System den Einsatz weiterer Herbizide in der Tankmischung nötig, da sie sich mit den klassischen Zuckerrübenherbiziden nur schwer bekämpfen lassen. Mit CONVISO One hingegen lassen sich beide Problemunkräuter ohne zusätzlichen Tankmischpartner sehr gut bekämpfen.

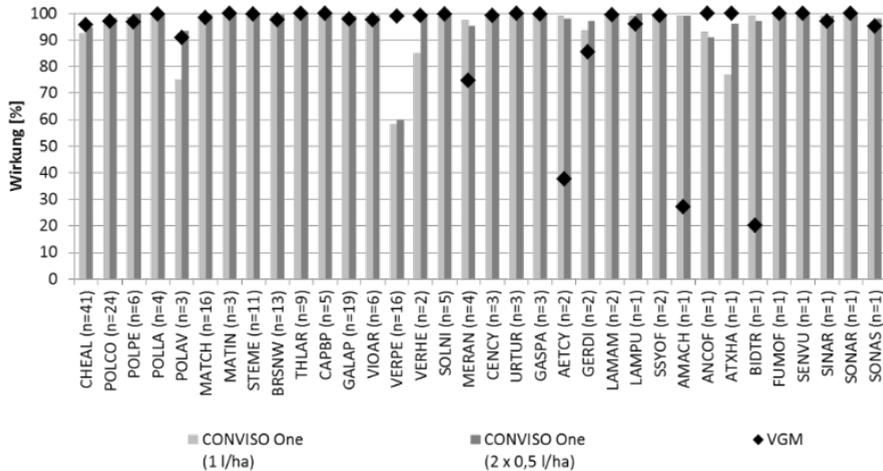


Abb. 2 Wirkung von CONVISO One gegenüber breitblättrigen Unkräutern.

Fig. 2 Efficacy of CONVISO One against broadleaf weeds.

Um die Dauerwirkung von CONVISO One im Vergleich zu den klassischen Zuckerrübenherbiziden zu testen, wurden in Deutschland insgesamt drei Versuche an den Standorten Isseroda (Thüringen; 2017), Gadenstedt (Niedersachsen; 2017) und Deuben (Sachsen; 2016) im Voraufbau der Rübe angelegt. Dargestellt werden hier nur die Wirkungen gegenüber den im Zuckerrübenanbau wichtigen Unkräutern CHEAL, POLCO und MERAN.

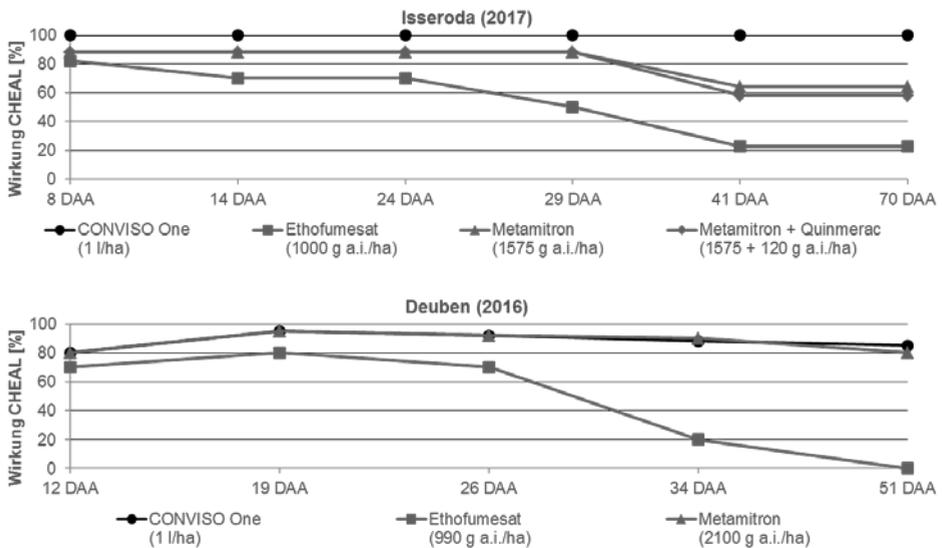


Abb. 3 Dauerwirkung von CONVISO One gegenüber CHEAL an den Standorten Isseroda (2017) und Deuben (2016) (DAA = Tage nach Applikation).

Fig. 3 Residual efficacy of CONVISO One against *Chenopodium album* (CHEAL) on the locations Isseroda (2017) and Deuben (2016) (DAA = Days after application).

CHEAL wurde in Isseroda und Deuben bonitiert. An beiden Standorten zeigte CONVISO One eine sehr gute Wirkung gegenüber dem Neuaufbau von CHEAL. In Isseroda lag die Wirkung dabei

durchgehend bei 100 %, während die Wirkung der metamitronhaltigen Produkte bereits 29 Tage nach Applikation (DAA) nachließ. Allerdings gab es jeweils nach den Bonituren 24 DAA und 41 DAA Niederschlagsereignisse mit ca. 20 bzw. 25 mm, die die Bodenwirkung verlängerten. Der Standort Deuben hingegen war im Frühjahr 2016 sehr trocken und erreichte zwischen Applikation und letzter Bonitur nur knappe 25 mm Niederschlag. Hier lag 51 DAA die Wirkung von CONVISO One auf ähnlichem Niveau mit dem Rübenvirkstoff Metamitron mit 85 % bzw. 80 % Bodenwirkung.

Die Wirkung von Ethofumesat ließ an beiden Standorten sehr schnell, nach 24 bzw. 26 DAA, nach. Die Dauerwirkung der verschiedenen getesteten Herbizide gegen POLCO wird in Abbildung 4 dargestellt. CONVISO One zeigte eine gute und langanhaltende Dauerwirkung mit 100 % am Standorte Isseroda bzw. 85 % am Standort Deuben zum Zeitpunkt der Abschlußbonitur. Die Wirkung der klassischen Herbizide ließ bereits ca. 14 bzw. 19 Tage nach der Applikation nach.

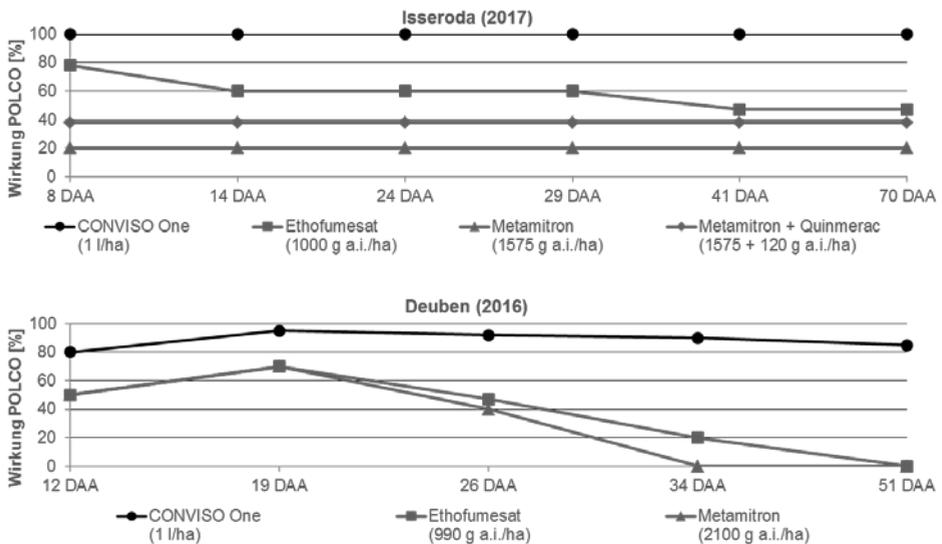


Abb. 4 Dauerwirkung von CONVISO One gegenüber POLCO an den Standorten Isseroda (2017) und Deuben (2016) (DAA = Tage nach Applikation).

Fig. 4 Residual efficacy of CONVISO One against *Polygonum convolvulus* (POLCO) on the locations Isseroda (2017) and Deuben (2016) (DAA=Days after application).

Abbildung 5 zeigt den Wirkungsverlauf gegen MERAN am Standort Gadenstedt. Dabei zeigt CONVISO One auch nach 93 Tage nach Applikation eine sehr gute Wirkung. 58 Tage nach Applikation war die Wirkung bereits unter 90 % gesunken, aber durch starke Niederschläge an diesem Standort konnte die Wirkung nochmals „aktiviert“ werden und ansteigen. Die Wirkung der klassischen herbiziden Wirkstoffe Ethofumesat und Metamitron sank bereits 31 Tage nach der Voraufaufapplikation deutlich ab.

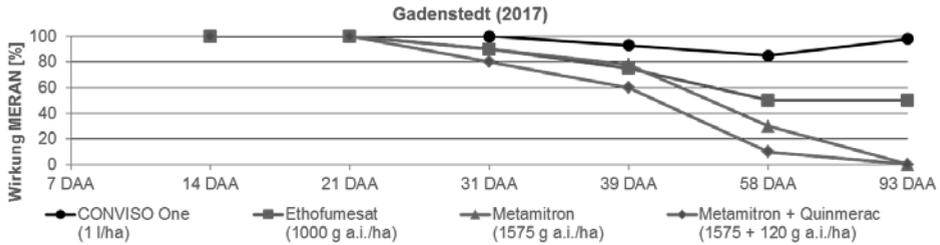


Abb. 5 Dauerwirkung von CONVISO One gegenüber Bingelkraut (MERAN) am Standort Gadenstedt (2017).

Fig. 5 Residual efficacy of CONVISO One against *Mercurialis annua* (MERAN) on the location Gadenstedt (2017) (DAA = days after application).

Insgesamt zeigt CONVISO One gegen die wichtigen Unkräuter CHEAL, POLCO und MERAN eine langanhaltenden Dauerwirkung, die auch witterungsbedingt schwanken kann. Nach Trockenheit können Niederschläge die Wirkung des Wirkstoffs Thiencarbazon-methyl über eine erneute Wurzel-Aufnahme wieder aktivieren. Die Dauerwirkung von CONVISO One geht über die der bisher im Zuckerrübenanbau zum Einsatz gekommenen Herbizide hinaus. Bedingt durch diese gute Bodenwirkung und durch die gute Blattaktivität des Wirkstoffes Foramsulfuron, kann eine Unkrautfreiheit der Zuckerrüben mit nur zwei anstatt der bisher üblichen drei bis vier Herbizid-Behandlungen bis zum Reihenschluss erzielt werden.

Literatur

- BALGHEIM, N., M. WEGENER, H. MUMME, C. STIBBE und B. HOLTSCHULTE, 2016: CONVISO® SMART – ein neues System zur erfolgreichen Kontrolle von Ungräsern und Unkräutern in ALS-toleranten Zuckerrüben. *Journal für Kulturpflanzen* **452**, 327-334.
- EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION: Efficacy evaluation of herbicides – PP 1/52 (3/4) Weeds in sugar and fodder beet and industrial chicory.
- KLEFFMANN DATA PANEL, 2017.
- 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.

Autoren – Authors

A

Andert, Sabine..... 223, 237, 245
 Augustin, Bernd 47, 76, 209

B

Balgheim, Natalie..... 510
 Becker, Jörg 316, 350, 355
 Beffa, Roland 390
 Behr, Karl-Josef 186
 Belz, Regina G. 162
 Béres, Imre 454
 Bergmann, Elke 169
 Bernhard, Ulrich 345, 359
 Birger, Antje 442
 Birger, Jens..... 442
 Birute, Jomantaite 307
 Böhm, Herwart 295
 Bohren, Christian 189
 Bøjer, Ole Mission..... 205
 Bonin, Jürgen 345, 359
 Borsiczky, István 363
 Breiding, Matthias 132, 148, 156
 Bremer, Hagen..... 334
 Büchse, Andreas..... 99
 Bückmann, Heidrun 205
 Bunte, Rolf..... 231
 Bürger, Jana 237, 419

C

Castell, Adelheid 282
 Colbach, Natalie 419
 Collet, Lutz 473
 Crmaric, Ivanna..... 328

D

de Mol, Friederike..... 35, 270, 435
 Delabays, Nicolas..... 328
 Dicke, Dominik 99
 Dietrichs, Wolfgang 316, 350, 355
 Donner, Matthias 316, 350, 355
 Duke, Stephen O. 162
 Dzikowski, Marcin..... 316, 350, 355

E

Ewert, Katrin 169

F

Felsenstein, Friedrich G. 67
 Festner, Thomas 113, 178
 Freitag, Joachim 334

G

Gehring, Klaus 113, 178, 186
 Gerhards, Roland..... 30, 385
 Gerowitt, Bärbel 24, 35, 41, 54, 223, 231, 237,
 245, 253, 270, 288, 435
 Gierer, Fiona..... 385
 Glattkowski, Hans..... 311
 Götze, Philipp 498
 Grazina, Kadziene 307
 Gruber, Sabine 446

H

Haase, Matthias..... 442
 Haberlah-Korr, Verena 214, 486
 Hahn, Ann-Kathrin 30
 Hahn, Juliane 41
 Henne, Ulrich 121
 Henneken, Iris..... 214, 486
 Henschke, Christian 99
 Heyer, Jonathan 473
 Hofmann, Lili..... 14
 Hofmeijer, Merel A.J. 54, 288
 Hüsgen, Kerstin..... 76, 186

J

Jodaugienė, Darija 276

K

Keller, Martina 198, 328, 473
 Kenter, Christine 498
 Kling, Charlotte 295
 Köhler, Lisa 132, 143, 148, 156, 261
 Kolářová, Michaela..... 58
 Koning, Laurie Anne..... 270
 Krato, Christoph..... 24, 322
 Krauss, Jürgen 198, 328
 Kregel, Malena..... 261
 Kuhn, Gisbert 282

L

Ladewig, Erwin	498
Landschreiber, Manja	121
Langemann, Dirk	390
Lederer, Henrike M.	54
Löbmann, Anja	501

M

Marcinkevičienė, Aušra	276
Martini, Phillip	442
Mattern, Gunter	47
Mayer, Franziska	282
Mayerová, Markéta	58
Meinlschmidt, Ewa	169, 186
Meschede, Chantal	214
Mikulka, Jan	58
Molina-Herrera, Saúl	67
Montull, Jose Maria	205
Mumme, Heinrich	510
Mutz, Jan-Erik	245

N

Nádasy, Erzsébet	454, 459, 469
Nause, Nelia	494
Neuweiler, Reto	198
Nicke, Lena	311
Nitzsche, Jens	408
Nordmeyer, Henning	373, 379

O

Oehme, Susan	47
Ona, Auskalniene	307

P

Pannwitt, Heike	24, 231
Parzych, David	41
Pásztor, György	454, 459, 469
Peteinatos, Gerassimos	385
Petersen, Jan	106, 427, 501
Pflanz, Michael	379
Pfundheller, Saskia	478
Plescher, Andreas	408
Pohl, Jan-Philip	373

R

Radziewicz, Markus	261
--------------------------	-----

Raffel, Hans	322
Rautmann, Dirk	373
Reisinger, Péter	363
Richter, Otto	390
Rissel, Dagmar	82, 94
Röhrig, Manfred	205
Roth, Werner	47
Rydahl, Per	205

S

Scheliga, Maria	427
Schenke, Elke	442
Schirrmann, Michael	379
Schleich-Saidfar, Constanze	121
Schneider, Katrin	442
Schönhammer, Alfons	334
Schulz, Julia	41
Schumacher, Matthias	30
Schwarz, Jürgen	303, 451
Selig, Christian	435
Sinkevičienė, Aušra	276
Söchting, Hans-Peter	398, 478
Sölter, Ulrike	442
Soukup, Josef	58
Steinmann, Horst-Henning	245, 253
Stockfish, Nicol	494
Stoll, Pia	446
Stuke, Franz	486
Szabó, Rita	459
Szilágyi, Gábor	454

T

Taberner, Andreu	205
Takács, András	469
Tamms, Laura	35, 270
Theuvsen, Ludwig	253
Thürkow, Florian	442
Thyssen, Stefan	113, 178
Total, René	198, 473
Tümmler, Christine	169, 186

U

Ulber, Lena	82, 87, 94
Urbatzka, Peer	282
Urso, Lisa-Marie	19

V

Verschwele, Arnd	186, 205, 442
------------------------	---------------

von Hörsten, Dieter..... 19, 373

W

Wahl, Susanne 408

Wahmhoff, Werner 14

Warnecke-Busch, Goßswinth... 132, 143, 148,
156, 261

Wegener, Jens Karl 19

Wegener, Martin 510

Weinheimer, Sebastian 209

Wellhausen, Christina.....82

Wendt, Moritz Jasper498

Westerman, Paula R..... 41

Wienberg, Jens.....231

Wiese, Armin245

Wirth, Judith 189

Wolber, Dirk Michael. 132, 143, 148, 156, 261

Z

Zikeli, Sabine.....446

Zotz, Agnes345, 359

Zwenger, Peter 398

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 (<https://ojs.openagrar.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 (<https://www.journal-kulturpflanzen.de>).

Weiterführende Informationen über uns finden Sie auf der Homepage des Julius Kühn-Instituts unter <https://www.julius-kuehn.de>.

Spezielle Anfragen wird Ihnen unsere Pressestelle (pressestelle@julius-kuehn.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@julius-kuehn.de

28. 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).

28th 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).

