464

Julius-Kühn-Archiv

Henning Nordmeyer, Lena Ulber

Tagungsband
29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der **Unkrautbiologie und – bekämpfung**

3. - 5. März 2020, Braunschweig

Proceedings
29th German Conference on **Weed Biology and Weed Control**

March 3 - 5, 2020, 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"

464
Julius-Kühn-Archiv

Henning Nordmeyer, Lena Ulber

Tagungsband
29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der **Unkrautbiologie und – bekämpfung**

3. - 5. März 2020, Braunschweig

Proceedings
29th German Conference on **Weed Biology and Weed Control**

March 3 - 5, 2020, Braunschweig, Germany

Julius Kühn-Institut
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

Herausgeber
Henning Nordmeyer und Lena Ulber
Julius Kühn-Institut, 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
Klatsch-Mohn (*Papaver rhoeas*); Arno Littmann, Julius Kühn-Institut

Wir danken herzlich für die wissenschaftliche Begutachtung der Tagungsbeiträge durch:
We like to thank all reviewers for their effort:
Brand, Sinja, Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Deutschland
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
Redwitz von, Christoph, 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

Hinweis zur Haftung für Inhalte:
Für den Inhalt der Beiträge einschließlich der Ergebnisdarstellung mit Schlussfolgerungen, Konzepten und fachlichen Empfehlungen sowie der Beachtung etwaiger Interessenskonflikte, Bild- und Autorenrechte sind ausschließlich die Autoren verantwortlich.

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 978-3-95547-088-3
DOI 10.5073/jka.2020.464.000



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

Printed in Germany by Roco-Druck, Braunschweig.

Inhaltsverzeichnis – Table of contents

Vorwort - Preface **15**

Einleitende Referate
Keynote presentations

Ökonomische Aspekte zukünftiger Unkrautbekämpfungsstrategien **16**
Economic aspects of future weed control strategies
Enno Bahrs, Hans Back, Felix Witte

Unkrautmanagement im Zeichen von Biodiversität, Glyphosatkrise und knappen Ressourcen – Versuch einer Zwischenbilanz **22**
Weed management in the context of biodiversity, glyphosate crisis and scarce resources – an interim conclusion attempt
Horst-Henning Steinmann

Sektion 1: Ökonomie
Session 1: Economics

Fruchtfolgewirkungen auf den Herbizideinsatz in Winterweizen und Winterraps in Mecklenburg-Vorpommern **29**
On-farm herbicide use in winter wheat and winter oilseed rape in Mecklenburg-Vorpommern as influenced by crop rotation
Andrea Ziesemer, Sabine Andert

Ökonomische Bewertung der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung **36**
Economic valuation of site-specific herbicide applications
Sandra Rajmis, Isabella Karpinski

How valuable is post-dispersal seed predation to control *Echinochloa crus-galli* in maize cropping in Mecklenburg-Western Pomerania? **47**
Welchen monetären Wert hat der Fraß ausgefallener Samen von Echinochloa crus-galli im Maisanbau Mecklenburg-Vorpommerns?
Han Zhang, Heike Pannwitt, Sabine Andert, Friederike de Mol, Bärbel Gerowitt

Sektion 2: Populationsdynamik
Session 2: Population dynamics

Auswirkungen von mehrjährig herbizidfreiem Management auf den nachfolgenden -Auflauf von dikotylen und monokotylen Unkräutern - Ergebnisse einer Dekade **51**
Results of several years of herbicide-free management on the subsequent occurrence of dicotyledonous and monocotyledonous weeds - results of a decade
Jürgen Schwarz

Untersuchungen zur Bedeutung des Auftretens von *Datura stramonium* in Mais und Rispenhirse **57**
Investigations on the importance of the occurrence of Datura stramonium in maize and common millet
Hans-Peter Söchting, Peter Zwerger

Weed populations in the main cultures of Luxembourg: control options and monitoring in a complex environmental and political framework **64**
Unkrautpopulationen in den ackerbaulichen Kulturen Luxemburgs: Bekämpfungsoptionen und Monitoring in einem komplexen umwelt- und agrarpolitischen Umfeld
Sergiu Treer, Moritz Colbus, Simon Steiger, Michael Eickermann, Lucien Hoffmann, Marco Beyer

Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) causes severe yield losses in different soybean varieties by reducing the infection potential of *Bradyrhizobium japonicum* **72**
Das Beifußblättrige Traubenkraut (Ambrosia artemisiifolia L.) führt zu erheblichen Ertragsverlusten bei verschiedenen Sojabohnen-Sorten infolge eines reduzieren Infektionpotenzials der Sojabohne mit Bradyrhizobium japonicum
Rea Maria Hall , Helmut Wagentristl, Gerhard Karrer, Anna Winter, Robert Czerny, Hans-Peter Kaul

Untersuchungen zur Kontrolle von invasiven Neophyten – ausgewählte Versuche des Projektes ENVISAGE **80**
Investigations on the control of invasive neophytes – selected experiments of the project ENVISAGE
Ulrike Sölter, Arnd Verschwele

Herbstzeitlose (*Colchicum autumnale*) in Mulchschicht führt zu leichter Kontamination mit Colchizin eines Pflanzenbestandes im Folgeaufwuchs **85**
Autumn crocus (Colchicum autumnale) in mulch layer slightly contaminates forage grass
Kerstin Grant, Annette Jilg, Jörg Messner, Martin Elsäßer

Vorfrucht- und Fruchtfolgeeffekte auf die Verunkrautung in Zuckerrüben und Winterweizen im Systemversuch Fruchtfolge Harste **90**
Preceeding crop and crop rotational effects on weed infestation in sugar beet and winter wheat in the crop rotation experiment Harste
Philipp Götze, Heinz-Josef Koch

Beeinflussung der Unkrautflora durch verschiedene Bodenbearbeitungssysteme – Langjähriger Vergleich von wendender und nicht-wendender Bodenbearbeitung **97**
Influence of different soil tillage systems on weed flora - long-term comparison of inversion tillage and minimum tillage
Jürgen Schwarz

Einfluss des Zwischenfruchtanbaus und der Verunkrautung auf die Epidemiologie und Pathogenität von *Plasmodiophora brassicae* **103**
Influence of cover crops and weeds on the epidemiology and pathogenicity of Plasmodiophora brassicae
Nazanin Zamani-Noor, Sinja Brand, Hans-Peter Söchting

Temperatur-induzierte Inaktivierung von Samen aus der Familie der Süßgräser (Poaceae) **109**
Temperature-induced inactivation of seeds of the Poaceae family
Friederike de Mol, Julia Schulz, Bärbel Gerowitt

Efficacy of herbicides against yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) plants originating from seeds **116**
Wirksamkeit von Herbiziden gegen aus Samen angezogene Erdmandelgraspflanzen (Cyperus esculentus)
Martina Keller, Jürgen Krauss, René Total, Reto Neuweiler

Know your enemy: Are biochemical substances the secret weapon of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in the fierce competition with crops and native weeds? **121**
Kenne den Feind: Nutzt das Beifußblättrige Traubenkraut (Ambrosia artemisiifolia L.) im Konkurrenzkampf mit Kulturpflanzen und heimischen Unkrautarten biochemische Geheimwaffen?
Rea Maria Hall , Harry Bein, Bettina Bein-Lobmaier, Gerhard Karrer, Hans-Peter Kaul, Johannes Novak

Sektion 3: Herbizid-Management
Session 3: Herbicide management

Bewertung von Metazachlor-haltigen Herbiziden zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in Winterraps **127**
Evaluation of metazachlor-containing herbicides for control of blackgrass in winter oilseed rape
Alfons Schönhammer, Joachim Freitag

COLZOR® UNO FLEX - Ein flexibler Baustein zur nachhaltigen Unkrautbekämpfung in Raps **135**
COLZOR® UNO FLEX – A flexible element for sustainable weed control in oilseed rape
Martin Schulte, Christoph Krato

Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben ohne die Wirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham **142**
Weed control in sugar beet without the active substances desmedipham and phenmedipham
Daniel Laufer, Erwin Ladewig

Unkrautregulierung in Zuckerrüben (*Beta vulgaris*) auf Basis von Foramsulfuron und Thiencarbazone-methyl **149**
Weed control in sugar beets (Beta vulgaris) with foramsulfuron und thiencarbazone-methyl
Klaus Gehring, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Control of Umbelliferae in Grassland and Pasture, a new herbicide containing ArylexTM active **154**
Bekämpfung von Umbelliferae in Wiesen und Weiden, ein neues Herbizid mit dem Wirkstoff ArylexTM active
Thomas Schulz, Axel Kunz, Juergen Bonin

Bekämpfung von Zwischenfrüchten in Folgekulturen **161**
Control of intercrops in succeeding crops
Lisa Köhler, Dirk Michael Wolber, Goßswinth Warnecke-Busch

AG-FDP1-433 SC – Ein neues breit wirksames Herbizid für Herbstanwendungen in Wintergetreide gegen wichtige Ungräser und einjährige Unkräuter **169**
AG-FDP1-433 SC – A new cereal herbicide for autumn application with a broad spectrum of efficacy against important grass weeds and dicotyledonous weeds
Marie Rischen, Ewald Schenke, Dörte Goertz

Selektivität von Herbiziden im Russischen Löwenzahn (*Taraxacum kok-saghyz* L. Rodin) **174**
Selectivity of herbicides in Russian Dandelion (Taraxacum kok-saghyz L. Rodin)
Marie Eggert, Katja Thiele

Möglichkeiten und Grenzen der chemischen Unkrautregulierung im Kartoffelbau **182**
Possibilities and limits of chemical weed control in potato cultivation
Klaus Gehring, Thomas Festner, Hans-Jürgen Meßmer, Philipp Moebs, Manfred Mohr, Stefan Thyssen

Sektion 4: Biodiversität
Session 4: Biodiversity

Unkräuter im Mais - Veränderung der Eigenschaften der Unkrautzusammensetzung durch Bodenbearbeitung und Fruchtfolge **186**
Weeds in maize - variation in species trait assembly through soil cultivation and crop rotation
Heike Pannwitt, Christoph Krato, Bärbel Gerowitt

Differenzierung der Unkrautgesellschaften auf unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten im Bernburger Anbausystem-Versuch **192**
Differentiation of weed communities due to different management intensities within the Bernburg field trial "cultivation system experiment"
Philipp Dankert, Silke Pentschew, Wernfried Koch, Wolfgang Heyer

New perspectives on plant biodiversity in Germany **200**
Neue Perspektiven auf die Pflanzenbiodiversität in Deutschland
Philip Kochersperger, Hans Ulrich Haas, Juliane Peters, Martin Schulte

Eignung einer mehrjährigen Biogas-Blühpflanzenmischung für den Anbau auf sandigen Böden in Brandenburg **205**
Suitability of a perennial biogas flower mixture for cropping on sandy soils in Brandenburg
Laura Tamms, Friederike de Mol, Michael Glemnitz, Bärbel Gerowitt

Alte Daten, neuer Nutzen – Unkrauterhebungen europaweit kombiniert **211**
Old data, new benefit – weed surveys combined throughout Europe
Christoph von Redwitz, Jana Bürger

Sektion 5: Verfahren zur Herbizidreduktion
Session 5: Methods for herbicide reduction

Assistenzsystem für den teilflächenspezifischen Einsatz von Herbiziden **216**
Assistance system for the site-specific use of herbicides
Jan-Philip Pohl, Dieter von Hörsten, Jens Karl Wegener, Burkhard Golla, Isabella Karpinski, Sandra Rajmis, Christoph Sinn, Henning Nordmeyer, Christina Wellhausen, Benno Kleinhenz, Marco Herrmann, Hilmar Dunekacke, Asmus Matthiesen, Frank von Bargen, Daniel Jahncke, Dirk Feise, Manfred Röhrig, Reinhard Sander

Generierung von Unkrautverteilungskarten auf der Basis automatischer Annotierungen in Feldaufnahmen **222**
Generation of weed distribution maps based on automatic annotations in field images
Christina Wellhausen, Michael Pflanz, Jan-Philip Pohl, Henning Nordmeyer

Anwendung eines neuen Internet-basierten Entscheidungshilfemodells für das integrierte Unkrautmanagement in Winterweizen und Mais (DSS-IWM) – Erfahrungen aus der praxisnahen Anwendung **228**
Application of a new Internet-based decision support model for integrated weed management in winter wheat and maize (DSS-IWM) - experiences from practical applications
Heidrun Bückmann, Ole Mission Bøjer, Per Rydahl, Arnd Verschwele

Mulchsaaten von Zuckerrüben ohne Glyphosateinsatz **237**
Conservation tillage systems in sugarbeet without use of glyphosate
Jan Petersen, Annika Knopp, Volker Berg

Erfahrungen mit nichtchemischen Unkrautbekämpfungsverfahren in den Demonstrationsbetrieben integrierter Pflanzenschutz **246**
Practical experiences with nonchemical methods of weed control gathered in the farm network "Demonstration farms for integrated pest management"
Madeleine Paap, Jan Helbig, Annett Gummert, Hella Kehlenbeck

Aussparung der Fahrgasse bei der Applikation von Herbiziden **255**
Recess of the tramline during the application of herbicides
Johannes Bröring, Dieter von Hörsten

The Electroherb™ Technology - A new technique supporting modern weed management **261**
Die Electroherb™ Technologie – Ein neues Verfahren zur Unterstützung eines modernen Unkrautmanagements
Maximilian Koch, Tobias Tholen, Pascal Drießen, Benjamin Ergas

Risk evaluation of mechanical, chemical and combined mechanical-chemical weed control in sugar beet **264**
Standortspezifische Risikobewertung von Verfahren mechanischer und chemischer Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben
Olga Fishkis, Heinz-Josef Koch

Systeme zur mechanischen und mechanisch-chemischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*) – Versuche in Niedersachsen **270**
Mechanical and mechanical-chemical weed control in sugar beets (Beta vulgaris subsp. vulgaris) - trials in Lower Saxony
Goßswinth Warnecke-Busch, Markus Mücke

Future management of arable perennials - an introduction to the project AC/DC-weeds **280**
Zukünftiges Management perennierender Unkräuter – eine Einführung in das Projekt AC/DC-weeds
Han Zhang , Sabine Andert, Lars Olav Brandsæter, Jesper Rasmussen, Marie-Helene Robin, Jukka Salonen, Kirsten S. Tørresen, Muriel Valantin-Morison, Bärbel Gerowitt

Webdienststruktur eines automatisierten Assistenzsystems zur teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmitteln mit ökonomischer Betrachtung und Risikoanalyse **286**
Web service design of an automated assistance system for site-specific application of pesticides with financial and environmental risk perspectives
Christoph Sinn, Sandra Rajmis, Isabella Karpinski, Daniel Jahncke, Jannik Günther, Burkhard Golla

PestiRed: A Swiss on-farm approach to reduce pesticide use in arable crops **290**
PestiRed: On-Farm-Versuche auf Schweizer Betrieben um den Pflanzenschutzmittel Einsatz im Ackerbau zu reduzieren
Judith Wirth, Thomas Steinger, Susanne Vogelgsang, Alexander Zorn, Philippe Jeanneret

Regional adjustment of management options of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) along roadside verges in Bavaria (2018-2022) **295**
Entwicklung regional angepasster Bekämpfungsmaßnahmen gegen das Beifußblättrige Traubenkraut (Ambrosia artemisiifolia L.) entlang des Straßenverkehrsnetzes in Bayern (2018-2022)
Rea Maria Hall, Bernhard Urban, Nora Durec, Lisa Zant, Mirjam Aliabadi, Gerhard Karrer

Vergleich von Unkrautregulierungsmaßnahmen im Buchweizenanbau **301**
Comparison of means to control weeds in buckwheat cultivation
Simon Strahm, Jürg Hiltbrunner

Vergleich zweier Zwischenfrucht-Anbauverfahren von Zuckerrüben im Praxisversuch, unter Berücksichtigung verschiedener Herbizidwirkstoffe **307**
Comparison of two cover crops methods in sugar beets in a field trial with different herbicide active substance
Marleen Schulz, Friedhelm Schwager, Becke Strehlow

Sektion 6: Herbizidresistenz
Session 6: Herbicide resistance

Populationsdynamik und Resistenzentwicklung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Herbizidbehandlung **319**
Impact of soil tillage and herbicide treatment on population dynamics and resistance development of black-grass (Alopecurus myosuroides)
Klaus Gehring, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Evolution der Herbizidresistenz in *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* im deutschen Getreideanbau der letzten 15 Jahre **326**
Evolution of herbicide resistance in Alopecurus myosuroides and Apera spica-venti in German cereal production during the last 15 years
Jan Petersen, Hans Raffel

Befall und Herbizid-Sensitivität in ausgewählten Regionen Deutschlands: Ergebnisse eines Gräser-Resistenzmonitorings 2019 **333**
Infestation and herbicide sensitivity in selected regions of Germany: Results of a weed resistance monitoring 2019
Johannes Herrmann, Martin Heß, Jean Wagner[2]

Erste Glyphosat-Resistenz in Deutschland **339**
First glyphosate resistance in Germany
Bernd Augustin, Klaus Gehring[2]

Zur Frage der Bekämpfung von *Lolium* ssp. auf Resistenzstandorten – Untersuchungen der Bundesländer Hessen und Sachsen **344**
On the issue of controlling Lolium ssp. at resistance sites – investigations of the federal states Hesse and Saxony
Dominik Dicke, Ewa Meinlschmidt

Dosis-Wirkungs-Versuche mit *Apera spica-venti* (L.) in Mecklenburg-Vorpommern **354**
Dose-response experiments with Apera spica-venti (L.) in Mecklenburg-Vorpommern
Sabine Andert, Friederike de Mol, Jan Jochmann, Bärbel Gerowitt

Effizienz von Triazinon-haltigen Wirkstoffkombinationen zur Bekämpfung von Gänsefuß-Herkünften (*Chenopodium album* L.) mit verschiedenen Punktmutationen in Zuckerrübe **360**
Efficiency of combinations of active ingredient containing triazinone to combat goosefoot origins (Chenopodium album L.) with point mutation in sugar beets
Antje-Viola Kalfa, Franz Stuke, Iris Henneken, Verena Haberlah-Korr

Minderwirkungen von Glyphosat bei Mäuseschwanz-Federschwingel (*Vulpia myuros*) **367**
Reduced efficacy of glyphosate against annual fescue (Vulpia myuros)
Bernd Augustin, Klaus Gehring[2]

Resistenzentwicklung bei *Apera spica-venti* in Niedersachsen **371**
Herbicide resistance in Apera spica-venti in Lower Saxony
Dirk Michael Wolber, Goßswinth Warnecke-Busch, Lisa Köhler

Resistenzsituation von *Alopecurus myosuroides* in Niedersachsen **378**
Resistance of herbicides against Alopecurus myosuroides in Lower Saxony
Dirk Michael Wolber, Goßswinth Warnecke-Busch, Lisa Köhler

Response to Glyphosate in *Alopecurus myosuroides* Populations from Lower Saxony **387**
Wirkung von Glyphosat gegen Alopecurus myosuroides-Populationen in Niedersachsen
Markus Radziewicz, Dirk Michael Wolber, Goßswinth Warnecke-Busch, Lisa Köhler, Diana Hofmann, Thomas Pütz

Entwicklung der Herbizidresistenz bei Windhalm (*Apera spica-venti*) in Bayern **395**
Development of herbicide resistance in Loose silky-bent (Apera spica-venti) in Bavaria
Klaus Gehring, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern **400**
Development of herbicide resistance in Black-grass (Alopecurus myosuroides) in Bavaria
Klaus Gehring, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Sektion 7: Alternativen im Unkrautmanagement
Session 7: Alternatives in weed management

Controlling arable weeds with natural substances as bio-based herbicides **407**
Bekämpfung von Ackerunkräutern mit bio-basierten Herbiziden aus Naturstoffen
Sabine Andert, Bärbel Gerowitt

Pelargonic acid for weed control in onions: factors affecting selectivity **415**
Unkrautbekämpfung mit Pelargonsäure in Zwiebeln: Faktoren, die die Verträglichkeit bestimmen
Jürgen Krauss, Marco Eigenmann, Martina Keller

Wirkungsvergleich Heißwasser und Herbizid – Schweizer Bahnen wollen ab 2025 weitgehend auf Herbizideinsatz verzichten **420**
Hot water versus herbicides – Swiss railways renounce herbicide use by 2025
Christian Bohren, Gunter Adolph, Lukas Tanner

Unkrautbekämpfung durch Foliendämpfung im Freiland – Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung und Energieeinsparung **427**
Foil stream treatment for weed control in open areas – ways to improve biological efficiency and reduce fuel consumption
Detlef Stieg, Hans-Peter Söchting

Effects of cover crop in pure stands and in mixtures on weed control and performance of maize (*Zea mays*) **432**
Einfluss von Zwischenfruchtmischungen und -einzelsaaten auf Unkrautkontrolle in Mais (Zea mays) und dessen Ertrag
Matthias Schumacher, Alexandra Schappert, Roland Gerhards

Electrical weed control in sugar beet - A comparison of pre-emergence methods **438**
Elektrische Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben - Ein Vergleich von Vorauflauf-Behandlungen
Maximilian Koch, Anastasia Hermann, Benjamin Ergas, Peter Risser

Sektion 8: Gewässerschutz
Session 8: Water protection

Strategien zum Herbizideinsatz in Winterraps in wassersensiblen Gebieten **441**
Strategy for use of herbicides in regions of water conservation
Bernhard Werner, Lisa Köhler, Goßswinth Warnecke-Busch, Dirk Michael Wolber

Verantwortungsvoller Umgang mit herbiziden Wirkstoffen hinsichtlich des Gewässerschutzes im Winterraps **449**
Responsible handling with herbicides regarding water protection in winter rape
Katrin Ewert, Christine Tümmler, Ewa Meinlschmidt, Elke Bergmann, Heiko Schmalstieg

Chemische Unkrautregulierung in Mais (*Zea mays*) im Mulchsaat-Anbauverfahren unter Verzicht auf den Einsatz von Glyphosat **460**
Chemical weed control in maize (Zea mays) using mulch seed cultivation without the use of glyphosate
Klaus Gehring, Kerstin Hüsgen, Ewa Meinlschmidt, Stefan Thyssen, Christine Tümmler, Hartmut Weeber

Unkrautvegetation nach der Maisernte in Silomaissystemen mit Untersaaten **464**
Weed vegetation after maize harvest in silo-maize with catch crops
Jens Wienberg, Bärbel Gerowitt

Strategien zur Unkrautregulierung in Mais in wassersensiblen Gebieten **471**
Strategies for weed control in maize in water sensitive areas
Josef Kuhlmann, Lisa Köhler, Goßswinth Warnecke-Busch, Dirk Michael Wolber, Tobias Jöring

Sektion 9: Resistenzanalyse
Session 9: Resistance analysis

Methoden zur Untersuchung der Allelfrequenzen und-verteilung im Acetolactat-Synthase (ALS)-Gen bei Target-Site-Resistenzen in *Echinochloa crus-galli* **477**
Methods for investigating allele frequencies and distribution in the acetolactate-synthase (ALS) gene in target-site-resistant Echinochloa crus-galli
Fabian Runge, Sven Keil, Anja Löbmann, Jan Petersen, Frank Brändle

Charakterisierung einer Population der Geruchlosen Kamille mit reduzierter Sensitivität gegenüber Herbiziden, die die Synthese sehr langkettiger Fettsäuren hemmen **486**
Characterizing a scentless mayweed population with reduced sensitivity towards VLCFA herbicides
Dagmar Rissel, Lena Ulber

Transferability of a random forest model for resistance prediction between different regions in Europe **490**
Übertragbarkeit von „Random Forest" Vorhersagemodellen für die Entwicklung von Resistenzen zwischen unterschiedlichen Regionen in Europa
Janin Lepke, Roland Beffa, Otto Richter, Johannes Herrmann[3]

Generationsübergreifende Auswirkungen von Herbizid-Hormesis bei PSII-Target Site resistentem *Chenopodium album* L. **498**
Transgenerational effects of herbicide hormesis in PSII target-site-resistant Chenopodium album L.
Regina G. Belz

Metabolic resistance to pre-emergence herbicides in grasses **505**
Metabolische Resistenz gegen Vorauflaufherbizide bei Gräsern
Rebecka Duecker, Evlampia Parcharidou Veronika Brabetz, Peter Zoellner, Susanne Ries, Alberto Collavo, Peter Luemmen, Roland Beffa

Autoren – Authors **510**

Vorwort - Preface

Die 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und –bekämpfung findet zu einem für die Landwirtschaft kritischen Zeitpunkt statt, der geprägt ist von enormen Herausforderungen auf unterschiedlichen Ebenen. Mit den Jahren 2018 und 2019 liegen zwei Vegetationsperioden hinter uns, die von überregionalen und lang andauernden Trockenphasen geprägt waren, die vielerorts zu katastrophalen Ertragseinbrüchen bei fast allen Feldkulturen geführt haben. Zudem befindet sich die Landwirtschaft insgesamt und damit auch die Pflanzenproduktion in einer sehr schwierigen gesellschaftlichen Situation. Insbesondere die konventionellen Produktionsrichtungen verlieren mehr und mehr das Vertrauen und die Unterstützung von der Politik und der Gesellschaft. Die Art und Weise in der konventionelle landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebe produzieren findet in der breiten Öffentlichkeit keine Akzeptanz mehr. Dies auch, weil verschiedenste Interessengruppen die Art der Produktion für viele negative Entwicklungen und Erscheinungen wie Klimawandel, Insektensterben und Biodiversitätsverlust verantwortlich machen. Dies führt in der Öffentlichkeit häufig zu teils sehr emotional geführten Diskussionen über den Einsatz von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln im Allgemeinen und von Herbiziden im Besonderen.

Losgelöst von der Frage der tatsächlichen Ursächlichkeiten für die genannten Entwicklungen gilt es für die Landwirtschaft und den Gartenbau adäquate Anpassungsstrategien zu entwickeln, die sich aber an den Erwartungen der Gesellschaft orientieren müssen. Dabei sind insbesondere auch Forschung, Wissenschaft und Beratung gefordert, Konzepte für eine strategische Neuausrichtung des Acker- und Pflanzenbaus zu erarbeiten. Die Lösungskonzepte werden aber 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. Selbstverständlich müssen die individuellen Lösungen für die Betriebe auch ökonomisch darstellbar sein; daher gilt es, die politischen Akteure an ihre Verantwortlichkeiten zu erinnern.

Mit der Einladung zur 29. 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 in ihren Bereichen an der Erarbeitung der notwendigen Lösungsansätze zu beteiligen. 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 wurden die Manuskripte der angenommenen Vorträge und Poster einer Begutachtung unterworfen und in dem vorliegenden Tagungsband veröffentlicht.

Die wissenschaftlichen Beiträge befassen sich neben der Unkrautbiologie und Populationsdynamik mit aktuellen Schwerpunktthemen wie Biodiversität, Herbizidresistenz, Smart Farming, ökonomischen Aspekten eines effektiven Unkrautmanagements sowie mit alternativen, nichtchemische Verfahren. Auswahl, Zuordnung und Strukturierung der Beiträge sowie die Ausgestaltung des wissenschaftlichen Programms erfolgte dabei unter der maßgeblichen Mitwirkung des Programmkomitees, dessen Mitglieder an dieser Stelle ganz besonders für ihr Engagement und ihre Unterstützung gedankt werden soll. 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 März 2020 — Henning Nordmeyer, Lena Ulber und Peter Zwerger

Einleitende Referate
Keynote presentations

Ökonomische Aspekte zukünftiger Unkrautbekämpfungsstrategien

Economic aspects of future weed control strategies

Enno Bahrs*, Hans Back, Felix Witte

Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Schwerzstraße 44, 70599 Stuttgart
*Korrespondierender Autor, bahrs@uni-hohenheim.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.001

Zusammenfassung

Gegenwärtige gesellschaftspolitische Entwicklungen in Teilen Europas und in Deutschland erzwingen einen veränderten chemischen Pflanzenschutz in der Landwirtschaft, mit erheblichen Einschränkungen beim Herbizideinsatz. Der erwarteten signifikanten Reduktion des chemischen Pflanzenschutzes kann zukünftig mit verschiedenen Strategien in der Unkrautbekämpfung begegnet werden. Dazu zählen neben dem weiter zunehmenden ökologischen Landbau und veränderten Fruchtfolgen sowie Kulturmaßnahmen der verstärkte Einsatz physikalischer Maßnahmen wie das Hacken und Striegeln, evtl. in Kombination mit Bandspritzungen. Aber auch das Spotspraying bietet bereits vielversprechende Ansätze mit betriebswirtschaftlicher Tragfähigkeit. Ergänzend sind veränderte Schadschwellenkonzepte erwägenswert, die eine Einpreisung von Ökosystemleistungen ermöglichen. Begleitet durch eine umfangreichere unabhängige Pflanzenschutzberatung sowie verstärkten Forschungsaktivitäten könnte ein ökonomisch akzeptierter Übergang in einen nachhaltigeren Ackerbau leichter gelingen. Dafür sind jedoch höhere Produktpreise erforderlich, die im internationalen Wettbewerb schwer durchsetzbar sind, solange die Herstellung und Verarbeitung der Ackerbauprodukte weder ausreichend transparent noch vergleichbar sind.

Stichwörter: Alternativer Pflanzenschutz, betriebs- und volkswirtschaftliche Effekte, Herbizidreduktion

Abstract

Current socio-political developments in parts of Europe and also in Germany are forcing a change in chemical plant protection in agriculture, from which the use of herbicides is not spared either. In the future, a significant reduction of active ingredients is to be expected, which can be countered with various strategies in weed control. In addition to modified crop rotations, adapted crop measures and organic farming, which will continue to increase in the future, these include the increased use of physical measures such as chopping perhaps in combination with belt spraying. But also spot spraying already offers promising approaches with economic viability. In addition, modified damage threshold concepts that allow the pricing of ecosystem services are worth considering. Accompanied by more comprehensive independent crop protection advice and increased research activities, an economically accepted transition to more sustainable arable farming could be successful more easily. However, this requires higher product prices, which are difficult to enforce in international competition, as long as the production and processing of arable products are neither sufficiently transparent nor comparable.

Keywords: Alternative crop protection, business and economic effects, herbicide reduction

Einleitung und Problemstellung

Die Ökonomie beschäftigt sich mit dem rationalen Umgang knapper Ressourcen (Haas und Schlesinger, 2016). In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, was beim Pflanzenschutz im Allgemeinen und der Unkrautbekämpfung im Speziellen aus ökonomischer Sicht knapp ist bzw. sein wird und welche Strategien daraus resultieren? Die Antwort kann betriebswirtschaftlich und volkswirtschaftlich differenziert erfolgen: Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind die eingesetzten Faktoren Arbeit und Kapital knapp, die für den Pflanzenschutz im Kulturpflanzenanbau einzubringen sind und dabei für die Anwender Kosten entstehen lassen, die jedoch solange aufgewendet werden, wie der damit gesicherte Umsatz bzw. Nutzen höher ist. Dabei können Anwender zunächst aus allen Möglichkeiten des biologischen, physikalischen und chemischen Pflanzenschutzes schöpfen. Zukünftig gelten dabei veränderte Möglichkeiten und

betriebswirtschaftliche Effekte, u. a. aufgrund des technologischen Fortschritts, wie z. B. Instrumente des Precision und Digital Farmings sowie neuer Wirkstoffe aus dem Bereich des biologischen und chemischen Pflanzenschutzes. Allerdings deutet sich auch eine in den vergangenen Jahrzehnten weniger vertraute Knappheit an: Ein Rückgang an wirksamen bzw. zugelassenen und verfügbaren chemisch-synthetischen Wirkstoffen, der verschiedene, simultan wirkende Gründe aufweist, die an dieser Stelle nicht weiter skizziert werden sollen (siehe u. a. STENZEL, 2017). Wie sich diese abzeichnende Knappheit verfügbarer Wirkstoffe im Preis sowie gegebenenfalls einem Wirksamkeitsverlust aufgrund schneller zunehmender Resistenzen von Schaderregern widerspiegelt, ist aus gegenwärtiger Sicht schwer abzuschätzen.

Bei der volkswirtschaftlichen Betrachtung wird die Gesamtheit aller Wirtschaftssubjekte in einem Wirtschaftsraum betrachtet. Dazu zählen neben den zuvor skizzierten Unternehmensperspektiven auch die Haushalte und der Staat (ARNOLD, 2016). Aus volkswirtschaftlicher Perspektive ist die zu produzierende Biomasse ebenso ein Knappheitsfaktor wie bei der betriebswirtschaftlichen, der mit seinem Preis zum Ausdruck kommt. Darüber hinaus sind aber auch Umwelt- bzw. Naturgüter knapp, die durch den Pflanzenschutz tangiert werden. Diese Knappheit drückt sich aufgrund ihrer Eigenschaft als öffentliche Güter jedoch selten in einem (ausreichenden oder transparenten) Preis aus. Dies ist mit ihrer Eigenschaft der Nicht-Ausschließbarkeit und der Nicht-Rivalität zu begründen. Zu diesen, vom Pflanzenschutz tangierten öffentlichen Gütern zählen Biodiversität und Landschaftsschutz, sowie Wasser-, Luft- und Bodenschutz. Die weiter zunehmende Inanspruchnahme von Umwelt- und Naturgütern durch den Menschen verschärft die Knappheit und induziert damit eine verstärkte Anstrengung, verbrauchte Umwelt- und Naturgüter wiederherzustellen, deren Konsum einzuschränken oder Ursachen der Umwelt- und Naturbelastung zu reduzieren (HAAS und SCHLESINGER, 2016). Ohne Preise und ohne staatliche Reglementierung würden derartige Umwelt- und Naturgüter übernutzt werden, u.a. durch den Einsatz von Herbiziden in der Landwirtschaft, insbesondere wenn Anwender die durch sie entstehenden Kosten externalisieren können (ENDRES, 2013). D.h., der Anwender muss die durch ihn verursachten Kosten der Anwendung eines Wirkstoffs bzw. Herbizids (weitgehend) nicht selbst tragen (das „externe Effekte Problem"). Dazu zählen z. B. Überwachungs-, Ausweich-, Aufbereitungs-, Behandlungs-, Vermeidungs- und Kontrollkosten (u. a. durch Wasserversorger, Lebensmittelhersteller, Gesundheitsdienste oder staatliche Kontrollinstanzen), aber auch monetär schwierig zu bewertende Kosten durch verminderte Artenanzahlen oder sonstigen Ökosystemdienstleistungen. Zahlreiche Autoren haben bereits in der Vergangenheit versucht, diese Kosten des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel zu spezifizieren und ihren Leistungen gegenüber zu stellen (vgl. u. a. BOURGUET und GUILLEMAUD, 2016; VON WITZKE und NOLEPPA, 2011). Dabei wurde vielfach auch der Versuch angestellt, die schwer monetär bewertbaren Beeinflussungen der Umwelt und der Natur, z. B. durch Biodiversitätsrückgang oder (negative) Beeinträchtigung des Landschaftsbildes zu berücksichtigen. Bei diesen z. T. ganzheitlichen Leistungs-Kostenrechnungen ergeben sich große Bandbreiten von erheblichen Kostenüberhängen bis zu erheblichen Leistungsüberhängen beim Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel. Unabhängig davon ist in Anbetracht der gegenwärtigen gesellschaftspolitischen Diskussionen nicht auszuschließen, dass der integrative Pflanzenschutz gemäß §§ 2 und 3 PflSchG sowie Anhang III der Pflanzenschutz-Rahmenrichtlinie zukünftig eine veränderte Interpretation erfahren wird. Dabei wird von besonderer Bedeutung sein, was das „notwendige Maß" bei der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel im Rahmen der guten fachlichen Praxis sein wird (vgl. dazu auch BMEL, 2017; BÜRGER et al., 2008). Zukünftig könnte bei gegebenen (angepassten) Fruchtfolgen eine stärkere Ausnutzung natürlicher Begrenzungsfaktoren und speziell bei der Unkrautbekämpfung physikalische Verfahren stärker im Vordergrund stehen, um Schadorganismen unter der (veränderten) wirtschaftlichen Schadensschwelle zu halten. Die gegenwärtig erkennbaren politischen Prozesse auf EU-, Bundes- und Länderebene mit konkret formulierten Zielen einer signifikanten Reduktion des chemischen Pflanzenschutzes deuten darauf hin (vgl. u. a. EU, 2019, BUNDESREGIERUNG, 2019; LBV, 2019). In diesem Zusammenhang sollen im Folgenden einige Optionen skizziert werden, wie auch im Bereich des Herbizideinsatzes betriebswirtschaftlich tragfähige

Lösungen einer signifikanten Wirkstoffreduktion denkbar sein können, um geringere Beeinträchtigungen von Ökosystemleistungen zu induzieren.

Möglichkeiten ökonomisch tragfähiger Lösungen der Herbizidreduktion

Aus der Sicht des Landwirts sind Vorgehensweisen ökonomisch tragfähig, wenn durch die damit verbundenen Kosten höhere Leistungen bzw. Nutzen erzeugt werden und dabei idealerweise eine Betrachtung über die gesamte Fruchtfolge über viele Anbauperioden erfolgt (vgl. dazu auch GERHARDS et al., 2016). Dabei ist im Bereich des Pflanzenschutzes zu bedenken, dass die (erhebliche) Substitution von chemisch-synthetischen Wirkstoffen nicht allein Auswirkungen auf den Deckungsbeitrag einzelner Kulturen oder der Fruchtfolgen induziert, sondern die gesamte Betriebsorganisation tangieren kann, so dass eine einfache Teilkostenrechnung nicht ausreichend ist, die betriebswirtschaftlichen Konsequenzen abzubilden. Veränderte Fruchtfolgen und Abhängigkeiten von Witterungsverhältnissen mit geringeren (weniger flexiblen) Möglichkeiten alternativer Pflanzenschutzmaßnahmen bedeuten veränderte Arbeitszeiten und Terminkosten. Eine damit verbundene geringere Schlagkraft im Ackerbau ist vielfach die Folge, mit höheren Stückkosten, die neben den höheren Arbeitserledigungskosten auch durch die zu erwartenden geringeren Hektarerträge entstehen. Darüber hinaus hätte eine verstärkte Abkehr vom chemischen Pflanzenschutz auch nicht zu unterschätzende Struktureffekte. Der vergleichsweise leichter plan- und umsetzbare chemische Pflanzenschutz kann im Nebenerwerbsbetrieb problemloser umgesetzt werden als ein Ackerbau mit verstärkt alternativen Pflanzenschutzkonzepten, der bereits schon höhere Kosten durch intensivere Planung, Kontrollen oder Bonituren haben wird. Somit wären insbesondere in Süddeutschland, wo überdurchschnittlich viele Nebenerwerbsbetriebe vorhanden sind, Struktureffekte zu erwarten, weil eine Kombination mit dem außerlandwirtschaftlichen Haupterwerb erschwert würde.

Vor dem Hintergrund einzelner zuvor skizzierter ökonomischer Effekte sollen nachfolgend einzelne Optionen auch aus ökonomischer Sicht diskutiert werden, die zu einer zukünftig erwarteten signifikanten Reduktion von Herbiziden beitragen können.

1. Der radikalste Weg der Anpassung wäre eine Umstellung auf den ökologischen Landbau, der eine vollständige Reduktion von Herbiziden bedeutet, mit erheblichen agronomischen und organisatorischen Veränderungen sowie signifikanten Ertragsdepressionen (vgl. dazu BMEL, verschiedene Jahrgänge). Mittlerweile ist der ökologische Landbau keine Nischenproduktion mehr. Mit den zukünftig veränderten Rahmenbedingungen im chemischen Pflanzenschutz wird der ökologische Landbau c.p. an Vorzüglichkeit gewinnen. Dennoch stellt sich die Frage, ob eine starke Erhöhung des Angebots aus ökologischem Landbau auf eine ausreichend hohe Nachfrage trifft, mit der Bereitschaft die bislang zumindest z. T. erheblichen höheren Kosten zu tragen (vgl. dazu auch BMEL, 2019). Vor diesem Hintergrund sollten zukünftig auch alternative Produktions- und Vermarktungsmöglichkeiten erwogen werden, die auf der einen Seite überdurchschnittlich hohe Ökosystemleistungen ermöglichen (u. a. durch erheblichen oder vollständigen Verzicht auf Herbizide bzw. chemische Pflanzenschutzmittel, ohne ökologisch zu wirtschaften) und auf der anderen Seite höhere Produktpreise erlauben, die zwar nicht das Niveau ökologisch produzierter Produkte erreichen, aber höhere, kennzeichnungsinduzierte Preise erlauben als bislang konventionell vermarktete Produkte. Dafür bieten sich verschiedene Optionen an, Herbizide ganz oder z. T. je nach Kultur zu substituieren.

2. Für einige Betriebe werden Umstellungen von Fruchtfolgen und Kulturmaßnahmen unausweichlich werden. Dazu zählen insbesondere solche Betriebe, die mit Unterstützung des chemischen Pflanzenschutzes sehr enge Fruchtfolgen etabliert haben, die zukünftig kaum noch möglich sein werden, auch in Anbetracht von Resistenzentwicklungen (siehe z. B. ZWERGER et al., 2017). Im Durchschnitt sind dabei c. p., im Vergleich zum Durchschnitt vergangener Jahre, geringere kalkulatorische Betriebszweigergebnisse je ha über die gesamte Fruchtfolge zu erwarten, auch weil die Stückkosten ansteigen und der Anteil von bislang wirtschaftlich weniger attraktiven Sommerungen und/oder Zwischenfrüchten vermutlich ansteigen werden.

3. Dieser Rückgang des Herbizideinsatzes wird auch durch den verstärkten Einsatz von Hacke und Striegel ermöglicht, um je nach Kultur auf eine oder sogar mehrere Herbizidmaßnahmen zu verzichten. Kombiniert mit den Möglichkeiten des Precision und Digital Farmings sind Beseitigungswahrscheinlichkeiten der Ackerbegleitflora von weit mehr als 90 % möglich (vgl. u. a. SCHMIDTKE, 2019). Allerdings ist dieser Erfolg sehr stark abhängig von pedologischen, klimatischen, topografischen und strukturellen Rahmenbedingungen, den betrieblichen Fruchtfolgen sowie der Ausbildung und Einstellung des Betriebsleiters, so dass eine pauschale Beurteilung zur Vorzüglichkeit von mechanischen Maßnahmen sehr schwer möglich ist. Diese Herausforderungen gelten auch für eine Kombination mit einer Bandspritzung, die einen effizienteren und effektiveren Bekämpfungserfolg bei gleichzeitig erheblicher Herbizidreduktion bedeuten könnte. Allerdings ist ihre Anwendung nicht bei allen Kulturen und zu allen Zeitpunkten in gleicher Weise anwendbar wie der bisherige gesamtflächige Herbizideinsatz. Für Betriebe mit hohen Anteilen Hackkulturen, wie z. B. beim Mais, kann diese Option jedoch eine ernsthafte ökonomische Alternative darstellen, die zukünftig häufiger in Erwägung gezogen werden sollte. Auch der technische Fortschritt mit z. B. kamerageführten Hacken und Bandspritzgeräten und dadurch auch schmäleren Spritzbändern trägt bei ausreichender Auslastung zur Wirtschaftlichkeit du Herbizidreduktion bei.

4. Weiterhin bietet ein teilflächenspezifischer Pflanzenschutz und insbesondere seine am höchsten aufgelöste Form, das Spotspraying, für die Zukunft des chemischen Pflanzenschutzes erhebliche Anwendungspotenziale. (vgl. dazu auch WEGENER et al., 2018). Für einzelne Herbizide in einzelnen Kulturen bieten sich bereits jetzt Anwendungsfelder, die eine Reduktion bis zu 50 % und mehr an Herbiziden ermöglichen und dabei allein durch die diskontierten Wirkstoffersparnisse eine rentable Investition in diese Technologie darstellen können. Unter Berücksichtigung des absehbaren technischen Fortschritts sind erhebliche Verbesserungen erwartbar, sowohl im Hinblick auf erweiterte Spektren einsetzbarer Wirkstoffe als auch zunehmende Einsatzmöglichkeiten bei weiteren Kulturen.

5. Die bislang ausschließlich betriebswirtschaftlich motivierten Schadschwellen im Ackerbau könnten zukünftig durch volkswirtschaftliche Elemente ergänzt werden, bei denen auch externe Kosten des (chemischen) Pflanzenschutzes Berücksichtigung finden. D.h., die Ökosystemleistungen von Schaderregern sowie von reduzierten oder unterlassenen Wirkstoffeinsätzen würden bei der Ermittlung der Schadschwellen einkalkuliert. Somit wären im Zusammenspiel mit verbesserten Monitoringsystemen von Umwelt und Natur sowie verbesserter Prognoseverfahren für das Auftreten von Schaderregern erhebliche Reduktionspotenziale des Herbizideinsatzes denkbar. Honorierungsfähige Mehrwerte einer vielfältigeren Ackerbegleitfora mit veränderten Nützlings-Schädlingsinteraktionen, die starke Ausbrüche von Pathogenen unterdrücken, sowie geringere Verunreinigungen von Boden und Wasser durch Wirkstoffe und ihrer Metabolite im Kontext eines geringeren Einsatzes von (chemischen und mechanischen) Pflanzenschutzmaßnahmen wären mit den betriebswirtschaftlichen Minderwerten im Kulturpflanzenanbau in Beziehung zu setzen. In diesem Zusammenhang sind auch Auswirkungen veränderter Resistenzeigenschaften der Ackerbegleitflora und bislang eingesetzter Wirkstoffgruppen ins Kalkül zu ziehen, die als Folgeeffekte veränderter Pflanzenschutzmaßnahmen zu bewerten sind. Diese stellen einen Teil der Externalitäten dar, die wahrscheinlich zu einer Erhöhung der Schadschwellen beitragen. Alternative umweltschonendere Pflanzenschutzmaßnahmen gewinnen damit an Vorzüglichkeit, die u. a. zu einer getrennten Bewertung für Feldrandstrukturen führen können, die ein höheres Potenzial „grüner Brücken" aufweisen und damit als Ökosystemleistung ebenfalls ins Kalkül gezogen werden können (vgl. dazu auch NIGGLI et al., 2019). Neben einer unzureichenden betriebswirtschaftlichen Anreizstruktur solcher „volkswirtschaftlichen" Schadschwellen dürfte eine weitere Herausforderung eine weitgehend exakte und willkürfreie Bewertung der Ökosystemleistungen sein, die bislang noch nicht ausreichend adressiert werden kann (siehe dazu auch TEEB, 2011). Diese zuvor skizzierten Ökosystemleistungen bieten einen Einstieg in weitere volkswirtschaftlich orientierte Bewertungen des Herbizideinsatzes, die nachfolgend vertieft werden.

6. Vielfach wird eine Abgabe auf Pflanzenschutzmittel in die Diskussion gebracht (vgl. MÖCKEL et al., 2016), um den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Allgemeinen und von Herbiziden im Speziellen zu reduzieren und die entstehenden (negativen) Externalitäten des Pflanzenschutzeinsatzes zu internalisieren. Dieser zunächst naheliegende und einfach zu implementierend erscheinende Weg entpuppt sich bei näherer Betrachtung als kompliziert und unausgewogen (vgl. dazu auch MUßHOFF, 2017), insbesondere im Zusammenhang mit den gegenwärtig bereits beschlossenen bzw. zu erwartenden Maßnahmen zum Umwelt- und Naturschutz in der Landwirtschaft.

7. Veränderte Beratungskonzepte, die idealerweise unabhängig sein sollte und somit eine stärkere Förderung der Offizialberatung sinnvoll erscheinen lassen, sind ebenso erwägenswert wie eine simultane Weiterentwicklung von Demonstrationsbetrieben, um Wissen bzw. Technologien mit Herbizid reduzierender Wirkung großräumig in der Praxis noch besser zu implementieren.

8. Diese Vorgehensweise könnte gekoppelt werden mit noch höheren Forschungsaktivitäten für einen Kulturpflanzenanbau mit erheblich reduzierten Herbizideinsätzen, die eine veränderte Kulturartenvielfalt mit höheren Ökosystemleistungen induzieren können und dennoch betriebswirtschaftlich attraktiv sind.

Schlussfolgerungen

Die europäische bzw. deutsche Landwirtschaft bietet vielfache Anknüpfungspunkte, Herbizideinsätze zu reduzieren und dabei ökonomisch tragfähige Lösungen für Landwirte und Gesellschaft anzubieten. Dabei gibt es jedoch keine pauschalen Patentrezepte, weil die individuellen standörtlichen sowie betriebsleiterspezifischen Rahmenbedingungen stark variieren. Darüber hinaus entstehen bei allen Optionen Zielkonflikte, über die verstärkt diskutiert werden sollte. Ein zunehmender Einsatz mechanischer Maßnahmen zur Beseitigung der Ackerbegleitfora erhöht nicht zwingend die Biodiversität und hat z. B. mit hoher Wahrscheinlichkeit eine stärkere negative Wirkung auf Bodenbrüter als dies bei diversen Herbiziden der Fall wäre. Darüber hinaus kann eine Herbizidreduktion vielfach zu verstärkten Erosionsgefahren sowie zu geringeren und volatileren Naturalerträgen und damit verbunden auch zu höheren Stückkosten und höherem betriebswirtschaftlichem Risiko führen. Daraus resultierende Gewinnrückgänge sind für die Produzenten (Landwirte) nicht immer leicht kompensierbar. Höhere Erlöse (für die Mehrzahl der Betriebe) sind aus gegenwärtiger Sicht abseits des ökologischen Landbaus oder von Nischenprodukten nicht erkennbar, weil viele andere Produzenten von Agrarprodukten aus aller Welt geringeren Umwelt- und Naturschutzauflagen unterliegen, aber weitgehend freien Zugang zum deutschen Markt aufweisen. Aber selbst wenn höhere Produktpreise für deutsche Biomasseproduzenten mit höheren Ökosystemleistungen aufgrund entsprechender Kennzeichnungen möglich erscheinen, ist zu bedenken, dass viele Verbraucher und Verbraucherinnen sich auch in Deutschland höhere Lebensmittelpreise kaum leisten können. Schließlich ist zu bedenken, dass die sich gegenwärtig abzeichnenden zunehmenden Extensivierungen im Kulturpflanzenanbau in Deutschland sowie Mittel- und Westeuropa, zu geringeren Hektarerträge führen. Sofern aus globaler Sicht dennoch die gleiche oder sogar höhere Menge an Biomasse produziert werden soll, was in Anbetracht einer weiter zunehmenden Weltbevölkerung und höherem Konsum von tierischen Produkten wahrscheinlich ist, können Intensitätssteigerungen in anderen Teilen der Welt die Konsequenz sein. Diese Entwicklung könnte einen Export von negativen Externalitäten in andere Teile der Welt induzieren, mit z. T. höheren ökologischen Schäden, als wir sie in Teilen Europas vermeiden. An dieser Stelle führen wir eine ähnliche Diskussion wie mit den Klimagasen. Wir sollten in einer global verflochtenen Welt der Produktion von Gütern, Handel und Dienstleistungen auch den Versuch anstellen, über die globalen Auswirkungen unserer Aktivitäten zumindest nachzudenken und zu diskutieren. Ansonsten erwecken unsere gegenwärtigen Handlungen zum Ackerbau in Teilen Europas den Anschein des Sankt-Florian-Prinzips.

Literatur

ARNOLD, L., 2016: Makroökonomie, 5. Aufl. Mohr Siebeck.

BMEL, 2019: Zukunftsstrategie ökologischer Landbau. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Zukunftsstrategie-oekologischer-Landbau.pdf?__blob=publicationFile

BMEL, 2017: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/NationalerAktionsplanPflanzenschutz.pdf?__blob=publicationFile

BMEL, verschiedene Jahrgänge: Buchführungsergebnisse der Landwirtschaft. https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/testbetriebsnetz/testbetriebsnetz-landwirtschaft-buchfuehrungsergebnisse/

BOURGUET, B. und T. GUILLEMAUD, 2016: The Hidden and External Costs of Pesticide Use. In: Sustainable Agriculture Reviews **19**, 35-120.

BUNDESREGIERUNG, 2019: Insekten besser schützen. https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/aktionsprogramm-insektenschutz-1581358

BÜRGER, J., F. DE MOL, B. GEROWITT, 2008: The ''necessary extent'' of pesticide use—Thoughts about a key term in German pesticide policy. In: Crop Protection **27**, 343-351.

ENDRES, A., 2013: Umweltökonomie. 4. Aufl. Kohlhammer.

EU, 2019: Green Deal-beim Pflanzenschutz drohen Einschnitte. In: Agra-Europe **51**/19, EU-Nachrich. 1.

GERHARDS, R., J. DENTLER, C. GUTJAHR, S. AUBURGER, E. BAHRS, 2016: An approach to investigate the cost of herbicide-resistant Alopecus myosuroides. In: Weed Research **56**, 407-414.

HAAS, H.-D., D. SCHLESINGER, 2016: Umweltökonomie und Ressourcenmanagement. 1. Aufl. WBG.

LBV E.V. (LANDESBUND FÜR VOGELSCHUTZ, BAYERN), 2019: Volksgehren Artenvielfalt. https://volksbegehren-artenvielfalt.de/

MÖCKEL, S.; E. GAWEL, M. KÄSTNER, S. KNILLMANN, M. LIESS, W. BRETSCHNEIDER, 2015: Einführung einer Abgabe auf Pflanzenschutzmittel in Deutschland. Studien zur Umweltökonomie und Umweltpolitik, Band 10.

MUßHOFF, O., 2017: Bewertung einer Steuer auf Pflanzenschutzmittel aus betriebs- und volkswirtschaftlicher Perspektive. In: HFFA Research Paper 6/2017. https://www.iva.de/sites/default/files/pdfs/2017-06-hffa-research-paper-pflanzenschutzmittel-steuer.pdf

NIGGLI, U.; B. GEROWITT, C. BRUHL, M. LIESS, R. SCHULZ, R. ALTENBURGER, W. BOKELMANN, C. BÜTTNER, M. HARTENBACH, J. HESS, B. MÄRLÄNDER, T. MIEDANER, T. NODLER, R. PETERCORD, A REINEKE, C. VON KRÖCHER: Wissenschaftlicher Beirat des Nationalen Aktionsplans Pflanzenschutz beim BMEL, 2019: Pflanzenschutz und Biodiversität in Agrarökosystemen. Stellungnahme WB NAP beim BMEL, 48 S.

SCHMIDTKE, K., 2019: Neues zum Hacken und Striegeln aus Forschung und Praxis. Vortrag auf dem Naturland Hack- und Striegeltag am 30.4.19 in Dietingen. https://www.naturland.de/images/Erzeuger/Fachthemen/Fachveranstaltungen/2019/Naturland_Hack-und_Striegeltag_Schmidtke_30042019.pdf

STENZEL, K., 2017: Zukunft der Wirkstoffentwicklung für den Pflanzenschutz. Vortrag auf der Tagung der DAF am 5.10.17 zur Zukunft des Pflanzenschutzes. https://www.agrarforschung.de/fileadmin/download/2017/11_Stenzel.pdf

TEEB, 2011: The Economics of Ecosystems and Biodiversity in National and International Policy Making. Edited by Patrick ten Brink. Earthscan, London and Washington.

VON WITZKE, H., S. NOLEPPA, 2011: Der gesamtgesellschaftliche Nutzen von Pflanzenschutz in Deutschland. https://www.agrar.hu-berlin.de/de/institut/departments/daoe/ihe/Veroeff/psm_markteffekte_final.pdf

WEGENER, J. K.; D. VON HÖRSTEN, L. M. URSO, 2018: Mit Spot Farming zur nachhaltigen Intensivierung in der Pflanzenproduktion. In: Nordmeyer, H. und L. Ulber: Tagungsband zur 28. Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und –bekämpfung, Braunschweig 2018. S. 19-23.

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, D. M. WOLBER, 2017: Integriertes Unkrautmanagement zur Vermeidung von Herbizidresistenz. Journal für Kulturpflanzen **69** (4), 146–149.

Unkrautmanagement im Zeichen von Biodiversität, Glyphosatkrise und knappen Ressourcen – Versuch einer Zwischenbilanz

Weed management in the context of biodiversity, glyphosate crisis and scarce resources – an interim conclusion attempt

Horst-Henning Steinmann

Georg-August-Universität Göttingen, Zentrum für Biodiversität und nachhaltige Landnutzung, Büsgenweg 1, 37077 Göttingen
hsteinm@gwdg.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.002

Zusammenfassung

Unkrautmanagement und Unkrautforschung sind an einem Wendepunkt. So sehen es jedenfalls zahlreiche Expertinnen und Experten. Herbizide kommen an ihre Grenzen durch Fortfall von Altwirkstoffen und die Zunahme schwerbekämpfbarer Unkrautpopulationen. Auflagen zur Verbesserung der Biodiversität sollen verordnet und die Herbizidmengen reduziert werden. Der Beitrag diskutiert die Problemursachen und mögliche Auswege. Das bisherige Herbizidsystem muss überarbeitet und die Auswirkungen auf öffentliche Güter müssen stärker in Bekämpfungsentscheidungen integriert werden.

Stichwörter: Herbizide, Herbizidresistenz, Nicht-chemische Unkrautbekämpfung, Öffentliche Güter

Abstract

Weed management and weed research are at a turning point. This is the opinion of numerous experts. Herbicides are reaching their limits due to the disappearance of existing active substances and the increase in weed populations that are difficult to control. Regulation based requirements to improve biodiversity are to be imposed and herbicide quantities should be reduced. The paper discusses the causes of the problems and possible solutions. The current herbicide system must be revised and the effects on public goods must be more strongly integrated into control decisions.

Keywords: Herbicides, herbicide resistance, non-chemical weed control, public goods

Einleitung

In den jüngst vergangenen Jahren ist das Unkrautmanagement – und hier besonders die Herbizid basierte Unkrautbekämpfung – unter Druck geraten. Die nachlassende Wirkung vieler Herbizidwirkstoffe, strengere Auflagen bei Anwendung und Zulassung, Begrenzung der Wirkstoffpalette durch zurückgehende Innovationen sowie die hart geführte Debatte um den Schutz der Biologischen Vielfalt stehen für einen Zustand, der durchaus als Krise bezeichnet werden kann. Die agrarnahen Akteure kritisieren die nachlassenden und abnehmenden Managementoptionen beim Unkrautmanagement als krisenhaft, während die Agrarkritiker den ökologischen Zustand der Agrarlandschaften und insgesamt die nachteiligen externen Effekte als Kennzeichen einer Krise ansehen. Das Ringen um das EU Verfahren zur Wirkstoffgenehmigung und Wiederzulassung von Glyphosat ist ein deutlich sichtbares Symptom dieser krisenhaften Zuspitzung.

Aber nicht nur bei uns in Deutschland oder Europa machen sich Unkrautforscher Gedanken, welches die wichtigen Fragen bzw. Aufgaben der kommenden Dekaden sind. Die Unkrautforschung steht an einem kritischen Punkt heißt es auch bei WESTWOOD et al. (2019) in ihrem sehr umfangreichen Blick auf die nächsten 30 Jahre.

Für einen Beitrag des Wissenschaftsmagazins Science wurden kürzlich – angeregt durch die Glyphosat- Schadensersatzprozesse vor US-amerikanischen Gerichten – Unkrautforscher und -forscherinnen gefragt, wie es Ihrer Meinung nach mit dem Unkrautmanagement weitergeht bzw. weitergehen solle (STOKSTAD, 2019). Diese zweifellos nicht repräsentative Sammlung von Statements gibt einen treffenden Überblick über die diversen Ansichten zur Zukunft des Unkrautmanagements. Folgende Aspekte wurden genannt:

- Entwicklung und Nutzung von Anbausystemen, die weniger abhängig von Herbiziden sind,

- Investitionen in neue Wirkstoffentwicklungen, die bisher durch die Konkurrenz des billigen Glyphosats unterlassen wurden,
- Neue Bioherbizide zur Marktreife bringen,
- Weiterentwicklung autonomer Vehikel, die Unkräuter präzise erkennen und entfernen,
- Weiterentwicklung und Fokussierung nicht chemischer Verfahren (Hacken, Striegel etc.).

Diese Punkte können auch für den Bedarf unter deutschen Verhältnissen als relevant angesehen werden. Hinzu kommt noch die Anforderung, künftig mehr für die Verbesserung der Biodiversität zu unternehmen, was durch das nationale Insektenschutzprogramm (BMU, 2019) und ähnliche Aktivitäten unterstrichen wird. Steht das Unkrautmanagement also vor einem Paradigmenwechsel oder wird alles irgendwie weitergehen wie bisher? Dieser Beitrag greift ohne Anspruch auf Vollständigkeit einige der wichtigen Themen auf und versucht auch Stellung zu beziehen. Das möge helfen, die notwendigen Diskussionen und Lösungsfindungen weiter zu entwickeln.

Unkrautmanagement in Anbausystemen

Unkrautbekämpfung ist unmittelbar im Kontext der pflanzenbaulichen Anbausysteme zu sehen. Das ist eine gar nicht so neue Erkenntnis, wie das folgende Zitat verdeutlicht:

*„Ist ein Acker besonders stark mit Schadgräsern verunkrautet, so kann wichtiger als die chemische Bekämpfung die Umstellung der meist zu einseitigen Fruchtfolge sein, um die Bodenverhältnisse auf biologischem Weg wieder in Ordnung zu bringen. Weil die tieferen Ursachen für die heute so häufige Feldverseuchung mit einigen wenigen hartnäckigen Unkrautarten in der Praxis nicht erkannt werden (oder auch gar nicht darüber nachgedacht wird) und weil man das Heil nur von den chemischen Mitteln erwartet, geraten so manche Landwirte in ihrem Bemühen um hohe Ernteerträge in eine ebenso teure wie ausweglose Kreisbahn. Herbizide können eine sinnvolle Fruchtfolgetechnik nicht ersetzen." (*aus: BACHTHALER und DIERCKS, 1968).

Das Zitat kann aus zwei Blickwinkeln gedeutet werden. Einerseits ist zu beklagen, dass diese über fünfzig Jahre alte Erkenntnis seitdem so wenig berücksichtigt wurde, dass wir sie in ihrem Problemkontext heute als zeitgenössisch ansehen können bzw. müssen. Andererseits könnte man einwenden, dass es sich wohl um eine der üblichen pessimistisch akademischen Hohlphrasen handelt; immerhin ist doch seitdem der Produktionserfolg der Landwirtschaft ständig angestiegen. Es ist doch auch alles lange gut gegangen.

In der Tat blicken wir auf eine seit den Fünfzigerjahren andauernde Intensivierungsgeschichte der Ackerbausysteme zurück. In den industrialisierten Ländern sind die Erträge der wichtigen Kulturpflanzen bis in die Neunzigerjahre stetig angestiegen. Seitdem ist jedoch in vielen Regionen ein Ertragsplateau erreicht und weitere Ertragssteigerungen bleiben aus (GRASSINI et al., 2013). Ebenfalls sind Nebeneffekte der intensiven Pflanzenproduktion sichtbar geworden. In unserem Fachgebiet sind das die zunehmenden herbizidresistenten Populationen schwer bekämpfbarer Unkräuter sowie der gleichzeitige Verlust an Artenvielfalt.

Die Unkrautforschenden sind uneinig: Hartnäckig geführt wird die Debatte über das möglichst vollständige Ausrotten der Problemunkräuter, um Samenproduktion zu vermindern und damit den Populationsanstieg zu bremsen. Dem gegenüber steht das Leben-lassen der Unkräuter (Koexistenz), das sich ökosystemar aus der Nischentheorie heraus ableitet. Unkräuter drängen nun einmal in die freien Nischen. Daher wird der Druck niemals aufhören. Werden die Herbizide zurückgefahren, können sich die nicht resistenten Biotypen wieder erholen und größere Anteile der Populationen zurückerobern. Außerdem können auch weniger konkurrenzkräftige Arten eine Nische finden.

Motiviert durch die herbizidresistenten Unkrautpopulationen hat sich in Teilen der USA eine Bewegung gebildet, die eine Ausrottung der bedeutendsten Arten auf Landschaftsmaßstab fordert. Für diese sogenannte Zero-Tolerance Methode z. B. gegen *Amaranthus palmeri* sollen regionale farmübergreifende Aktionsgruppen gebündelt werden (DAVID und FRISVOLD, 2016). Unterstützung findet dieser Ansatz durch Unkrautexperten der betreffenden Regionen. Auch in Deutschland wird

vereinzelt in einem Null-Toleranz-Ansatz die Lösung zur Bekämpfung der herbizidresistenten Acker-Fuchsschwanzpopulationen gesehen, wie immer wieder in einschlägigen Fachzeitschriften zu sehen. Dabei ist es gerade der intensive Herbizideinsatz der vorangegangenen Jahre gewesen, der zum Aufbau der resistenten Populationen geführt hat. Es ist daher rätselhaft, warum das immer gleiche Instrumentarium, das zum Problem geführt hat, nun die Problemlösung sein soll. Einige US-Unkrautexperten bilden die Gegenbewegung zu der Null-Toleranz-Idee und haben bereits 2012 in Anlehnung an eine bekannte Märchenparabel postuliert, dass viele Unkrautexperten (Weed-Emperors) eigentlich mit leeren Händen dastünden, es sich lediglich noch nicht eingestehen wollen (HARKER et al., 2012).

Die Entwicklung der Resistenzsituationen gibt in der Tat keinen Hinweis auf Erfolge des intensiven Bekämpfungsmanagements. Die Zahl der Resistenzfälle nimmt stetig zu. Aus dem Fachgebiet des Managements invasiver Unkrautpopulationen gibt es sehr wenige Beispiele wirklich erfolgreicher Ausrottungsaktivitäten (PANETTA, 2015). Auch wenn es vielen Fürsprechern einer Null-Toleranz nicht um Ausrottung, sondern um das Halten eines erträglichen Unkrautlevels geht, so bleibt es doch bei einem hoch intensiven Bekämpfungsregime und damit beim Aufrechterhalten des hohen Selektionsdruckes.

Allein das Zusammenspiel aller möglichen ackerbaulichen Instrumente kann helfen, das Unkrautmanagement auf eine dauerhafte und weniger herbizidabhängige Weise zu erhalten (BAGAVATHIANNANA und DAVIS, 2018; BECKIE und HARKER, 2017; MOSS, 2019). Dabei ist es aber zu vermeiden, den nützlichen Ackerbaumaßnahmen eine zu sehr dominierende Herbizidroutine hinzuzufügen, sondern es muss gelingen, in der Rotation auch ein oder mehrmals auf die Herbizide weitestgehend zu verzichten. Nur dadurch kann der Selektionsdruck verringert werden.

Neue Mittel bzw. Wirkstoffe

Viele Jahre lang haben Landwirte an die Verfügbarkeit ständig neuer Herbizidlösungen geglaubt. Aufkommende Bekämpfungsprobleme könnten mit neuen Produkten gelöst werden, so ist noch immer die Meinung zahlreicher Landwirte. Dem Statement *„Wenn Herbizide nicht mehr so gut wirken, können diese durch neue Herbizide ersetzt werden"* hat im Jahr 2014 noch ein Viertel von ca. 2000 befragten Landwirten zugestimmt. Nur ein knappes Drittel der Landwirte hat das Statement definitiv abgelehnt; ein Großteil war indifferent (HÖPER, unveröff.). Neuerungen im Herbizidmarkt beschränken sich aber mittlerweile vorrangig auf Marketinglösungen, zum Beispiel die Neuzusammenstellung von Paketen und Kombinationen bereits vorhandener Wirkstoffe. Die Innovation bei der Suche und Entwicklung neuer Wirkstoffe oder gar Wirkmechanismen ist hingegen weitestgehend zum Stillstand gekommen (DUKE, 2012). Hierfür ist ein Mix von Ursachen verantwortlich. Die steigenden regulativen Anforderungen bei der Zulassung neuer Mittel sind sicher ein Grund. Hinzu kommt die fortschreitende Konzentration bei der forschenden Industrie. Viele Unternehmen beschränken sich auf den Abverkauf von Altwirkstoffen. Nicht zuletzt wird die Dominanz des preiswerten Glyphosats am weltweiten Herbizidmarkt aufseiten zahlreicher forschender Unternehmen zu einem Rückzug aus kostspieligen Investments geführt haben (DUKE, 2012).

Vereinzelte Hinweise bestehen auf bisher ungenutzte Wirkstoffe und Stoffwechselpfade für neuartige Wirkmechanismen (DAYAN, 2019), deren Praxisreife und -tauglichkeit aber schwer abzusehen ist. Insgesamt ist die Pipeline neuer Herbizidentwicklungen aber eher als leer denn als voll zu bezeichnen.

Ist Robotik ein Ausweg?

Viele Erwartungen richten sich auf die Weiterentwicklungen von Sensorik, Robotik und künstlicher Intelligenz. Diese häufig mit dem Schlagwort „Digitalisierung" zusammengefassten Technologien sollen in kommenden Jahren zu einer Innovation nicht nur beim Unkrautmanagement führen, sondern den Ackerbau im Ganzen erneuern. Eine derzeit viel diskutierte Vision ist die automatisierte Bestandesführung mit Roboterflotten, die alle Düngungs- und Pflegemaßnahmen übernehmen.

Sogar eine Bestandesführung auf Einzelpflanzen- bzw. Spotebene soll dadurch möglich werden (WEGENER et al., 2017). Die Unkräuter sollen in solchen Systemen ebenfalls von den Robotern ausgeschaltet werden. Bei allen positiven Versprechungen, ist die Umsetzung dieser Technologien bisher erst in geringem Umfang erfolgt (FINGER et al., 2019). Viele Hindernisse und Unklarheiten stehen einer ausgedehnten Umsetzung noch im Weg.

Die Entwicklungen der teilflächenspezifischen Unkrautkontrolle mittels Applikationskarten bzw. automatisierter Unkrauterkennung reichen bis in die frühen Neunzigerjahre zurück (Übersicht bei GERHARDS et al., 1997). Bereits zu dieser Zeit wurden an diese Technologie große Erwartungen für die Zukunft gerichtet. Zunächst wurden die Anwendungsmöglichkeiten jedoch durch die begrenzten Datenspeicher und Datenverarbeitungsmöglichkeiten sowie die verfügbaren Sensoren limitiert. Mit dem Fortschreiten der „smarten" Technologien bei Kameras und Endgeräten ist in den letzten Jahren ein neuer Schub entstanden. Dennoch hat auch dieser neue Schub bisher keine breite Anwendung in der Unkrautbekämpfungspraxis bewirkt und die Diskussion über die Techniken verläuft überwiegend auf der Basis von Prototypen oder Entwicklungsstudien. Die mittlerweile sichtbare Verbreitung von Lenkhilfen und optischen Steuerungssystemen darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Realisierbarkeit der „Roboterflotten" noch nicht absehbar ist. Häufig sind Landwirte bereits mit dem Datenmanagement überfordert, das bei der Aufzeichnung der derzeit verfügbaren Informationen anfällt. Viele aktuelle Techniklösungen sind daher von künstlicher Intelligenz noch weit entfernt.

Das muss nicht so bleiben. Die Durchsetzung von Innovationen verläuft oftmals nicht geradlinig. So können Technologien jahrzehntelang ein Nischendasein als Prototypen führen und sich dann plötzlich durchsetzen. Aber auch der andere Fall ist denkbar, indem eine jahrzehntelang als kurz vor dem Durchbruch beschriebene Technologie schlussendlich im Sande verläuft. So ist ehrlicherweise nicht vorherzusagen, wie das zukünftige automatisierte Unkrautmanagement im Detail aussieht und wie es umgesetzt wird. Bei allen Erwartungen, die an die Zukunft gerichtet werden, ist aber ein Punkt nicht zu unterschätzen: Am Ende entscheiden nach wie vor die Anwender/innen über die Vorgaben für die Geräte. Eine Roboterflotte, die vom Bewirtschafter damit beauftragt ist, einen unkrautfreien Acker herzustellen, wird somit auch keinen Beitrag zur Biodiversität leisten. Wenn die Bereitschaft, Schadensschwellen anzuwenden beim Bewirtschafter nicht vorhanden ist, wird es auch die Robotik nicht umsetzen.

Die Zukunftsversprechungen der modernen Techniken werden häufig in einem Kontext dargestellt, der ein geradezu idyllisches Bild einer vollkommenen Problemlösung zeichnet. Das ist vermutlich so wenig richtig, wie die Sehnsucht nach einer vollkommenen Idylle der Vergangenheit, die bei Technik abgewandten Agrarkritikern manchmal anzutreffen ist. Zukünftige Techniken müssen also stets im Zusammenhang mit den Rahmenbedingungen und den Betriebsleiterpräferenzen gesehen werden.

Nicht-chemische Techniken

Technikmessen und Feldtage der jüngsten Zeit zeigen eine zunehmende Präsenz von nicht-chemischen Geräten zum Unkrautmanagement. Dies betrifft sowohl die Anbieterseite, die sich deutlich sichtbarer präsentiert, als auch die Nachfrageseite –also die Landwirte –, die die Stände und Vorführungen umlagert. Landtechnikunternehmen, die noch vor Jahren in Pflanzenschutzsparten investiert haben, akquirieren mittlerweile moderne Hack-, Striegel- und andere physikalische Technologien. Aber nicht nur die Marktstrukturen ändern sich, auch im Detail werden Innovationen sichtbar. Weiterentwicklungen bei Material, Konstruktion und Steuerung machen aus der klassischen Unkrauthacke ein modernes ernstzunehmendes Instrument.

Einen Innovationsschub bei nicht-chemischen Geräten gab es in Deutschland bereits nach dem Verbot des Atrazin. Anfang der Neunzigerjahre standen dadurch im Maisanbau nur wenige andere Wirkstoffe zur Verfügung. Für einige Jahre spielten daher in den Maisanbaugebieten die Hackgeräte als Ersatztechnologie eine gewisse Rolle beim Unkrautmanagement. Mit der einige Jahre später einsetzenden Markteinführung zahlreicher Maisherbizide aus den Gruppen der Sulfonylharnstoffe

und der Triketone eröffneten sich dann wiederum neue Optionen für den Herbizideinsatz im Mais. Die Hacktechnologien traten wieder in den Hintergrund.

Innovationen im Herbizidsektor scheinen im Wechsel mit Innovation im nicht-chemischen Bereich zu stehen. Die derzeitige Innovationskrise in der Herbizidentwicklung schafft einen Rahmen, in dem Innovationen im nicht-chemischen Sektor lohnend und realisierbar erscheinen. Wenn die Nachfrage nach Hack- und sonstigen Geräten ansteigt, kann eventuell auch mit Skaleneffekten, also günstigeren Stückpreisen und Effizienzgewinnen für die Endkunden gerechnet werden. Ansteigende Nachfrage und zunehmende Verkaufszahlen rechtfertigen weiterhin verbesserte Service- und Beratungsangebote, was sich ebenfalls zugunsten der Anwender auswirken kann.

Auch bei der Grundbodenbearbeitung sind aus der Praxis heraus entwickelte Technikentwicklungen sichtbar. Das Abtöten der Zwischenfrüchte war bisher ein wichtiges Anwendungsgebiet der Glyphosatherbizide. Inspiriert durch Betriebe aus dem Ökologischen Landbau, die pfluglose und/oder dauerhaft begrünte Anbausysteme etablieren, versuchen sich auch konventionelle Landwirte und Technikentwickler an glyphosatfreien Mulchsaatverfahren. Schneidende oder walzende Geräte zur Einarbeitung biomassereicher Bestände werden mittlerweile getestet und auch bereits eingesetzt. Die Vermutung, dass Glyphosat in den vergangenen Jahrzehnten als Bremse für Innovationen im Unkrautmanagement gewirkt hat, könnte sich bestätigen, wenn mit dem Ablaufen der Zulassung viele neue Verfahren und Ansätze entstehen.

Die betriebswirtschaftlichen Kalkulationen über die ökonomischen Konsequenzen eines Glyphosatverzichtes gehen bisher nicht auf die Frage ein, welches Potenzial an Wirksamkeit und Kostensenkung in den Ersatztechnologien, wie auch in den Anpassungsmaßnahmen des gesamten Anbausystems steckt. Daher orientieren sich diese Kalkulationen tendenziell am worst-case und sind daher wohl zu konservativ. Hierzu besteht in den kommenden Jahren Untersuchungsbedarf, wenn sich genauere Kenntnisse über die tatsächlichen Anpassungen einstellen.

Es bleibt allerdings auch noch genug Innovationsbedarf bestehen, denn viele mechanische Geräte sind noch deutlich von der breiten Praxis entfernt und die Wirkungsgrade sind nach wie vor begrenzt. Dies betrifft vor allem die in die Reihe wirkenden Hackverfahren, bei denen Bildverarbeitung, Instrumentensteuerung und Fahrgeschwindigkeit in Einklang gebracht werden müssen.

Biodiversität

Unkräuter sind Elemente der Biodiversität in der Agrarlandschaft. In der Nahrungskette nehmen sie einen wichtigen Platz ein und sind damit auch für höhere trophische Ebenen unentbehrlich. Grundsätzlich passen Pflanzenschutz und Biodiversität nicht zusammen. Die Aufgabe des Pflanzenschutzes ist es ja, die Vielfalt zurückzudrängen und den Kulturpflanzen den Vorrang zu ermöglichen. Das gilt auch für das Unkrautmanagement. Wenn also die Biodiversität in modernen Ackerbausystemen gefördert werden soll, so kann das in der Regel nur mit bewusstem Handeln geschehen. *En passant* wird sich eine Vielfalt wohl kaum einstellen.

In den Bestimmungen zum Glyphosatzulassungsdokument der EU findet sich erstmals ein Bezug zur Rolle der Unkräuter innerhalb der trophischen Ebenen. Damit wird der Anspruch nach Begleitbestimmungen gerechtfertigt, mit denen bei der nationalen Umsetzung die Biodiversität berücksichtigt werden soll. Bisher ist es nicht gelungen, solche Bestimmungen auf europäischer, wie auch auf nationaler Ebene zu erarbeiten und umzusetzen. In Deutschland kam es dabei zu einer Debatte über obligatorische Kompensationsflächen bei der Anwendung von breitwirksamen Pflanzenschutzmitteln. Diese Debatte hat sich über Jahre hingezogen und sich schließlich in juristischen Auseinandersetzungen erschöpft. Jüngster Endpunkt ist ein Verwaltungsgerichtsurteil, dass einerseits die Kompensationsidee stoppt aber andererseits die institutionelle Beteiligung der Umweltseite bestärkt. Es ist dringend geboten, einen Neuanfang aus dieser verfahrenen Situation heraus zu beginnen, anstatt weiter auf die juristische Auseinandersetzung zu setzen.

Die Idee der Kompensationsflächen war im Kern gar nicht so abwegig. Schon der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen hat in seinem Sondergutachten Umweltprobleme der Landwirtschaft (SRU, 1985) im Jahr 1985 vorgeschlagen, nach dem Eingriffs-Ausgleichs-Prinzip Kompensationen für die Auswirkungen der Landwirtschaft zu schaffen. Kritiker dieser Idee aus dem Lager der Landwirtschaft übersehen häufig, dass das Schaffen solcher (Ausgleichs-)Flächen sogar ein Anliegen des Nationalen Aktionsplans zum Pflanzenschutz ist. Dort ist es zwar nicht obligatorisch gemeint, es unterstreicht jedoch, dass ein Bedarf für irgendwie geartete Vorrangflächen zum Erhalt der Biodiversität mittlerweile breit getragen wird. Nachdem das Greening sich als weitestgehend wirkungsloses Instrument zur Verbesserung der Biodiversität erwiesen hat (PE'ER et al., 2017), dürfte offenkundig sein, dass wirkungsvollere Maßnahmen gefunden werden müssen.

Solche Maßnahmen müssen nicht auf Nicht-Produktionsflächen beschränkt sein. Vieles spricht dafür, dass auch Unkräuter in der Produktionsfläche toleriert werden müssen. Ein Acker verfügt über Nischen, aus denen sich die Unkräuter nur schwer und mit großem Aufwand herausdrängen lassen. Warum sollten diese freien Nischen nicht Unkräutern überlassen werden (vgl. GEROWITT, 2016). Nur auf diese Weise - als tolerierte Restverunkrautung - können Unkräuter ihre Aufgabe innerhalb der trophischen Ebenen als Nahrungs- und Habitatpflanzen erfüllen. Wenn es gelänge, diesen Biodiversitätsnutzen zu quantifizieren und in Geldwert umzusetzen, müssten Schadens- bzw. Toleranz- oder Bekämpfungsschwellen neu berechnet werden. Bisher bekannte Schadensschwellenwerte vernachlässigen diesen ökosystemaren Wert der Unkräuter. Sie messen Unkräutern lediglich Schaden, aber keinen Nutzen zu und sind daher unvollständig.

Schlussfolgerungen

Das Unkrautmanagement beruht seit einem Menschenalter im Wesentlichen auf Herbiziden. Wichtige Kulturtechniken sind darüber vernachlässigt worden; zugegebenermaßen auch aufgrund von ökonomischen Rahmenbedingungen, die Rationalisierungsdruck erzeugt haben. Lediglich bei direkt sichtbaren Nebenwirkungen, wie dem Erstarken herbizidresistenter Unkrautpopulationen, haben Landwirte die Folgen des langjährigen Herbizidregimes zu spüren bekommen. Da die sonstigen Nebenwirkungen (die sogenannten Externalitäten) dieses Managements, wie zum Beispiel der Rückgang von Artenvielfalt, der Landwirtschaft nicht in Rechnung gestellt wurden, hat sich eine Besitzstandshaltung hinsichtlich der derzeit üblichen Bewirtschaftungspraxis eingestellt. So beharrt die Branche weiterhin auf den Lösungen, die durch Herbizide bereitgestellt werden. Diese Fokussierung kommt in jüngerer Zeit an ihre Grenzen.

Vielleicht können wir von Entwicklungen und Diskussionen aus Übersee auch etwas anderes lernen, als den Begriff des „Herbicide-Only-Syndrom (HOS)", das als Treiber für die dortigen Bekämpfungsprobleme gesehen wird (POWLES und GAINES, 2016). Dieses Syndrom gilt es zu überwinden, bzw. gar nicht erst manifest werden zu lassen. Es gilt aber auch zu erkennen und zu akzeptieren, dass Landwirtschaft nicht ausschließlich im privaten Raum agiert, sondern öffentliche Güter bzw. Ressourcen strapaziert (siehe hierzu DAVIS und FRISVOLD, 2017). Nicht nur die Elemente der Biodiversität sind Gemeinschaftsgüter, sondern auch die Bekämpfbarkeit der Schaderreger ist ein solches Gemeinschaftsgut; ist eine Ressource. Dieses bereits in den frühen Siebzigerjahren aufgestellte Postulat (HUETH und REGEV, 1974) ist bis heute kaum in der Agrarszene (und auch nicht in der Unkrautszene) angekommen. Herbizidnutzer haben die Ressource der *Empfindlichkeit der Unkräuter gegenüber den Wirkmechanismen* stark ausgebeutet und sind dabei, dies weiter fortzusetzen.

Es wird die Aufgabe für die kommenden Jahre sein, die Grenzen zwischen privatem und öffentlichem Nutzen im Unkrautmanagement neu zu ziehen und diesen Prozess zu vermitteln sowie über die Kostenverteilung zu reden. Die Unkrautforschung muss den Landwirten dabei helfen; mit neuen Techniken, neuen Anbausystemen und neuen flankierenden Biodiversitätskonzepten.

Literatur

BACHTHALER, G., R. DIERCKS, 1968: Chemische Unkrautbekämpfung auf Acker- und Grünland. BLV, München.

BAGAVATHIANNANA, M.V., A.S. DAVIS, 2018: An ecological perspective on managing weeds during the great selection for herbicide resistance. Pest Management Science **74,** 2277-2286.

BECKIE, H.J., K.N. HARKER, 2017: Our top 10 herbicide-resistant weed management practices. Pest Management Science, **73,** 1045-1052.

BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2019: Aktionsprogramm Insektenschutz der Bundesregierung – Gemeinsam wirksam gegen das Insektensterben. Bundestagsdrucksache 19/13031.

DAVID E.E., G.B. FRISVOLD, 2016: Community-Based Approaches to Herbicide-Resistant Weed Management: Lessons from Science and Practice. Weed Science Special Issue, 609-626.

DAVIS, A., G.B. FRISVOLD, 2017: Are herbicides a once in a century method of weed control? Pest Management Science **73,** 2009-2220.

DAYAN, F.E., 2019: Current Status and Future Prospects in Herbicide Discovery. Plants **9,** 341.

DUKE, S.O., 2012: Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? Pest Management Science **68**, 505-512.

FINGER, R., S.M. SWINTON, N. EL BENNI, A. WALTER, 2019: Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. Annu. Rev. Resour. Econ **11,** 313–35.

GERHADS, R., M. SÖKEFELD, K. SCHULZE-LOHNE, D. MORTENSEN, W. KÜHBAUCH, 1997: Site specific weed control in winter wheat. J. Agronomy and Crop Science **178,** 219-225.

GEROWITT, B., 2016: Zum Nutzen von Artenvielfalt bei Ackerunkräutern für das Unkrautmanagement. Julius-Kühn-Archiv **452,** 13-18.

GRASSINI, P., K.M. ESKRIDGE, K.G. CASSMAN, 2013: Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. Nature Communications **4,** 2918.

HARKER, K.N., J.T. O'DONOVAN, R.E. BLACKSHAW, H.J. BECKIE, C. MALLORY-SMITH, B.D. MAXWELL, 2012: Our View. Weed Science, **60,** 143-144.

HÖPER, J.W., 2015: Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Georg-August-Universität Göttingen.

HUETH, D., U. REGEV, 1974: Optimal agricultural pest management with increasing pest resistance. Am J Agric Econ **56,** 543–552.

MOSS, S., 2019: Integrated weed management (IWM): why are farmers reluctant to adopt non-chemical alternatives to herbicides? Pest Management Science **75,** 1205-1211.

PANETTA, F.D., 2015: Weed eradication feasibility: lessons of the 21stcentury. Weed Research **55,**226-238.

PE'ER, G, Y. ZINNGREBE, J. HAUCK, S. SCHINDLER, A. DITTRICH, S. ZINGG, T. TSCHARNTKE, R. OPPERMANN, L.M.E. SUTCLIFFE, C. SIRAMI, J. SCHMIDT, C. HOYER, C. SCHLEYER, S. LAKNER, 2017: Adding Some Green to the Greening: Improving the EU'sEcological Focus Areas for Biodiversity and Farmers. Conservation Letters **10,** 517-530.

POWLES, S.B., T.A. GAINES, 2012: Exploring the Potential for a Regulatory Change to Encourage Diversity in Herbicide Use. Weed Science Special Issue, 649-654.

SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen), 1985: Umweltprobleme der Landwirtschaft. Stuttgart: Kohlhammer, 423 S. Bundestags-Drucksache, 10/3613.

STOKSTAD, E., 2019: Costly cancer lawsuits may spur search to replace world's most common weed killer. Science, doi:10.1126/science.aay1314.

WEGENER, J.K., L.-M. URSO, D. VON HÖRSTEN, T.-F. MINßEN, C.-C. GAUS, 2017: Developing new cropping systems – which innovative techniques are required? Landtechnik **72,** 91–100.

WESTWOOD, J.H., R. CHARUDATTAN, S.O. DUKE, S.A. FENNIMORE, P. MARRONE, D.C. SLAUGHTER, C. SWANTON, R. ZOLLINGER, 2019: Weed Management in 2050: Perspectives on the Future of Weed Science. Weed Science **68,** 275-285.

Sektion 1: Ökonomie
Session 1: Economics

Fruchtfolgewirkungen auf den Herbizideinsatz in Winterweizen und Winterraps in Mecklenburg-Vorpommern

On-farm herbicide use in winter wheat and winter oilseed rape in Mecklenburg-Vorpommern as influenced by crop rotation

Andrea Ziesemer[1], Sabine Andert[2*]

[1]Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft, Dorfplatz 1, 18276 Gülzow-Prüzen
[2]Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur Phytomedizin, Universität Rostock, 18051 Rostock
*Korrespondierende Autorin, sabine.andert@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.003

Zusammenfassung

Aus einem umfangreichen Datensatz landwirtschaftlicher Praxis-Daten wurden feldspezifische Fruchtsequenzen über einen Zeitraum von neun Jahren ausgewertet. Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, den kombinierten Einfluss der Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung auf den Herbizid-Einsatz landwirtschaftlicher Betriebe in Mecklenburg-Vorpommern zu prüfen. Weiterhin wird der Zusammenhang zwischen Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Herbizidkosten und dem Ertrag untersucht. Dazu werden dreifeldrige Fruchtsequenzen bezüglich ihrer Anfälligkeit gegenüber Unkräutern in Risikoklassen eingestuft und damit die indirekten Risiken der Vorfrüchte betrachtet.

Winterweizen und Winterraps werden in Mecklenburg-Vorpommern überwiegend in Fruchtsequenzen mit hohem Risiko gegenüber dem Auftreten von Unkräutern und Ungräsern angebaut. Es zeigt sich, je diverser die Fruchtsequenzgestaltung, bei gleichzeitiger Intensivierung der Bodenbearbeitung, desto geringer ist die Intensität der eingesetzten Herbizide sowie der monetäre Aufwand für die Unkrautbekämpfung in beiden Kulturen. In Fruchtsequenzen mit hohem Anteil an Sommerkulturen und unter wendender Bodenbearbeitung wurde signifikant mehr Weizen geerntet.

Fruchtfolge und Bodenbearbeitung sind bedeutende Maßnahmen im integrierten Unkrautmanagement. Die Umsetzung in der Praxis erfordert Unterstützung der Landwirte durch Forschung, Beratungsdienste und Politik.

Stichwörter: Betriebsdaten, Bodenbearbeitung, Pflanzenschutzmittel-Intensität, Risiko

Abstract

Nine-year data on chemical plant protection measures and field management were examined in winter wheat and winter oilseed rape. We investigated the contribution of crop rotation to the variability of herbicide use of farms in the north German region Mecklenburg-Vorpommern. Our study aimed at answering the question: do diverse crop sequences and intensive tillage practices lead to reduced herbicide use and herbicide costs in arable farming. Furthermore, we analyzed the field-specific relation between crop rotation and yield. We classified crop sequences (triplets of three succeeding crops) according to their susceptibility for weeds (= 'riskiness').

The crop sequences in our analysis were mostly classified as highly risky for weed infestations in winter wheat and winter oilseed rape. Herbicide use intensities and costs were smaller in more diverse crop sequences. Crop sequences including a high proportion of summer crops decreased herbicide use in winter wheat and winter oilseed rape. Moreover, our results prove that the crop diversification together with ploughing is an effective management measure, which leads to higher yields in winter wheat.

Crop rotation and tillage practices are important methods to control weeds in integrated weed management. More efforts on an advisory, scientific and political level are necessary to inform farmers in more detail about the advantages of crop diversity.

Keywords: On-farm data, pesticide use intensity, tillage, riskiness

Einleitung

Die Fruchtfolge ist ein wichtiger Bestandteil des integrierten Agrarmanagements. Abwechslungsreiche Fruchtfolgen beeinflussen die Leistungsfähigkeit landwirtschaftlicher Anbausysteme positiv und sind entscheidender Baustein für nachhaltige Agrarsysteme (BOCKSTALLER et al., 1997; BALL et al., 2005; LETEINTURIER et al., 2006, SILVA et al., 2017). Ihre Vorteile liegen in der Aufrechterhaltung der organischen Substanz und der Struktur des Bodens sowie in der Verringerung der Bodenerosion. Eine der wichtigsten Wirkungen der Fruchtfolge ist die Reduzierung der Unkräuter und Ungräser durch die Unterbrechung von Populationszyklen (BUHLER, 2002, CHIKOWO et al., 2009, MELANDER et al., 2013).

Die Verfügbarkeit mineralischer Dünger und das Portfolio der Herbizide erlauben gegenwärtig jedoch historisch kurze Fruchtfolgen bei gleichzeitig oft geringer Intensität der Bodenbearbeitung. In Mecklenburg-Vorpommern hat sich das Anbauverhältnis der Kulturarten in den zurückliegenden 30 Jahren stark verändert (STATISTISCHES AMT MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2018). Wirtschaftlich bedeutende Fruchtarten dominieren das Landschaftsbild. Vorrangig werden Winterweizen-, raps und Mais angebaut.

Mit der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik 2014 (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2011) und der Biodiversitätsstrategie 2020 (SCIENCE FOR ENVIRONMENT POLICY, 2015) wurden bereits politische Anstrengungen unternommen, um dem Rückgang von Ökosystemdienstleistungen in intensiven landwirtschaftlichen Anbausystemen entgegenzuwirken (STEIN und STEINMANN, 2018). Ebenfalls sind die Landwirte in Europa verbindlich aufgefordert, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, durch die Einbeziehung der Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes, zu verringern (Richtlinie der Europäischen Union (2009/128/EG) zur Nachhaltigen Verwendung von Pestiziden). ANDERT et al. (2016) belegten bereits den starken kombinierten Einfluss von Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung auf den Herbizideinsatz. Die Autoren entwickelten einen Klassifizierungsschlüssel, der es erlaubt, das direkte Risiko von Vorfrucht und Vor-Vorfrucht zu analysieren.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, (i) den kombinierten Einfluss der Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung auf den Herbizid-Einsatz landwirtschaftlicher Betriebe mittels der Klassifizierung von ANDERT et al. (2016) in Mecklenburg-Vorpommern zu prüfen. Weiterhin wird (ii) der Zusammenhang zwischen Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Herbizidkosten und dem Ertrag untersucht.

Material und Methoden

Datengrundlage

Im Rahmen der Auswertungen der Referenzbetriebe der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern wird ein umfangreicher Datensatz landwirtschaftlicher Praxis-Daten ausgewertet. Für den vorliegenden Beitrag werden feldspezifische Fruchtfolgen über einen Zeitraum von neun Jahren (2010-2018) rekonstruiert. Untersucht werden für diesen Beitrag die agronomischen und ökonomischen Kennzahlen hinsichtlich der kombinierten Wirkung von Fruchtfolge und Bodenbearbeitung auf den Einsatz von Herbiziden in Winterweizen und Winterraps.

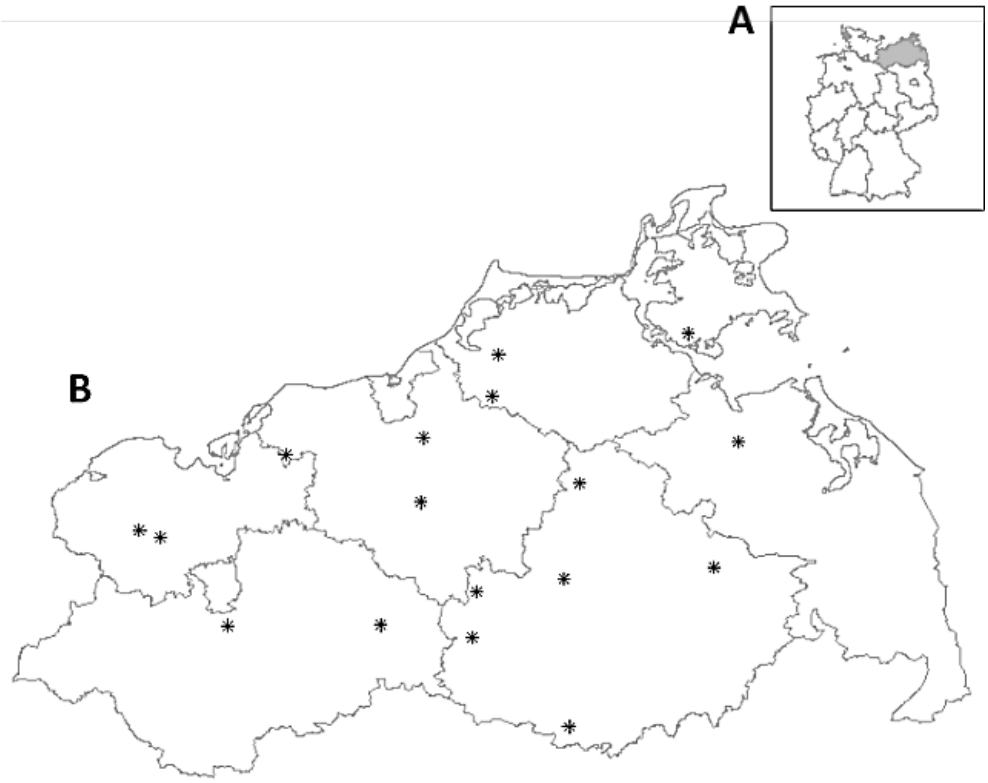


Abb. 1 Geografische Lage Mecklenburg-Vorpommerns (A) und Standorte der landwirtschaftlichen Betriebe in Mecklenburg-Vorpommern (B).

Fig. 1 Locations of farms in Mecklenburg-Vorpommern.

Datenanalyse

Die Analyse beinhaltet (i) die Erstellung von kulturspezifischen Klassifizierungsschlüsseln bezüglich der Anfälligkeit gegenüber Unkräutern und Ungräsern, (ii) die Zuordnung von Risikoklassen zu dreifeldrigen Fruchtsequenzen aus Schlagdateien der Landwirte und (iii) die Analyse des Zusammenhanges zwischen Risikoklasse, Bodenbearbeitung und dem Herbizideinsatz.

(i) Es werden dreifeldrige Fruchtsequenzen bezüglich ihrer Anfälligkeit gegenüber Unkräutern in fünf Risikoklassen eingestuft (sehr hoch, hoch, mittel, gering, sehr gering) und die indirekten Risiken der Vorfrüchte betrachtet (Tab 1). Für Unkräuter richtet sich das Risiko danach, wie häufig Feldfrüchte aufeinander folgen, bei denen der Zeitpunkt der letzten Bodenbearbeitung gleich war. (ii) Die vorliegende Analyse beinhaltet 2258 Fruchtsequenzen.

Tab. 1 Klassifizierung der Risikoklassen bezüglich des Auftretens von Unkräutern in Abhängigkeit der Vorfrucht und Vor-Vorfrucht. Ma (Mais), WG (Wintergetreide), SG (Sommergetreide), HF (Hackfrüchte), WRa (Winterraps).

***Tab. 1** Riskiness classes for weeds in a certain crop, according to its combination with the two preceding crops (pre-crop and pre-precrop). Ma (maize), WG (winter cereals), SG (spring cereals), HF (roots and tubers), WRa (winter oilseed rape).*

Winterweizen			**Winterraps**		
Vorfrucht	**Vor-Vorfrucht**	**Risikoklasse**	**Vorfrucht**	**Vor-Vorfrucht**	**Risikoklasse**
WG	WG	sehr hoch	WG	WRa	sehr hoch
WRa	WG	hoch	WG	WG	hoch
WRa	HF/Ma/SG	mittel	WG	HF/Ma/SG	mittel
HF/Ma/SG	WG/WRa	gering	HF/Ma/SG	WRa	gering
HF/Ma/SG	HF/Ma/SG	sehr gering	HF/Ma/SG	HF/Ma/SG	sehr gering

(iii) Zur Darstellung und zum Vergleich der Herbizid-Intensitäten in den Fruchtsequenzen wird der Indikator Behandlungsindex (BI) verwendet (ROßBERG et al., 2002). Die Kosten der Herbizidanwendungen (€/ha), der Ertrag (dt/ha) und die herbizidkostenfreien Leistung (€/ha) beschreiben die Effizienz der Fruchtfolgewirkungen. Für die Ermittlung der Herbizidkosten wurde die betriebliche Aufwandmenge mit Standardpreisen berechnet (ATR, CERAVIS AG, 2019). Die herbizidkostenfreie Leistung ergibt sich aus der Marktleistung (Ertrag x Erzeugerpreis) abzüglich Herbizidkosten. Hierzu wurde der Ertrag mit einem Standardpreis für Winterraps sowie Qualitätsweizen multipliziert (MIO, 2019).

Statistische Auswertungen

Die Auswertungen zum Zusammenhang zwischen der Intensität der Risikoklasse, der Bodenbearbeitung und dem Einsatz von Herbiziden wurden mittels multipler Regressionen durchgeführt. Die Modelle lauten:

$$BI_{Herbizide\mathbf{fj}} = \mu + RK_{\mathbf{fj}} + BB_{\mathbf{fj}} + RK_{\mathbf{fj}} \times BB_{\mathbf{fj}} + az_f + k_{\mathbf{j}} + l_r + \varepsilon_{\mathbf{jkl}} \quad (1)$$

μ ist der Erwartungswert. (i) $BI_{Herbizid\mathbf{fj}}$ ist die Herbizidintensität eines Feldes (f) im Jahr (j). RK_{fj} beschreibt den fixen Effekt der Risikoklasse eines Feldes (f) im Jahr (j), BB_{fj} ist der fixe Effekt der Bodenbearbeitung eines Feldes (f) im Jahr (j). Der Term $RK_{fj} \times BB_{fj}$ beschreibt die Interaktion zwischen der Risikoklasse und Bodenbearbeitung. az_f ist der zufällige Effekt der Bodengüte des Feldes f. 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.

Es wurden separate Modelle erstellt für die Herbizidkosten (€/ha), den Ertrag (dt/ha) und die herbizidkostenfreie Leistung (€/ha) mit den abhängigen Variablen $Kosten_{Herbizide\mathbf{fj}}$, $Ertrag_{\mathbf{fj}}$, $herbizidkostenfreie\ Leistung_{\mathbf{fj}}$.

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit der Softwareumgebung R (R Core Team, 2014) und den Paketen 'car' (FOX und WEIßBERG, 2011), 'reshape' (WICKHAM, 2007) und 'lme4' (BATES et al., 2015).

Ergebnisse

Häufigkeit der Fruchtsequenzen je Risikoklasse

Winterweizen und Winterraps werden in den Referenzbetrieben Mecklenburg-Vorpommerns überwiegend in Fruchtsequenzen mit hohem Risiko gegenüber dem Auftreten von Unkräutern und Ungräsern angebaut (Abb. 2). Für Winterweizen gilt (Abb. 2a), dass in allen Risikoklassen der Anteil nicht-wendender Bodenbearbeitung überwiegt. In der Risikoklasse „hoch" werden in Winterraps hingegen 50% der Fruchtsequenzen wendend bearbeitet (Abb. 2a).

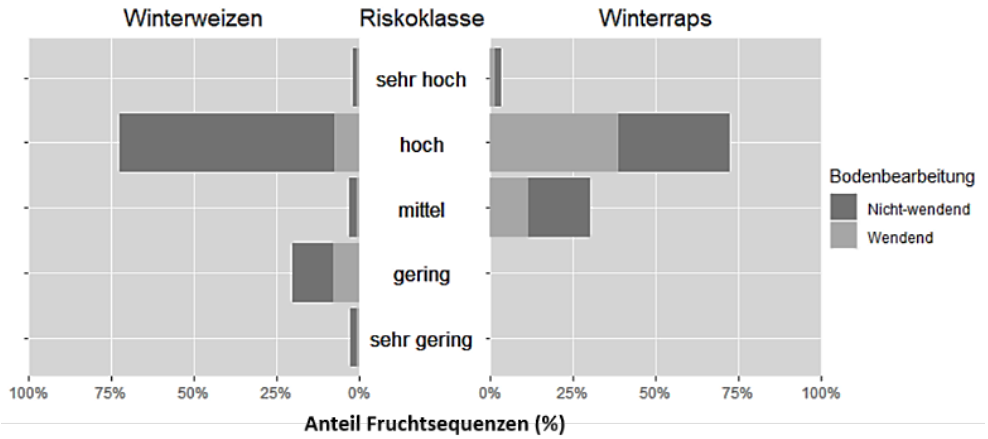


Abb. 2 Häufigkeit (n) der Felder pro Risikoklasse in Winterweizen und Winterraps.

Fig. 2 *Frequency (n) of fields per riskiness class in winter wheat and winter oilseed rape.*

Herbizidintensität, -kosten, der Ertrag und die Herbizidkosten-freie Leistung in den Fruchtsequenzen

Tabelle 2 und 3 stellen den kombinierten Effekt des Risikos der Fruchtsequenz und der Bodenbearbeitung auf die Herbizidintensität in Winterweizen und Winterraps dar. Die Ergebnisse belegen einen starken kombinierten Einfluss von Fruchtsequenzgestaltung und Bodenbearbeitung auf den Herbizideinsatz der Referenzbetriebe in Mecklenburg-Vorpommern. Je diverser die Fruchtsequenzgestaltung, bei gleichzeitiger Intensivierung der Bodenbearbeitung, desto geringer die Intensität der eingesetzten Herbizide in beiden Kulturen. Werden Winterweizen oder Winterraps in Fruchtsequenzen unter wendender Bodenbearbeitung angebaut, verringert sich die Herbizidintensität in jeder Risikoklasse im Vergleich zu der nicht wendenden Variante, mit Ausnahme der hohen und mittleren Risikoklasse in Winterweizen.

Fruchtartenübergreifend unterscheiden sich die Herbizidkosten zwischen diversifizierten Anbausystemen (Risikoklassen gering, sehr gering) und nicht diversifizierten Anbausystemen (Risikoklassen mittel, sehr hoch, hoch) um bis zu 25€/ha. Beim Winterraps zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen hoher Herbizidintensität und Herbizidkosten. Im Winterweizen ist dies nicht eindeutig feststellbar. Je diversifizierter der Anbau, desto niedriger ist der monetäre Aufwand für die Unkrautbekämpfung.

Der Ertrag unterscheidet sich signifikant zwischen den Risikoklassen sehr hoch bis hoch und den drei niedrigeren Risikoklassen in Winterweizen. Bei sehr geringem Risiko konnte unter wendender Bodenbearbeitung signifikant mehr Weizen geerntet werden. Tendenziell ist der Ertrag unter nicht-wendender Bodenbearbeitung in den Risikoklassen hoch und mittel in Winterweizen höher im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung. Für Winterraps gilt, zwischen Risikoklassen und Art der Bodenbearbeitung bestehen keine signifikanten Ertragsunterschiede. Lediglich bei mittlerem Risiko lag der Winterrapsertrag bei nicht wendender Bodenbearbeitung signifikant höher als bei wendender.

Der wirtschaftliche Erfolg der Varianten wird durch die Herbizidkostenfreie Leistung abgebildet. Es zeigt sich der große Einfluss des Ertrages auf das wirtschaftliche Ergebnis. Beim Winterweizen übersteigt in der Risikoklasse sehr hoch die Differenz in den Herbizidkosten den Erzeugerpreis pro Dezitonne, sodass die Herbizidkostenfreie Leistung der nichtwendenden Bodenbearbeitung über der wendenden liegt.

Tab. 2 Effekt der Fruchtsequenz und Art der Bodenbearbeitung, Behandlungsindex (BI) für Herbizide, Herbizidkosten (€/ha), Ertrag (dt/ha) und Herbizidkostenfreie Leistung (€/ha) in den Risikoklassen für Winterweizen. NW: Nicht-wendende Bodenbearbeitung, W: Wendende Bodenbearbeitung. Unterschiedliche Großbuchstaben (A und B) repräsentieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen der Art der Bodenbearbeitung. Unterschiedliche Kleinbuchstaben (a, b und c) repräsentieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Risikoklassen.

Tab. 2 *Effect of crop sequence riskiness and tillage on herbicide TFI, herbicide cost (€/ha) and yield (dt/ha) in winter wheat. Std. error added in brackets. Different letters (A and B) in a line represent significant differences ($p < 0.05$) between tillage systems. Different letters (a, b and c) in a column represent significant differences ($p < 0.05$) between the riskiness classes.*

		Herbizidintensität (BI)		Herbizidkosten (€/ha)		Ertrag (dt/ha)		Herbizidkostenfreie Leistung (€/ha)	
		NW	W	NW	W	NW	W	NW	W
Risikoklasse	sehr hoch	2.5 ^{cA}	2.2 ^{bA}	60 ^{bA}	61 ^{bA}	60 ^{bA}	61 ^{bA}	870	885
	hoch	2.2 ^{bB}	2.6 ^{bA}	70 ^{bA}	62 ^{bA}	65 ^{bA}	64 ^{bA}	938	930
	mittel	2.1 ^{bB}	2.7 ^{bA}	61 ^{baA}	65 ^{bA}	70 ^{aA}	68 ^{bA}	1.024	989
	gering	2.0 ^{bA}	1.8 ^{aA}	51 ^{aA}	44 ^{aA}	71 ^{aA}	73 ^{aA}	1.050	1.088
	sehr gering	1.7 ^{aA}	1.5 ^{aA}	51 ^{aA}	50 ^{aA}	73 ^{aB}	78 ^{aA}	1.081	1.159

Tab. 3 Effekt der Fruchtsequenz und Art der Bodenbearbeitung, Behandlungsindex (BI) für Herbizide, Herbizidkosten (€/ha), Ertrag (dt/ha) und Herbizidkostenfreie Leistung (€/ha) in den Risikoklassen für Winterraps. NW: Nicht-wendende Bodenbearbeitung, W: Wendende Bodenbearbeitung. Unterschiedliche Großbuchstaben (A und B) repräsentieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen der Art der Bodenbearbeitung. Unterschiedliche Kleinbuchstaben (a, b und c) repräsentieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Risikoklassen.

Tab. 3 *Effect of crop sequence riskiness and tillage on herbicide TFI, herbicide cost (€/ha) and yield (dt/ha) in winter oilseed rape. Std. error added in brackets. Different letters (A and B) in a line represent significant differences ($p < 0.05$) between tillage systems. Different letters (a, b and c) in a column represent significant differences ($p < 0.05$) between the riskiness classes.*

		Herbizidintensität (BI)		Herbizidkosten (€/ha)		Ertrag (dt/ha)		Herbizidkostenfreie Leistung (€/ha)	
		NW	W	NW	W	NW	W	NW	W
Risikoklasse	sehr hoch	3.2 ^{cA}	2.3 ^{aB}	114 ^{bA}	102 ^{bB}	31 ^{aA}	31 ^{aA}	1.005	1.017
	hoch	2.8 ^{bA}	2.2 ^{aB}	109 ^{bA}	86 ^{aB}	37 ^{aA}	36 ^{aA}	1.227	1.214
	mittel	2.7 ^{bA}	2.1 ^{aB}	99 ^{aA}	89 ^{aA}	37 ^{aB}	36 ^{aA}	1.237	1.211
	gering	-	-	-	-	-	-	-	-
	sehr gering	2.0 ^{a}	-	90 ^{a}	-	38 ^{a}	-	1.282	-

Diskussion

Fruchtfolge und Bodenbearbeitung sind bedeutende Maßnahmen in der integrierten Pflanzenproduktion. Die vorliegenden Ergebnisse belegen den Einfluss der diversifizierten Fruchtsequenz auf den Herbizideinsatz. Durch den Anbau morphologisch unterschiedlicher Fruchtarten werden Unkräuter und Ungräser vorbeugend bekämpft und der Einsatz herbizider Pflanzenschutzmittel und deren Kosten reduziert. Die Daten aus landwirtschaftlichen Praxisbetrieben belegen deutlich die höhere Pflanzenschutzintensität mit der Zunahme von Fruchtsequenzen mit hohem Risiko gegenüber dem Auftreten von Unkräutern und Ungräsern.

Höherer Herbizideinsatz und höhere Herbizidkosten unter wendender Bodenbearbeitung in Winterweizen geben einen Hinweis darauf, dass Flächen, die mit Problemunkräutern- und gräsern befallen sind, einen höheren Managementinput erfordern. Dringliche Aufgabe aller Beratungsinstitutionen ist es, die Folgen einer Populationsvergrößerung schwer zu bekämpfender Unkräuter und Ungräser in der Praxis aufzuzeigen.

Die Erträge unterscheiden sich in der vorliegenden Studie zwischen den untersuchten Risikoklassen in Winterweizen und Winterraps. Fruchtsequenzen, die ein geringeres Risiko gegenüber dem Auftreten von Unkräutern und Ungräsern aufweisen, sind mit signifikant höheren Erträgen verbunden. Dies gilt unabhängig von der Art der Bodenbearbeitung. Innerhalb einer Risikoklasse wurden jedoch keine Unterschiede zwischen den untersuchten Bodenbearbeitungsregimen identifiziert. Es gilt zukünftig zu prüfen, wie die Art der Bodenbearbeitung, der Herbizideinsatz und der resultierende Ertrag miteinander verbunden sind.

Höhere Erträge führen trotz höherer Herbizidkosten zu einem besseren Abschneiden der Varianten.

Die weitere Implementierung diverser Fruchtfolgen in die Anbausystemgestaltung landwirtschaftlicher Praxisbetriebe erfordert Unterstützung der Landwirte durch Forschung, Beratungsdienste und Politik (MELANDER et al., 2013). Das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen einzelnen Kulturen und Bewirtschaftungskomponenten ist unerlässlich, um Akzeptanz agroökologischer Zusammenhänge und deren Komplexität zu schaffen (LETEINTURIER et al., 2006). Die politischen Rahmenrichtlinien der Biodiversitätsstrategie 2020 und der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik können dazu beitragen den Pflanzenschutzmitteleinsatz nachhaltig zu reduzieren. Neben den politischen Reformen sollten allerdings weitere Anstrengungen unternommen werden, um die weitere Diversifizierung in der landwirtschaftlichen Praxis zu fördern. Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind geeignete Maßnahmen, um monetäre Einsparpotenziale aufzuzeigen (ZIESEMER, 2019).

Literatur

ANDERT, S., J. BÜRGER, S. STEIN, 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.

ATR LANDHANDEL, CERAVIS AG, 2019: Pflanzenschutz-Preislisten, Herbst 2018 und Frühjahr 2019.

BATES, D., M. MAECHLER, B. BOLKER, S. WALKER, 2015: Fitting linear mixed-Effectsmodels using lme4. Journal of Statistical Software **67**, 1–48.

BALL, B.C., I. BINGHAM, R.M. RESS, C.A. WATOSN, A. LITTERICK, 2005: The role of crop rotations in determining soil structure and crop growth conditions. Canadian Journal of Soil Science **85**, 557–577.

BOCKSTALLER, C., P. GIRARDIN, 1996: The crop sequence indicator: a tool to evaluate crop rotations in relation to the requirements of Integrated Arable Farming Systems. Aspects of Applied Biology **47**, 405–408.

BUHLER, D.D., 1995: Influence of tillage systems on weed population dynamics andmanagement in corn and soybean in the central USA. Crop Science **35**, 1247–1258.

CHIKOWO, R., V. FALOYA, S. PETIT, N.M. MUNIER-JOLAIN, 2009: Integrated weedmanagement systems allow reduced reliance on herbicides and long-termweed control. Agriculture, Ecosystems & Environment **132**, 237–242.

EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2011: Our Life Insurance, Our Natural Capital: an EU Biodiversity Strategy 2020. (COM/2011/0244).

FOX, J., S. WEISBERG, 2011: An R Companion to Applied Regression, SecondEdition. Sage, Thousand Oaks CA.

LETEINTURIER, B., J.L. HERMAN, F. DE LONGUEVILLE, L. QUINTIN, R. OGER, 2006: Adaptation of a crop sequence indicator based on a land parcel management system. Agriculture, Ecosystems and Environment **112**, 324-334.

MELANDER, B., N. MUNIER-JOLAIN, R. CHARLES, J. WIRTH, J. SCHWARZ, R. VAN DER WEIDE, L. BONIN, P.K. JENSEN, P. KUDSK, 2013: European perspectives on the adoptionof nonchemical weed management in reduced-Tillage systems for arablecrops. Weed Technology **27**, 231–240.

MIO, 2019: Marktinformartion Ost, Erzeugerpreise für Körnerfrüchte, 33. Kalenderwoche 2019.

SCIENCE FOR ENVIRONMENT POLICY, 2015: Ecosystem Services and the Environment. In-depth Report 11 Produced for the European Commission, DG Environment by the Science Communication Unit. UWE, Bristol.

SILVA, V.S., P. REIDSMA, M.K. VAN ITTERSUM, 2017: Yield gaps in Dutch arable farming systems: Analysis at crop and crop rotation level. Agricultural Systems **158**, 78-98.

STATISTISCHES AMT MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2018: Statistisches Jahrbuch Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin.478 S.

STEIN, S., H.H. STEINMANN, 2018: Identifying crop rotation practice by the typification of crop sequence patterns for arable farming systems – A case study from Central Europe. European Journal of Agronomy **92**, 30-40.

WICKHAM, H., 2007: Reshaping Data with the reshape Package. Journal of Statistiscal Software **21**, 1-20.

ZIESEMER, A., 2019: Untersuchungen zu acker- und pflanzenbaulichen Wirkungen und zur Wirtschaftlichkeit von Fruchtfolgen in Marktfruchtbaubetrieben Mecklenburg-Vorpommerns. Jahresbericht 2018 der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei.

Ökonomische Bewertung der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung

Economic valuation of site-specific herbicide applications

Sandra Rajmis*, Isabella Karpinski

Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow
*Korrespondierende Autorin, sandra.rajmis@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.004

Zusammenfassung

Verglichen mit der schlageinheitlichen Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln kann die teilflächenspezifische Applikation im Precision Farming dazu beitragen, Pflanzenschutzmittel zu reduzieren und eine umweltschonendere Agrarproduktion zu ermöglichen. Erstmalig werden im Rahmen des BMEL-Förderprogramms „Innovative Vorhaben für einen nachhaltigen Pflanzenschutz" in dem Verbundvorhaben „AssSys" teilflächenspezifische Pflanzenschutzmaßnahmen mit Hilfe eines Mehrkammersystems mit Direkteinspeisung systematisch untersucht und ökonomisch bewertet. Ziel des Projektes ist die präzise Unterstützung des Landwirtes bei der Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen und eine potentielle Reduktion der Kosten von Pflanzenschutzmaßnahmen mit Hilfe eines zu entwickelnden Assistenzsystems. Das ökonomische Teilprojekt unterstützt dabei die Entwicklung eines Pflanzenschutzkosten-Webservices (PS-Kosten-Webservice) und eines Benchmarking-Webservices, die eine wichtige Grundlage für das Assistenzsystem bilden. Ziel des ökonomischen Teilprojektes ist die Gesamtbewertung des Mehrkammer- und des Assistenzsystems. Mit Hilfe des PS-Kosten-Webservices kann z. B. vor der geplanten Behandlung abschätzt werden, wie hoch potentielle Pflanzenschutzmittelkosten, Arbeitserledigungskosten der Pflanzenschutzmaßnahme oder Boniturkosten einer teilflächenspezifischen oder schlageinheitlichen Behandlung sind. Der Benchmarking-Webservice dient dem betriebsinternen Vergleich zur Selbsteinschätzung des Landwirtes oder zur Optimierung der eigenen Pflanzenschutzmaßnahmen durch einen Vergleich mit anderen Betrieben. Als Berechnungsgrundlage für das vorliegende Papier dienen Feldversuche des Jahres 2018. Ergänzend werden Applikations-Szenarien vorgestellt, die sich auf einen Modellbetrieb beziehen.

Stichwörter: Assistenzsystem, Benchmarking, nachhaltiger Pflanzenschutz, ökonomische Bewertung, Precision Farming, teilflächenspezifische Applikation

Abstract

Compared to conventional applications, site-specific applications of plant protection products can reduce the amount of pesticides and contribute to sustainable agriculture. Within the project "AssSys", financed by the Federal Ministry of Food and Agriculture as part of the financial program "innovations for sustainable agriculture", site-specific applications of plant protection products with a multi chamber system and direct injection are systematically investigated and economically evaluated. The project aims to support farmers to implement (site-specific) plant protection measures and potentially reduce their costs using a farm management system being developed during the project period. The economic part of the project contributes to the plant protection cost webservice and benchmarking webservice, which are an important basis for the application assistant. The goal of the economic subproject is the economic valuation of the multi chamber system and application assistant. The webservices support farmers to estimate the cost of plant protection products, working or monitoring costs for the site-specific areas in the planning stage. The benchmarking webservice serves for comparison within the farm or for optimization of plant protection measures through comparison with other farms. Calculations presented in this paper are based on field experiments from 2018. Application scenarios referring to a model farm serve as additional information source.

Keywords: Application assistant, Benchmarking, economic valuation, Precision Farming, site-specific application, sustainable plant protection

Einleitung

In welchem Umfang der Einsatz von Precision Farming-Verfahren (PF) zu einer Reduktion von Pflanzenschutzmitteln (PSM) führt, hängt von vielen Faktoren ab, u.a. von der feldinternen Heterogenität von Unkräutern beziehungsweise Schaderregern, der Fruchtfolge und der Produktionsintensität (RÖSCH et al., 2007). Landwirte in Deutschland setzen derzeit PF-Verfahren hauptsächlich zur Flächenvermessung, Bodenbeprobung und Ertragskartierung ein (HINCK et al.,

2016). Die Zahl der Landwirte und Lohnunternehmer, die ihre PSM mit PF-Verfahren ausbringen, nimmt langsam zu (RUHLAND, 2007). RÖSCH und DUSSELDORP (2007) ermittelten bei der Unkrautbekämpfung mit Offlineverfahren eine Reduktion der applizierten Herbizidmenge um durchschnittlich rund 50 Prozent, in Einzelfällen bis knapp 90 Prozent. Befürchtungen, dass eine Reduktion der Aufwandmenge von Herbiziden durch eine teilflächenspezifische Applikation zu erhöhtem Unkrautdruck mit daraus resultierenden erhöhten PSM-Aufwendungen in den Folgejahren führt, können bisher nicht bestätigt werden (NORDMEYER et al., 2003). LETTNER et al. (2001) haben durch die teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung eine Herbizid-Reduktion um 30 bis 70 Prozent gegenüber einer Ganzflächenapplikation erzielt. GERHARDS (1997) hat eine Reduktion des Herbizideinsatzes von 40 bis 50 % ermittelt, TIMMERMANN et al. (2003) erzielten Einsparungen von Herbiziden zwischen 50 bis 70 %. BARROSO et al. (2003) kamen zu dem Ergebnis, dass eine teilflächenspezifische Behandlung nur sinnvoll war, wenn mehr als ein Drittel des Schlages nicht behandelt wurde. Die notwendige Mindesteinsatzfläche der teilflächenspezifischen Applikation, um keinen finanziellen Nachteil gegenüber einer konventionellen Ganzflächenapplikation zu erleiden, ist abhängig von der erreichten Herbizideinsparung, den zusätzlichen Arbeitskosten und dem Wert der bisher aufgewendeten Herbizide (LETTNER et al., 2001). Forschung und Entwicklung konzentrieren sich auf Online-Verfahren zur Unkrauterkennung mittels optoelektronischer Sensoren in Verbindung mit Bildanalysetechniken (RÖSCH und DUSSELDORP, 2007; NORDMEYER, 2007). Es sind Verfahren in der Entwicklung, die zwischen Kulturpflanzen und Unkräutern beziehungsweise zwischen verschiedenen Unkrautarten unterscheiden können (bisher nur Anwendungen in Fahrgassen ohne Kulturpflanzen und vor Auflaufen der Kulturpflanzen). Die Differenzierung von Pflanzenarten über Farbmerkmale gestaltet sich bei der digitalen Bildanalyse deshalb schwierig, da Unterschiede im Spektralverhalten von verschiedenen Pflanzen schwach ausgeprägt sind (STAFFORD und BENNLOCH, 1997). Durch PF-Verfahren zur spezifischen Unkrauterkennung mit Bildanalyseverfahren (über Kameras) konnten zwischen 20 und 90 Prozent der Herbizidapplikationsmenge eingespart werden (NORDMEYER, 2007).

Bisher haben sich in erster Linie Ackerschlagdateien als Unterstützung für Landwirte in der Praxis etabliert. Mit deren Hilfe werden z. B. eingesetzte Saatgutmengen, PSM, Düngemittel und deren Kosten in einem betreffenden Jahr für eine bestimmte Kultur erfasst. Erst kürzlich wurde ein Assistenzsystem entwickelt, mit dem Abstandsauflagen zu Gewässern und schützenswerten Saumstrukturen automatisch bei der Applikation berücksichtigt werden (RAJMIS et al., 2016). Als technische Voraussetzung für die meisten Assistenzsysteme werden ein GPS-Traktor und eine RTK-Station benötigt. Der Landwirt muss einmalig sein Feld vermessen, um den Schlag zu digitalisieren und in das System zu überführen. Zur Anwendung von Assistenzsystemen wird grundsätzlich eine Systemumgebung benötigt, die eine Vielzahl von satelliten-, sensor- und geodatengestützten Informationen über standardisierte Schnittstellen integrieren kann (SCHEIBER et al., 2015).

Die neuste Entwicklung im PF-Verfahren ist ein Mehrkammersystem mit Direkteinspeisung (SÖKEFELD und GERHARDS, 2004; OEBEL, 2006; KREBS et al., 2016; POHL et al., 2016). Erstmalig werden in dem Verbundvorhaben „AssSys" teilflächenspezifische Pflanzenschutzmaßnahmen mit Hilfe eines Mehrkammersystems mit Direkteinspeisung systematisch untersucht und ökonomisch bewertet und die Methode des Benchmarkings auf das Assistenzsystem übertragen. Im europäischen Umfeld wird Benchmarking anhand von Kennzahlen im Agrarsektor erst seit wenigen Jahren eingesetzt (ISERMEYER, 2012; PAUSTIAN et al., 2015). Ein Beispiel ist das „Agribenchmark"-Netzwerk des Thünen-Instituts. Es wurde als Teil eines globalen Benchmarkings für den Agrarsektor ins Leben gerufen (ISERMEYER, 2012) und dient dem Vergleich von Betrieben untereinander mittels wichtiger ökonomischer Kennzahlen wie beispielsweise Pflanzenschutzkosten (Abb. 1). Benchmarking wurde bisher unter anderem im Zuckerrübenanbau in Großbritannien eingesetzt, um die Anzahl von Fungizidbehandlungen der Landwirte untereinander zu vergleichen (BRITISH BEET RESEARCH ORGANISATION, 2018). Bisher wurde ein Kennzahlenvergleich zur ökonomischen Bewertung einer teilflächenspezifischen Unkrautbehandlung noch nicht eingesetzt (SCHWARZ et al., 1998; SCHWARZ und WARTENBERG, 1999; LETTNER et al., 2001; BARROSO et al., 2003; TIMMERMANN et al., 2003; KILIAN, 2004;

OEBEL, 2006; GERHARDS et al., 2007; TAKACS-GYORGY und TAKACS, 2009). Ein aktueller Trend in der teilflächenspezifischen Unkrauterkennung setzt sich mit dem Einsatz von Drohnen auseinander (ROHLEDER und KRÜSKEN, 2016; GERHARDT et al., 2017; DRÜCKER, 2018).

Material und Methoden

Benchmarking bezeichnet eine Managementmethode, mit der sich durch zielgerichtete Vergleiche unter mehreren Unternehmen, Prozessen oder Produkten das jeweils Beste als Referenz zur Leistungsoptimierung herausfinden lässt. Die Durchführung eines Benchmarkings beruht auf der Orientierung an den Besten einer vergleichbaren Gruppe. Durch Vergleich werden bessere Methoden und Praktiken (Best oder Successful Practices) identifiziert; diese gilt es zu verstehen, auf die eigene Situation anzupassen und z. B. in nachfolgende Maßnahmen zu integrieren. Die Kenntnis von „Best Practices" führt oftmals zu Leistungssteigerungen und effizienteren Prozessen. Dabei werden Kennzahlen zum Vergleich eingesetzt (DEUTSCHES BENCHMARKING ZENTRUM (DBZ), 2018; INFORMATIONSZENTRUM BENCHMARKING AM FRAUNHOFER IPK(izB), 2018). Im Ablauf des Benchmarkings hat sich das 5-Stufen-Modell etabliert (Abb. 1). Ergebnisse des Benchmarkings können z. B. Kostensenkungen in bestimmten Unternehmensbereichen, Qualitätssteigerungen für bestimmte Produkte oder eine Steigerung der gesamten Unternehmenswettbewerbsfähigkeit sein (DBZ, 2018; IZB, 2018).



Abb. 1 Ablauf eines Benchmarking-Prozesses (verändert nach DBZ 2018, izb 2018).

Fig. 1 *Procedure of a benchmarking process (changed after DBZ 2018, izb 2018).*

Der Benchmarking-Webservice im Projekt „AssSys" wurde zur Selbsteinschätzung des Landwirtes durch einen internen Vergleich des eigenen Betriebes und für einen externen Vergleich mit anderen Betrieben zur Optimierung der eigenen Pflanzenschutzmaßnahmen entwickelt. Als Basis hierfür dient das neu entwickelte „AssSys"-Kennzahlenkonzept, das ökonomische Kennzahlen für das interne und externe Benchmarking sowie die ökonomische Gesamtbewertung des Assistenzsystems bereitstellt (Abb. 2). Als wichtigste Kennzahlen für den Benchmarking-Prozess in „AssSys" wurden Erlöse, Pflanzenschutzkosten und die Pflanzenschutzkostenfreie Leistung (PSKfL) identifiziert (Abb. 2). Erlöse sollen im Assistenzsystem über die erzielten Erträge (aus der

Ertragskartierung) und Erzeugerpreise im Rahmen des PS-Kosten-Webservices bereitgestellt werden. Durch die betriebsinterne und externe Analyse können z. B. Kosten von Pflanzenschutzmaßnahmen einer bestimmten Kultur in verschiedenen bzw. identischen Anbaujahren miteinander vergleichen werden (Abb. 2). Die PSKfL errechnet sich aus den Erlösen abzüglich der angefallenen Pflanzenschutzkosten, welche nicht nur die Kosten der Mittel, sondern auch die Arbeitskosten mit Ausbringung und Unkraut-Bonituren sowie die Maschinenkosten der An- und Überfahrten beinhalten. Da im Rahmen der Feldversuche in „AssSys" Unkräuter im Mittelpunkt der Betrachtung stehen, konzentriert sich die ökonomische Bewertung und das Benchmarking somit auf Herbizide. Als weitere für das Benchmarking in „AssSys" relevante Kennzahlen wurden Intensitäten, Produktivitäten und der Break-Even-Point (BEP) in das Kennzahlenkonzept integriert.

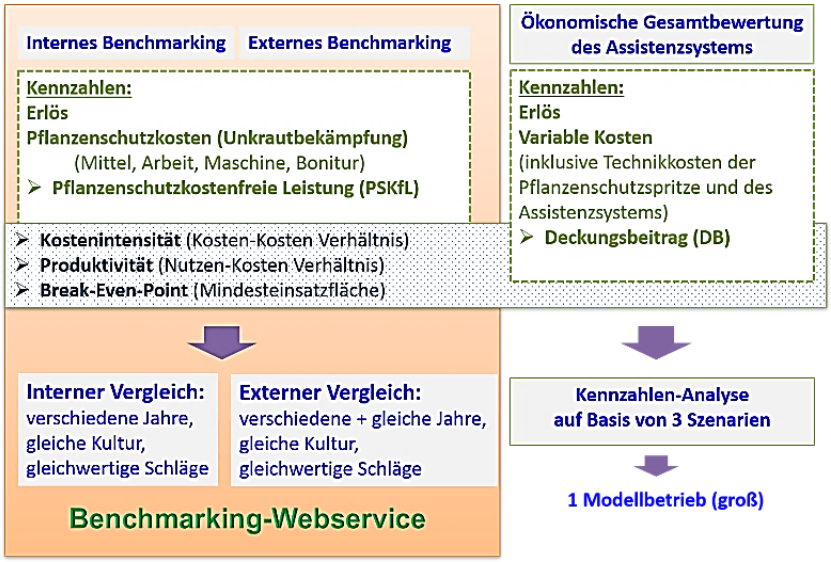


Abb. 2 Entwicklung und Anwendung des Kennzahlenkonzeptes im Projekt „AssSys".

Fig. 2 *Development and application of the concept of economic index numbers in "AssSys".*

Hierbei hat der Landwirt die Option, nochmals verschiedene Kennzahlen ins Verhältnis setzen, die bereits im Assistenzsystem erfasst wurden. *Intensitäten* zeigen dem Landwirt ein Kosten-Faktor-Verhältnis an, also z. B. die Arbeitsintensität mit den angefallenen oder geschätzten Herbizidkosten pro Wirtschaftsjahr im Verhältnis zu den angefallenen oder geschätzten Arbeitskraftstunden im Pflanzenschutz pro Wirtschaftsjahr. Eine im Vergleich zur letzten Behandlung höhere Arbeitsintensität zeigt z. B. entsprechend eine weniger optimal geplante oder durchgeführte Pflanzenschutzmaßnahme an. D.h. je mehr Arbeitsstunden in der Pflanzenschutzmaßnahme enthalten sind, desto arbeitsintensiver ist diese. Eine geringe Anzahl von Arbeitsstunden oder niedrigere Herbizidkosten wirken sich positiv auf die Arbeitsintensität aus. Als weitere wichtige Kennzahl im Benchmarking dient die *Produktivität*, welche ein Nutzen-Faktor-Verhältnis anzeigt, also z. B. die Arbeitsproduktivität mit der angefallenen oder geschätzten PSKfL im Verhältnis zu den angefallenen oder geschätzten Arbeitskraftstunden im Pflanzenschutz pro Wirtschaftsjahr. Je weniger Arbeitsstunden für eine Pflanzenschutzmaßnahme benötigt werden, desto arbeitsproduktiver, also optimaler ist die Pflanzenschutzmaßnahme. Weniger Arbeitsstunden oder höhere PSKfL beeinflussen die Arbeitsproduktivität positiv. So kann man beispielsweise nur die Produktivität der Weizenerzeugung betrachten und ökonomisch miteinander vergleichen. Hierbei wird der erzielte Ertrag ins Verhältnis zu den angefallenen Herbizidkosten gesetzt. Je weniger Herbizidkosten ins Verhältnis zum Ertrag gesetzt werden, desto höher ist die Produktivität der

Weizenerzeugung. Ist die Kennzahl höher als im letzten Anbaujahr, hat der Landwirt seine Maßnahme optimiert.

Des Weiteren wird der Break-Even-Point als Kennzahl in den „AssSys" Benchmarking-Webservice integriert. Dieser gibt denjenigen Punkt an, an dem der Wert der eingesparten Pflanzenschutzmittel den zusätzlichen Arbeitskosten (z. B. für Bonituren) entspricht und erlaubt somit eine Aussage über die Mindesteinsatzfläche, die der Landwirt teilflächenspezifisch applizieren muss, damit sich die Behandlung unter den jeweils vorliegenden Bedingungen lohnt. Der BEP wird über den Quotienten der jährlichen Technikkosten (Pflanzenschutzspritze) und den Wert der PSM-Einsparung je Hektar abzüglich der Arbeitskosten je Hektar errechnet (LETTNER et al., 2001). Bei der Berechnung der Mindesteinsatzfläche wird im Rahmen der Sensitivitätsanalyse angenommen, dass mögliche Herbizideinsparungen zwischen 30 und 70 % gegenüber einer schlageinheitlichen Applikation liegen (LETTNER et al., 2001).

$$BEP = \frac{K\,T}{E\ -KA}$$

wobei K_T = Technikkosten pro Jahr;
K_A = Arbeitskosten pro ha;
E = Wert der PSM-Einsparung pro ha.

In Abbildung 2 sind die für den Benchmarking-Webservice relevanten Kennzahlen aufgeführt. Der Vergleich von ökonomischen Kennzahlen von Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgt beim internen Benchmarking über verschiedene Jahre, in der gleichen Kultur, auf einem vergleichbaren Schlag. Da beim externen Benchmarking ein Vergleich des eigenen Betriebes mit anderen am Benchmarking-Prozess teilnehmenden Betrieben stattfindet, können genau wie beim internen Benchmarking jeweils schlageinheitliche mit teilflächenspezifischen Pflanzenschutzmaßnahmen miteinander verglichen werden. Beim externen Benchmarking kann der Vergleich um die gleichen Jahre in der gleichen Kultur (z. B. Kosten einer Pflanzenschutzmaßnahme im Winterweizen 2018 in zwei verschiedenen Betrieben) erweitert werden. Nutzt ein Landwirt das Assistenzsystems zu einer Ex-Post-Analyse, dann könnte beispielsweise ein Vergleich der Arbeitsintensität oder Weizenproduktivität mit einem anderen Betrieb in demselben Weizenanbaujahr Hinweise auf Optimierungspotential für den eigenen Betrieb liefern.

Für die *ökonomische Gesamtbewertung des Assistenzsystems* bzw. einer DIS-Spritze mit Mehrkammersystem werden als Kennzahlen die Erlöse (auf Basis der Erträge aus den Feldversuchen bzw. aus historischen Ertragsdaten vergleichbarer Schläge), variable Kosten eines Pflanzenbauverfahrens und daraus resultierende Deckungsbeiträge festgelegt. Da nur ein Teil der für die ökonomische Gesamtbewertung notwendigen Kennzahlen in den Feldversuchen erhoben wird, wurden ergänzend zu den Feldversuchen (Applikations-)Szenarien und ein Modellbetrieb entwickelt. Die Szenarien unterscheiden sich insbesondere in ihren Annahmen zur Ausbringungstechnik und den eingesetzten Boniturmethoden, da diese für das zu bewertende Assistenzsystem und die teilflächenspezifische Applikation ausschlaggebend sind (Abb. 3). Das erste Szenario repräsentiert den Status quo mit einer aktuell betriebsüblichen Variante der Unkrautbekämpfung nach der JKI-Leitlinie zum integrierten Pflanzenschutz im Ackerbau (FREIER et al. 2014), ohne Einsatz des Assistenzsystems „AssSys".

Im ersten Szenario wird eine schlageinheitliche Behandlung mit Herbiziden durchgeführt, während im zweiten und dritten Szenario jeweils teilflächenspezifische Behandlungen je nach Unkrautvorkommen, Dichte sowie ihrer räumlichen Verteilung durchgeführt werden. Die teilflächenspezifische Behandlung basiert dabei auf Applikationskarten mit automatisierten Software-Auswertungen des Sensors in Szenario 2 (online), oder Drohnenaufnahmen mit Bildauswertung durch einen Dienstleister in Szenario 3 (offline). Applikationskarten liefern beispielsweise Vorschläge für zu behandelnde Teilflächen oder markieren Bereiche mit Abstandsauflagen bzw. Zonen, die nicht behandelt werden dürfen. Aufgrund der dann möglichen selektiven Unkrautbekämpfung werden bei der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung in Szenario 2 und 3 nur Frühjahrsbehandlungen berücksichtigt. Die Ausbringung der Herbizide wird in diesen Szenarien durch das Assistenzsystem „AssSys" unterstützt. Die Kosten der Herbizide und die Arbeitserledigungskosten basieren bei der Berechnung im zweiten und dritten Szenario auf den

Ergebnissen der Feldversuche. In Szenario 1 wird entsprechend dem betriebsüblichen Standard eine Pflanzenschutzanhängespritze (27 m Breite, 4.000 l Tankvolumen, 83 kW) mit einer Kammer verwendet, während in Szenario 2 und 3 jeweils eine DIS-Anhängespritze (27 m, 6.000 l, 70 kW) mit 2 Kammern angenommen wird. Da die Kosten der Nachrüstung aufgrund der noch nicht erfolgten Serienproduktion einer DIS-Spritze mit Mehrkammersystem verhältnismäßig hoch sind, werden diese für den Jobrechner und die Pflanzenschutzspritze separat betrachtet. Der Jobrechner wird je Gerät und Zusatzausstattung für teilflächenspezifischen Pflanzenschutz, Aussaat und Bodenbearbeitung benötigt (KLOEPFER, 2011). Um die Kosten nicht zu unterschätzen, werden jeweils die teuersten Ausführungen berücksichtigt (z.B. KLOEPFER, 2011, DUNEKACKE, 2019). In Szenario 2 werden für die Berechnung der Kosten der Unkrautbonitur die jährlichen Kosten der Sensor-Nutzung kalkuliert. Da in Szenario 1 die Unkrautbonitur manuell erfolgt, fallen hier keine zusätzlichen Technikkosten an. Die jährlich anfallenden Kosten der Technikinvestition werden unter Berücksichtigung von üblichem Hosting Service-Umfang, Programmpflege und Anwender-Support berechnet. Der zur Berechnung aller Szenarien zugrunde gelegte Modellbetrieb liegt in Niedersachsen und ist ein Marktfruchtbetrieb. Die Jahresmitteltemperatur beträgt 9,7 °C, die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge beträgt 626 mm. Es handelt sich um einen Boden aus schluffigem Lehm mit durchschnittlich 60 Bodenpunkten (im Mittel der Schläge). Die Fruchtfolge des Betriebs setzt sich aus Raps, Winterweizen und Winterweizen bzw. Wintergerste zusammen und repräsentiert damit eine für die Region typische Fruchtfolge. Auf dem Betrieb werden mindestens 100 ha teilflächenspezifisch mit Pflanzenschutzmitteln behandelt und der Mindesteinsatzumfang der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung liegt jeweils bei einem Drittel des Schlages. Es wird vorausgesetzt, dass der Landwirt des Modellbetriebes bereits Erfahrung mit einem GPS-Traktor bzw. mit einem Terminal hat, bereits eine digitale Ackerschlagdatei verwendet, Ertragskartierung mit dem Mähdrescher vornimmt und ein Parallelfahrsystem nutzt.

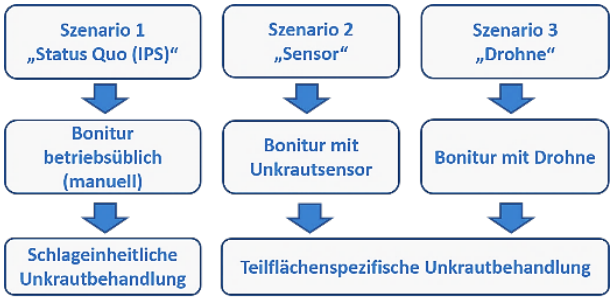


Abb. 3 Schematische Darstellung der untersuchten Applikations-Szenarien.

Fig. 3 *Schematic visualization of the investigated application-scenarios.*

Die vorliegende ökonomische Bewertung der Feldversuche bezieht sich auf das Wirtschaftsjahr 2018. Dabei wurden die entsprechenden Herbizide in Abhängigkeit von den bei der Bonitur identifizierten Leitunkräutern, deren Entwicklungsstadien und Preisen ausgewählt und mit Hilfe von Applikationskarten ausgebracht. Es wurden Feldversuche von drei verschiedenen Standorten ausgewertet (Sickte, Osterwieck und Cappeln). Aus Gründen der Datenverfügbarkeit können nachfolgend lediglich die Ergebnisse zur Versuchsfläche „Sickte“ (Landkreis Wolfenbüttel) vorgestellt werden.

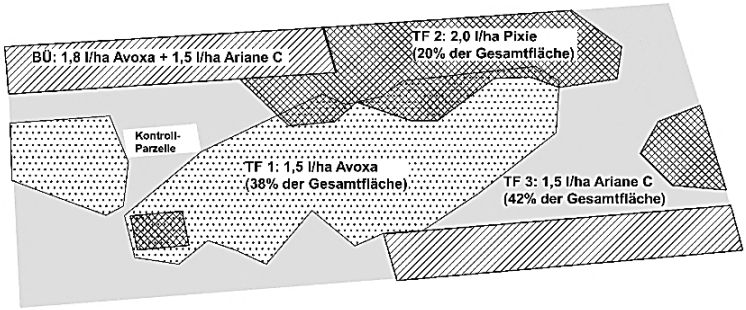


Abb. 4 Applikationskarte der Versuchsfläche „Sickte" in 2018 (TF 1-3 = Teilflächen; BÜ = Betriebsübliche Behandlung mit Herbiziden entspricht 100 % der Fläche; Quelle: POHL, WELLHAUSEN, 2019).

Fig. 4 *Application map of experimental site "Sickte" in 2018 (TF 1-3 = area of site-specific treatment; BÜ = conventional treatment corresponding to 100% of the area; source: POHL, WELLHAUSEN , 2019).*

Ergebnisse

In der teilflächenspezifischen Variante in Sickte wurden insgesamt drei Teilflächen behandelt. Die Schlaggrößen der Teilflächen variierten in Sickte zwischen 0,83 ha und 1,63 ha, die Gesamtgröße der Teilschläge (teilflächenspezifische Variante) betrug 3,96 ha. Bei der betriebsüblichen Variante lag die Schlaggröße bei 0,8 ha. Die Kennzahlen wurden jeweils in Angaben pro ha umgerechnet.

Die Applikationskarte in Abbildung 4 zeigt die betriebsübliche Variante (BÜ), 3 Teilflächen (TF 1 bis TF 3) und eine Kontrollparzelle (ohne Einsatz von Pflanzenschutzmitteln). In der betriebsüblichen Variante wurden die Herbizide Avoxa (1,8 l pro Hektar) und Ariane C (1,5 l pro Hektar) als Tankmischung jeweils auf 100 % der Fläche ausgebracht. Dadurch fällt bei der betriebsüblichen Variante auch nur eine Überfahrt an. Anhand des bonitierten Unkrautvorkommens wurden die Teilflächen TF 1, TF 2 und TF 3 beispielhaft für eine teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden ausgewählt (Abb. 4). In Sickte wurde im Frühjahr 2018 auf der TF 1 das Herbizid Avoxa (1,5 l pro Hektar), auf der TF 2 das Herbizid Pixie (2 l pro Hektar) und auf der TF 3 das Herbizid Ariane C (1,5 l pro Hektar) ausgebracht. Auf TF 1 wurde auf 38 % der Gesamtfläche appliziert, auf TF 2 wurden 20 % der Fläche behandelt und auf TF 3 42 % der Fläche. Die ersten Ergebnisse einer exemplarischen Berechnung der Kennzahlen „Herbizidkosten", „Herbizidkostenfreie Leistung" (HKfL) und „Herbizid- und Boniturkostenfreie Leistung" (HBKfL) auf Basis der Feldversuche in Sickte werden in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1 Herbizidkosten, Herbizid- und Boniturkostenfreie Leistung bei der teilflächenspezifischen (TF) und betriebsüblichen Behandlung (BÜ) in Sickte 2018.

Tab. 1 *Herbicide costs, herbicide- and monitoring cost free revenues in site-specific and standard application at Sickte in 2018.*

Kennzahl	TF*	BÜ**	Differenz TF-BÜ
	€ je ha	€ je ha	€ je ha
Herbizidkosten mit Arbeitserledigungskosten	53,07	113,73	60,66
HKfL*** mit Arbeitserledigungskosten	1.132,26	1.039,63	92,63
HBKfL**** (mit Arbeitserledigungskosten)	1.115,12	1.031,69	83,43

*TF: Teilflächenspezifische Behandlung, **BÜ: betriebsübliche Behandlung= schlageinheitlich, ***HKfL: Herbizidkostenfreie Leistung, ****HBKfL: Herbizid- und Boniturkostenfreie Leistung

Am Standort Sickte betragen die Herbizidkosten mit Arbeits- und Maschinenkosten (Arbeitserledigungskosten) der Überfahrten für die teilflächenspezifische Behandlung 53 € je ha (Tab. 1). In der betriebsüblichen Behandlung liegen die Herbizidkosten bei 114 € je ha. Der Vergleich der Kennzahl „Herbizidkosten" „teilflächenspezifisch" zu "betriebsüblich" führt damit zu einer Ersparnis von 61 € je ha. Bei der HKfL entsteht ein Vorteil von 93 € je ha durch die teilflächenspezifische Behandlung. Die HBKfL beträgt einschließlich Arbeits- und Maschinenkosten

der Überfahrten sowie der Bonituren und Anfahrten 1.115 € je ha für die teilflächenspezifische Variante bzw. 1.032 € je ha für die betriebsübliche. Damit ergibt sich für die teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden in dem exemplarischen Feldversuch ein ökonomischer Vorteil von 83 € je ha. Somit zeigt sich, dass für unsere exemplarische Berechnung der ökonomischen Kennzahlen anhand der Feldversuche auf einem Schlag in Sickte im Jahr 2018, die teilflächenspezifische Behandlung mit Herbiziden im Vergleich zur betriebsüblichen Variante wirtschaftlich vorteilhaft war.

Tab. 2 Investitions- und Jahreskosten der Unkrautbekämpfung mit DIS-Spritze und Mehrkammersystem.

Tab. 2 *Investment and yearly costs of herbicide measures with multi chamber direct injection sprayer.*

	Kennzahl	**Einheit**
Investitionssumme Jobrechner (einmalig)	7.000	€
Abschreibung (10 Jahre)	700	€ pro Jahr
Zins (bei 7 %)	297	€ pro Jahr
Jahreskosten ohne Reparatur, Wartung und Arbeitskosten	997	€ pro Jahr
Investitionssumme Mehrkammer-DIS-Spritze (einmalig)	98.000	€
Abschreibung (10 Jahre)	9.800	€ pro Jahr
Zins (bei 7 %)	4.153	€ pro Jahr
Jahreskosten ohne Reparatur, Wartung und Arbeitskosten	13.953	€ pro Jahr

In Tabelle 2 sind zunächst die Kosten der technischen Ausstattung der Unkrautbekämpfung mit Hilfe eines Jobrechners bzw. im Anschluss (ab Zeile 5) einer DIS-Spritze mit Mehrkammersystem zusammengefasst. In der ersten Zeile ist die erforderliche Investitionssumme zur Nachrüstung eines Jobrechners dargestellt. Sie beläuft sich auf 7.000 Euro. Aufgrund des zu erwartenden technischen Fortschrittes erfolgt die Abschreibung des Jobrechners auf 10 Jahre mit einer jährlichen Summe von 700 Euro. Die jährlichen Zinskosten von 297 Euro in Zeile 3 bei einem Kalkulationszinsfuß von 7 % ergeben sich aus der Differenz der Jahreskosten in Zeile 4 und der Abschreibung aus Zeile 2. Die Jahreskosten wurden nach der Annuitätenformal ohne Reparatur-, Arbeits- und Wartungskosten berechnet und betragen für die gewählten Rahmenbedingungen 14 % der Investitionssumme. In der fünften Zeile ist die erforderliche Investitionssumme zur Nachrüstung einer 27 m DIS-Spritze mit Mehrkammersystem dargestellt. Sie beläuft sich auf 98.000 Euro, was darauf zurückzuführen ist, dass es sich bisher um einen Prototyp handelt. Aufgrund des zu erwartenden technischen Fortschrittes erfolgt die Abschreibung der Pflanzenschutzspritze ebenfalls auf 10 Jahre mit einer jährlichen Summe von 9.800 Euro. Die jährlichen Zinskosten von 4.153 Euro in Zeile 7 bei einem Kalkulationszinsfuß von 7 % ergeben sich aus der Differenz der Jahreskosten in Zeile 8 und der Abschreibung aus Zeile 6. Die Jahreskosten wurden wie beim Jobrechner nach der Annuitätenformal ohne Reparatur-, Arbeits- und Wartungskosten berechnet und betragen für die gewählten Rahmenbedingungen ebenfalls 14 % der Investitionssumme.

Tab. 3 Mindesteinsatzfläche der teilflächenspezifischen Applikation bei jährl. Technikkosten eines Jobrechners und einer DIS-Spritze mit Mehrkammersystem (basierend auf Einsparungen in den Feldversuchen).

Tab. 3 *Minimum application area of site-specific application with yearly technical cost of a job computer and multi chamber direct injection sprayer (based on savings from field trials).*

Arbeitskosten	**Mindesteinsatzfläche bei jährl. Technikkosten eines Jobrechners von 997 €**	**Mindesteinsatzfläche bei jährl. Technikkosten einer DIS-Pflanzenschutzspritze von 13.953 €**
€ je zusätzliche Arbeitsstunde	ha	ha
20 (n = 1 h)	30,63	428,67
40 (n = 2 h)	79,45	1.111,84
60 (n = 3 h)	-*	-

*nicht dargestellt, da negativer Wert.

Um zu zeigen, ab wann die teilflächenspezifische Applikation unter den gegebenen Bedingungen für einen Landwirt lohnenswert ist, wird nachfolgend die Mindesteinsatzfläche bestimmt (Tab. 3). Die Mindesteinsatzfläche ist abhängig von den angenommenen Technikkosten für den

verwendeten Jobrechner bzw. der angenommenen Pflanzenschutzspritze und den (zusätzlichen) Arbeitsstunden, beispielsweise für besonders umfängliche Bonituren zur Vorbereitung einer teilflächenspezifischen Applikation oder zur Datenauswertung der Bonituren. Die Mindesteinsatzfläche lässt sich am Beispiel Sickte mit Hilfe der durchschnittlichen Einsparung an Herbiziden der 3 Teilflächen, die 53 % beträgt, berechnen. Bei entsprechend eingesparten Herbiziden, jährlichen Technikkosten eines Jobrechners von 997 € und bis zu zwei zusätzlichen Arbeitsstunden, ergeben sich Mindesteinsatzflächen für Sickte zwischen 31 und 79 ha (Tab. 3). Bei 53 % eingesparten Herbiziden und jährlichen Technikkosten einer DIS-Spritze mit Mehrkammersystem von 13.953 €, ergeben sich bei *einer* zusätzlichen Arbeitsstunde 429 Hektar als mindestens zu bearbeitende Teilfläche. Bei einer höheren Anzahl an (zusätzlichen) Arbeitsstunden und damit verbundenen höheren Arbeitskosten steigt die Mindesteinsatzfläche auf > 1.000 Hektar an und ist damit sehr hoch.

Um weitere Ergebnisse zu potentiellen Mindesteinsatzflächen der teilflächenspezifischen Applikation mit den vorhandenen Ergebnissen aus den Feldversuchen vergleichen und mögliche Grenzen identifizieren zu können, wurde eine Sensitivitätsanalyse mit ergänzenden hypothetischen Herbizid-Einsparungen aus der Literatur (30 %, 50 % und 70 %; siehe LETTNER et al., 2001) herangezogen. Als Bezugswert der Ganzflächenapplikation wurde zunächst auch hier der in Sickte ermittelte Wert der betriebsüblichen Behandlung für die applizierten Herbizide eingesetzt.

Wie aus Tabelle 4 ersichtlich, liegt die Mindesteinsatzfläche, je nach der erreichten Einsparung an Herbiziden und Technikkosten des Jobrechners bei einer zusätzlichen Arbeitsstunde für Boniturmaßnahmen im Winterweizen bei 20 bis 102 ha. Ab zwei zusätzliche Arbeitsstunden lohnt sich eine teilflächenspezifische Behandlung unter den gegebenen Bedingungen bei 30 % Einsparung nicht mehr (Tab. 4).

Tab. 4 Mindesteinsatzfläche der teilflächenspezifischen Applikation bei jährl. Technikkosten eines Jobrechners und einer DIS-Spritze mit Mehrkammersystem (basierend auf Literatur-Ergebnissen).

Tab. 4 *Minimum application area of site-specific application with yearly technical cost of a Job Calculator and multi chamber direct injection sprayer (based on literature results).*

Bei jährl. Technikkosten eines Jobrechners von 997 €	**30 % eingesparte Herbizide**	**50 % eingesparte Herbizide**	**70 % eingesparte Herbizide**
Arbeitskosten in € je zusätzliche Arbeitsstunde	ha	ha	ha
20 (n = 1 h)	102,31	33,71	20,18
40 (n = 2 h)	-*	104,13	33,91
60 (n = 3 h)	-	-	106,01
Bei jährl. Technikkosten einer DIS-Pflanzenschutzspritze von 13.953 €			
Arbeitskosten in € je zusätzliche Arbeitsstunde	ha	ha	ha
20 (n = 1 h)	1.431,81	471,78	282,42
40 (n = 2 h)	-	1.457,23	474,51
60 (n = 3 h)	-	-	1.483,57

*nicht dargestellt, da negativer Wert.

Werden 50 % eingespart, so sind auch zwei zusätzliche Arbeitsstunden noch rentabel, bei 70 % Einsparung führen sogar drei zusätzliche Arbeitsstunden noch zu einem positiven Ergebnis. Bei 50 % Einsparung und einer zusätzlichen Arbeitsstunde müssen 34 ha teilflächenspezifisch bearbeitet werden, bei 70 % Einsparung und einer zusätzlichen Arbeitsstunde reichen 20 ha. Legt man die erforderliche Investitionssumme zur Nachrüstung einer 27 m DIS-Spritze mit Mehrkammersystem zugrunde (DUNEKACKE, 2019), so müssen bei 50 % Einsparung und einer zusätzlichen Arbeitsstunde mindestens 472 ha, bei 70 % Einsparung und einer zusätzlichen Arbeitsstunde mindestens 282 ha teilflächenspezifisch bearbeitet werden. Bei 70 % Einsparung und zwei zusätzlichen Arbeitsstunden liegt die Mindesteinsatzfläche bei 475 ha. Bei 30 % und 50 % Einsparung an Herbiziden sind drei zusätzliche Arbeitsstunden unter den gegebenen Bedingungen nicht mehr lohnenswert (Tab. 4).

Schlussfolgerungen

Die teilflächenspezifische Behandlung mit Herbiziden war im Vergleich zur betriebsüblichen Variante in 2018 für die untersuchten Kennzahlen und den betrachteten Standort wirtschaftlich vorteilhaft. Dies ist auf Kosteneinsparungen in der teilflächenspezifischen Behandlung zurückzuführen. Die Kosteneinsparungen entstehen durch eine Reduktion der Herbizide auf den einzelnen Teilflächen, die sich auf das Gesamtergebnis auswirken. In der teilflächenspezifischen Behandlungsvariante ermöglicht eine Mehrkammerspritze mit Direkteinspeisung die Ausbringung verschiedener Herbizide in einer Überfahrt. Die Mindesteinsatzfläche, die jährlich teilflächenspezifisch zu behandeln wäre, ohne einen ökonomischen Nachteil zu erfahren, liegt für den Feldversuch unter der Annahme des Einsatzes eines Jobrechners und bis zu zwei zusätzlichen Arbeitsstunden, mit 31 bis 79 Hektar durchaus im praktikablen Bereich. Da die angenommenen Investitionskosten bzw. jährlichen Technikkosten für den Prototyp der DIS-Spritze mit Mehrkammersystem verhältnismäßig hoch sind, fallen auch die Mindesteinsatzflächen entsprechend hoch aus, was beispielsweise für kleinere Betriebe nicht realisierbar wäre. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zeigen, dass bei dem angenommenen Jobrechner z. B. bei 70 % eingesparten Herbiziden bis zu drei zusätzliche, und bei den vorausgesetzten Kosten der Mehrkammerspritze bis zu zwei zusätzliche Arbeitsstunden für Bonituren oder Datenauswertung noch wirtschaftlich sind. Werden die Kosten der notwendigen technischen Ausstattung durch Serienproduktion in absehbarer Zeit günstiger, so wird auch die Mindesteinsatzfläche kleiner, wodurch die teilflächenspezifische Applikation für eine größere Bandbreite an landwirtschaftlichen Betrieben lukrativer wird als bisher. Letztlich müssen die zusätzlichen technischen Kosten und Arbeitsstunden wieder durch Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln kompensiert werden.

Literatur

BARROSO, J., C. FERNANDEZ-QUINTANILLA, B. MAXWELL, L. REW, 2003: Using site specific weed management for control of wild oats in Spain: An economic evaluation. Precision Agriculture **4**, 47-52.

BRITISH BEET RESEARCH ORGANISATION, 2018: Sugar Beet Reference Book, Norwich. 58 S.

DEUTSCHES BENCHMARKING ZENTRUM, 2018: Benchmarking Vorgehensweise. www.benchmarkingforum.de, Zugriff am 20.2.2019

DRÜCKER, H., 2018: Landwirtschaft voll digitalisiert. LZ Rheinland **40**, 24-26.

DUNEKACKE, H., 2019: Schritliche Information zu Investitionskosten einer Anhängespritze mit Mehrkammersystem und Direkteinspeisung am 6.2.2019.

INFORMATIONSZENTRUM BENCHMARKING AM FRAUNHOFER IPK, 2018: Benchmarking. www.izb.ipk.fraunhofer.de/index.php/de/informtionszentrum-benchmarking, Zugriff am 21.2.2019

FREIER, B., M. PETERS, A. GUMMERT, S. GOLTERMANN, C. VON KRÖCHER, R. GÖTZ, 2014: JKI-Leitlinie zum integrierten Pflanzenschutz im Ackerbau zur Durchführung des Modell- und Demonstrationsvorhabens „Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz". Julius Kühn-Institut, Kleinmachnow.

GERHARDS, R., 1997: Das System schlägt gezielt zurück. DLZ-agrarmagazin, Sonderheft **10**, 35-37.

GERHARDS, R., H. OEBEL, M. SÖKEFELD, 2007: Teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung durch raumbezogene Bildverarbeitung im Offline- (und Online-) Verfahren (TURBO). Abschlussbericht für das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben: 82 S.

GERHARDT, C., D. DONNAN, B. SUBEI, C. TUOT, A.T. KEARNEY, 2017: Mit Smart Farming mehr ernten. Bauernzeitung, Sonderheft **11**, 30-34.

HINCK, S., F. KLOEPFER, G. SCHUCHMANN, 2016: Precision Farming – Bodeneigenschaften erfassen. KTBL-Heft **111**: 56 S.

ISERMEYER, F., 2012: Landwirtschaftliche Produktionssysteme und ihre Wettbewerbsfähigkeit im internationalen Vergleich. Johann Heinrich von Thünen-Insitut, Braunschweig: 26 S.

KILIAN, B., 2004: Ökonomie von Precision Farming. Precision Farming – Analyse, Planung und Umsetzung in die Praxis. KTBL-Schrift: 419 S.

KLOEPFER, F., 2011: Wirtschaftlichkeit von Precision Farming. Votrag auf dem Fachtag Precision Farming, LTZ Augustenberg Außenstelle Forchheim.

KREBS, M., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, 2016: Situationsgerechte Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln. Julius-Kühn-Archiv **452**, 232-240.

LETTNER, J., K. HANK, P. WAGNER, 2001: Ökonomische Potenziale der teilschlagspezifischen Unkrautbekämpfung. Berichte über Landwirtschaft **79**, 107-139.

NORDMEYER, H., A. ZUK, A. HÄUSLER, 2003: Experiences of site specific weed control in winter cereals. Precision Agriculture **4**, 457-462.

NORDMEYER, H., 2007: Precision Farming in der Unkrautbekämpfung. Pflanzenschutz der Zukunft. agarheute.com/?redid=171195, 13.7.2007.

OEBEL, H., 2006: Teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung durch raumbezogene Bildverarbeitung im Offline- (und Online-)

Verfahren (TURBO). Dissertation, Universität Hohenheim, 176 S.

PAUSTIAN, M., K. SCHLOSSER, M. WELLNER, L. THEUVSEN, 2015: Kennzahleneinsatz in der Landwirtschaft – Ergebnisse empirischer Untersuchungen. In: *Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft*. RUCKELSHAUSEN, A., H.-P. SCHWARZ, L. THEUVSEN, Gesellschaft für Informatik e.V., Bonn, 129-132.

POHL, J.P., D. RAUTMANN, D. VON HÖRSTEN, H. NORDMEYER, M. KREBS, 2016: Präzise Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung. Der Pflanzenarzt **69**, 12-14.

POHL, J.P., C. WELLHAUSEN, 2019: Darstellung der applizierten Herbizide in den Feldversuchen 2018 mittels teilflächenspezifischer Unkrautkarten. *Unveröffentlicht.*

RAJMIS, S., B. GOLLA, B. UHL, D. MARTINI, H. KEHLENBECK, 2016: Ökonomische Bewertung eines Entscheidungshilfesystems im Pflanzenschutz am Beispiel von Winterweizen (PAM - Pesticide Application Manager). Julius-Kühn-Archiv **454**, 551-552.

ROHLEDER, B., B. KRÜSKEN, 2016: Digitalisierung in der Landwirtschaft, DBV bitkom, Berlin, 15. S.

RÖSCH, C., M. DUSSELDORP, R. MEYER, 2007: Precision Agriculture – Landwirtschaft per Satellit und Sensor. Deutscher Fachverlag, Frankfurt, 215 S.

RÖSCH, C., M. DUSSELDORP, 2007: Precision Agriculture: was innovative Technik zur nachhaltigeren Landwirtschaft beitragen kann. GAIA **16** (4), 272-279.

RUHLAND, F., 2007: Roboter als Erntehelfer. Bildverarbeitung statt Bauernregeln. Süddeutsche Zeitung online, 20.06.2007. www.sueddeutsche.de/computer/artikel/583/119438

SCHEIBER, M., C. FEDERLE, J. FELDHAUS, B. GOLLA, B. HARTMANN, B. KLEINHENZ, D. MARTINI, M. RÖHRIG, 2015: Automatisch auf Abstand. DLZ-Agrarmagazin **4**, 70-75.

SCHWARZ, J., I. ACKERMANN, G. WARTENBERG, 1998: Ökonomische Bewertung ausgewählter Verfahren zur Unkrauterfassung. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **16**, 325-332.

SCHWARZ, J., G. WARTENBERG, 1999: Wirtschaftlichkeit der teilflächenspezifischen Herbizidanwendung. Landtechnik **54**, 334-335.

SÖKEFELD,M., R. GERHARDS, 2004: Automatische Unkrautkartierung mit digitaler Bildverarbeitung. Landtechnik **59** (3), 154-155.

STAFFORD, J.V., J.V. BENLLOCH, 1997: Machine- assisted detection of weeds and weed patches. Precision Agriculture **1**, 511-518.

TAKACS-GYORGY, K., I. TAKACS, 2009: Economic Analysis of Precision Weed Management. Cereal Research Communications **37** (4), 585–593.

TIMMERMANN, C., R. GERHARDS, W. KÜHBAUCH, 2003: The economic impact of site-specific weed control. Precision Agriculture **4**, 249-260.

How valuable is post-dispersal seed predation to control *Echinochloa crus-galli* in maize cropping in Mecklenburg-Western Pomerania?

Welchen monetären Wert hat der Fraß ausgefallener Samen von Echinochloa crus-galli *im Maisanbau Mecklenburg-Vorpommerns?*

Han Zhang*, Heike Pannwitt, Sabine Andert, Friederike de Mol, Bärbel Gerowitt
Crop Health, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, University of Rostock, Satower Straße 48, 18051 Rostock, Germany
*Corresponding author, han.zhang@uni-rostock.de
DOI 10.5073/jka.2020.464.005

Abstract

Silage maize is an important arable crop in Germany. *Echinochloa crus-galli* is one of the main weed species in this crop. Herbicide treatment, a common practice by conventional maize farmers to control this weed, may cause many negative impacts on non-target species and the wider environment. Post-dispersal seed predation is an important ecosystem service for weed control, but its value is rarely known. To raise social awareness, we aim to estimate the economic benefits of this ecosystem service. The extent of benefits that farmers can receive from the post-dispersal seed predation depends greatly on how farmers control weeds.

By using an on-farm pesticide survey, the herbicide application patterns for *Echinochloa crus-galli* control in maize in the north-eastern Germany is analysed. Based on this, and by using economic surplus and field data from cage experiments, this case study estimated the value of post-dispersal seed predation of *Echinochloa crus-galli* in 2013 maize fields in Mecklenburg-West Pomerania. This represents one of the first attempts of economic valuation of this ecosystem service.

Key words: *Echinochloa crus-galli*, ecosystem services, post-dispersal seed predation, producer and consumer surplus, silage maize

Zusammenfassung

Silomais ist eine wichtige Kulturpflanze in Deutschland. In dieser Kultur ist *Echinochloa crus-galli* eine der Hauptunkrautarten. Für die Unkrautkontrolle im Mais gehört der Einsatz von Herbiziden zur gängigen Praxis, dies beeinflusst Nichtzielorganismen und die Umwelt jedoch negativ. Samenprädation gehört zu den wichtigen Ökosystemdienstleistungen, deren Wert innerhalb der Unkrautkontrolle jedoch unbekannt ist. Um das gesellschaftliche Bewusstsein für Ökosystemdienstleistungen zu steigern, ist es unser Ziel den wirtschaftlichen Nutzen dieser Leistung zu berechnen. In welchem Umfang Landwirte von den Samenprädatoren profitieren können, ist von der Unkrautkontrolle abhängig.

Es werden Anbaudaten landwirtschaftlicher Praxisbetriebe in Nordostdeutschland analysiert, um Muster in den Herbizidanwendungen zu charakterisieren. Ergänzt durch Daten aus einem Feldexperiment wird in dieser Fallstudie der wirtschaftliche Nutzen von Samenprädatoren für den Maisanbau 2013 in Mecklenburg-Vorpommern eingeschätzt. Diese Fallstudie repräsentiert die erste ökonomische Einschätzung der Ökosystemdienstleistung Samenprädation.

Stichwörter: *Echinochloa crus-galli*, Konsumenten- und Produzentenrente, Ökosystemdienstleistung, Samenprädation, Silomais

Introduction

Silage maize is a major arable crop grown in Germany, mostly cultivated for animal feed and now increasingly used in biogas production (DESTATIS, 2019). *Echinochloa crus-galli* (*E. crus-galli;* ECHCG, EPPO, 2018) is one of the most important weed species in this crop (DE MOL et al., 2015). German farmers mostly apply herbicides to control *E. crus-galli* in maize fields. However, *E. crus-galli* is the second most resistant weed species worldwide, and it has already been resistant to the ALS inhibitors in Germany (HEAP, 2018). There is thus a high risk for this species to develop further resistance in German maize fields. Unsustainable use of herbicides also causes negative impacts on human health, non-target species, and the wider environment (TAYLOR et al., 2006).

Besides herbicides, some animal species (i.e., granivory species among arthropods, birds and mammals) also contribute to weed reduction by feeding on the scattered seeds on the soil, thus reducing the volume of the soil seedbank. This ecosystem service is called post-dispersal seed

predation (SP), and field experiments have demonstrated its important role in weed demography (WESTERMAN et al., 2005). However, SP is little known in the society, either by farmers or policy makers. Estimating the economic benefits of an ecosystem service has been suggested as a method to quantify its contribution to human welfare, raise social awareness about its importance, and guide policy makers in supporting relevant conservation programs (COSTANZA et al., 2014). However, to the best of our knowledge, no successful attempt has been done on estimating the economic value of SP.

This case study aims to value the SP of *E. crus-galli* in maize fields in Mecklenburg-West Pomerania (M-V), a province in the northeast Germany. This paper represents a preliminary analysis based on the cropping conditions of 2013. The economic surplus method was applied, and data from northern Germany were used when they are not available for M-V.

Materials and Methods

Economic surplus method

Economic surplus method is recognised to value the economic benefits of various ecosystem services (e.g., biological aphid control, ZHANG et al., 2018). This method estimates the welfare value of price change to consumers and producers in a market setting. For this case study, the increased price of maize is caused by the potentially reduced supply of maize when SP is at a minimum. The supply shift parameter K is used here to measure the degrees of reduced maize supply, and the formula is as below:

$$\mathrm{K} = \mathrm{A} \times \frac{\text{relative yield reduction}}{\varepsilon} \qquad (1)$$

where A denotes the percentage of maize growing area in 2013 that have *E. crus-galli* infested and that also grew maize in 2012. The second condition is needed because SP functions in the previous year (2012), and we do not expect seeds of *E. crus-galli* on the soil without maize sowing in 2012. Relative yield reduction is the difference between the percentage yield reduction by *E. crus-galli* without SP and percentage yield reduction by *E. crus-galli* with SP. ε is the price elasticity of supply, which measures the percentage change in the maize quantity supplied by producers that results from a one percent change in its price. The price elasticity of demand is the analogous measure on the producers' side. The rest of the equations that estimate the producer and consumer surpluses are shown below:

$$Z = K\varepsilon/(\varepsilon + \eta) \qquad (2)$$
$$\Delta CS = ZQ_0P_0(1 + 0.5Z\eta) \qquad (3)$$
$$\Delta PS = Q_0P_0(K - Z)(1 + 0.5Z\eta) \qquad (4)$$
$$\Delta ES = \Delta CS + \Delta PS \qquad (5)$$

where η denotes the absolute value of the price elasticity of demand, Q_0 is the quantity of maize produced, P_0 is the price of maize, ΔCS the consumer surplus, ΔPS producer surplus, and ΔES economic surplus.

To calculate K, a key indicator to estimate is the relative yield reduction. This is derived from the common practice of local maize farmers to control *E. crus-galli*, i.e. herbicide application.

Herbicide application patterns to control *E. crus-galli* in maize

To understand how maize farmers use herbicides to control *E. crus-galli*, we used the on-farm pesticide dataset from ANDERT et al. (2018). From this dataset, we extracted the herbicide data that are potentially efficient against *E. crus-galli* in maize. In total, 29 farms from three north-eastern German regions (eight in Rostock, twelve in Fläming, nine in Oder-Spree) provided their herbicide data in maize from 2005 to 2014 (1,665 data points). The region Rostock is included in the province M-V. A preliminary estimate shows that the average annual application frequencies of herbicides to maize fields that can potentially control *E. crus-galli* are 1.1 in Rostock, 1.0 in Fläming, and 1.0 in Oder-Spree. This is also in line with the findings from JULIUS KÜHN-INSTITUT (2016), which shows that

the average number of herbicide applications in German maize fields was about 1.31 to 1.47 in 2011–2015, including use of glyphosate.
This indicates that maize farmers typically apply one-time post-emergence herbicides in their fields to potentially control *E. crus-galli*. However, because of various limitations (e.g., weather conditions, herbicide efficacies), it is difficult for herbicides to eliminate *E. crus-galli* completely. This means that the remaining weeds in the fields may still compete with maize, and can potentially cause yield loss.

Relative yield reduction

To estimate the relative yield reduction, a key indicator to consider is the density of *E. crus-galli* in the maize fields after one-time herbicide application with and without SP.
First, we only look at the influence of SP to the density of *E. crus-galli*, and assume no herbicide application in the fields. The average density of *E. crus-galli* in maize fields with SP without herbicide application in 2013 is assumed to be 76 plants/m^2 (VON REDWITZ and GEROWITT, 2018). To estimate the density of *E. crus-galli* without SP, the data from cage experiments in maize fields were used (PANNWITT et al., in prep.). The experiments were installed on three conventionally managed maize fields in M-V. Treatments with different densities of *E. crus-galli* (300, 600, 1200, 2400 seeds m^{-2}) were established in a randomised design. Cages were permanently installed in all treatments to prevent the access of seed predators. The number of germinated seedlings per treatment were counted in spring and summer. The model estimated for these data is:

$$log_{10}(ECHCG\ density\ without\ SP) = -0.00001 \times (ECHCG\ density\ with\ SP)^2 + 0.008 \times ECHCG\ density\ with\ SP + 1.5\ (R^2{=}0.6) \quad (6)$$

Then, the influence of one-time herbicide application to the density of *E. crus-galli* is considered in three scenarios: 1) we assume that the average herbicide efficacy to control *E. crus-galli* is 90%; 2) 95%; 3) 100%. Then the density of *E. crus-galli* with and without SP after one-time herbicide application is calculated (Tab. 1).

Following SPITTERS et al. (1989), which modelled the relationship between the maize dry yield loss and the density of *E. crus-galli*, the relative yield reduction is thus estimated (Tab. 1).

Results and Discussion

Based on the economic surplus method (Equation 1-5) and the estimated indicators (Tab. 1 and Tab. 2), the estimated economic benefits of SP are given in Table 3. The consumers refer to people who purchase silage maize from the producers (i.e. maize farmers). This case study estimated, for the first time, the economic benefits of weed seed predation in arable crops.

The results indicate that farm managements on weed control (in this case study, herbicides) have a great influence on the benefits farmers and consumers would receive from post-dispersal weed seed predators. This ecosystem service does have economic values as long as the average herbicide efficacy is less than 100%. This is likely to happen because of unfavourable weather conditions, mismatch of sensitive weed stages or weed plants protected by other plants tissues (GILL and GARG, 2014). Furthermore, it is in the future very probable that *E. crus-galli* develops more resistance to herbicides (HEAP, 2018). The consequence that the average herbicide efficacy goes down would increase the value of weed seed predation. Also, post-dispersal weed seed predators can feed on other weed seeds in the maize fields. Thus, if we look at their effects on multiple weeds, the total value of weed seed predation in Table 3 may increase accordingly. More work on this study is in progress. Other economic valuation methods that might be suitable to estimate this ecosystem service are developed. This case study focused on a German region, the valuation of different spatial scales will be examined. The weed density-crop yield model is an old reference, thus other suitable models will be explored in the literature. Furthermore, because of the limitation of data, sensitivity analyses will be conducted to take into account the potential variation in the value from the uncertainties of key indicators in the model.

Tab. 1 Relative maize yield reduction in 2013 in Mecklenburg-West Pomerania caused by a lack of post-dispersal seed predation to control *E. crus-galli* under three herbicide efficacy scenarios (following a one-time herbicide application).

Tab. 1 *Relativer Ertragsverlust im Maisanbau in Mecklenburg-Vorpommern 2013 beim Ausfall der Samenprädatoren bei der Regulierung von E. crus-galli in drei Szenarien zur Herbizidwirkung (nach einmaliger Applikation).*

Herbicide efficacy scenarios	ECHCG density with SP (plants/m²)	ECHCG density without SP (plants/m²)	Relative yield reduction (with-out/with SP) (%)
90%	7.6	11.4	0.3
95%	3.8	5.7	0.2
100%	0	0	0

Note: "SP" denotes the post-dispersal seed predation; Relative yield reduction is the difference between the percentage yield reduction by *E. crus-galli* without SP and percentage yield reduction by *E. crus-galli* with SP.

Tab. 2 The estimated values of indicators used for the economic surplus models.
Tab. 2 *Schätzwerte für die Modelindikatoren zur Berechnung der Renten.*

Indicators	Estimated values	Data sources
Maize yield	35.34 (t/ha)	www.regionalstatistik.de
Maize growing area	136,400 (ha)	www.regionalstatistik.de
Maize price	28 (€/t)	BÖCKER et al., 2018
A	11%	VON REDWITZ and GEROWITT, 2018
Absolute value of demand elasticity	0.24	FAPRI, 2016
Supply elasticity	0.08	FAPRI, 2016

Note: "A" denotes the percentage of maize growing area in 2013 that have *E. crus-galli* infested and that also grew maize in 2012. "SP" denotes the post-dispersal seed predation.

Tab. 3 The estimated economic benefits - expressed as producers and consumers surplus - of post-dispersal seed predation of *Echinochloa crus-galli* in 2013 maize in Mecklenburg-West Pomerania, Germany.

Tab. 3 *Wirtschaftlicher Nutzen, der Prädation von Samen von Echinochloa crus-galli in Maisfeldern in Mecklenburg-Vorpommern, Deutschland im Jahr 2013, unterteilt nach Produzenten- und Konsumentenrente.*

Herbicide efficacy scenarios	Economic benefits (€)	
	Producers	Consumers
90%	453,007	151,002
95%	228,357	76,119
100%	0	0

References

ANDERT, S., J. BÜRGER, J.-E. MUTZ, 2018: Patterns of pre-crop glyphosate use and in-crop selective herbicide intensities in Northern Germany. European Journal of Agronomy **97**, 20–27.

BÖCKER, T., W. BRITZ, R. FINGER, 2018: Modelling the Effects of a Glyphosate Ban on Weed Management in Silage Maize Production. Ecological Economics **145**, 182–193.

COSTANZA, R., R. DE GROOT, P. SUTTON, S. VAN DER PLOEG, S.J. ANDERSON, I. KUBISZEWSKI, S. FARBER, R.K. TURNER, 2014: Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change **26**, 152–158.

DESTATIS, 2019: Feldfrüchte und Grünland. www.destatis.de.

DE MOL, F., C. VON REDWITZ, B. GEROWITT, 2015: Weed species composition of maize fields in Germany is influenced by site and crop sequence. Weed Research **55**, 574–585.

EPPO, 2018: EPPO Global Database. https://gd.eppo.int.

FAPRI, 2016: FAPRI – Elasticity Database. https://www.fapri.iastate.edu/tools/elasticity.aspx.

GILL, H.K., H. GARG, 2014: Pesticides: Environmental Impacts and Management Strategies. In: Pesticides - Toxic Aspects. Soloneski, S., Rijeka, InTech, pp 187–230.

HEAP, I. 2018: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. https://www.weedscience.org.

JULIUS KÜHN-INSTITUT, 2016: Statistische Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. https:// papa.julius-kuehn.de/dokumente/upload/3052e_papa2011_journal_f_kulturpflanzen_.pdf.

SPITTERS, C.J., M.J. KROPFF, W. GROOT, 1989: Competition between maize and *Echinochloa crus-galli* analysed by a hyperbolic regression model. Annals of Applied Biology **115** (3), 541–551.

TAYLOR, R., B. MAXWELL, R. BOIK, 2006: Indirect effects of herbicides on bird food resources and beneficial arthropods. Agriculture, Ecosystems and Environment **116** (3-4), 157–164.

VON REDWITZ, C., B. GEROWITT, 2018: Maize-dominated crop sequences in northern Germany: Reaction of the weed species communities. Applied Vegetation Science **21**, 431–441.

WESTERMAN, P., M. LIEBMAN, F. MENALLED, A. HEGGENSTALLER, R. HARTZLER, P. DIXON, 2005: Are many little hammers effective? Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) population dynamics in two- and four-year crop rotation systems. Weed Science **53**(3), 382–392.

ZHANG, H., M. GARRATT, A. BAILEY, S.G. POTTS, T. BREEZE, 2018: Economic valuation of natural pest control of the summer grain aphid in wheat in South East England. Ecosystem Services **30**, 149–157.

Sektion 2: Populationsdynamik
Session 2: Population dynamics

Auswirkungen von mehrjährig herbizidfreiem Management auf den nachfolgenden - Auflauf von dikotylen und monokotylen Unkräutern - Ergebnisse einer Dekade

Results of several years of herbicide-free management on the subsequent occurrence of dicotyledonous and monocotyledonous weeds - results of a decade

Jürgen Schwarz

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI), Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow
Korrespondierender Autor, juergen.schwarz@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.006

Zusammenfassung

In 12 Jahren, von Herbst 1995 bis zur Ernte 2007, wurden auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf des Julius Kühn-Instituts herbizidfreie Parzellen in einem Dauerfeldversuch angelegt. Seit Herbst 2007 werden diese Parzellen nun wieder mit Herbiziden behandelt. Das Versuchsfeld Dahnsdorf befindet sich im Bundesland Brandenburg, in der Naturregion Hoher Fläming. Die Region ist durch häufige Vorsommertrockenheit geprägt. Um die Unterschiede zwischen den ehemals nichtbehandelten (1995 bis 2007) und den immer mit Herbiziden behandelten Parzellen zu erkennen, werden die Unkräuter jedes Jahr vor den jeweiligen Herbizidbehandlungen nach Art und Dichte erfasst. Die Zählungen erfolgen entweder im Herbst oder Frühjahr. Nach über einer Dekade seit der Umstellung des Versuchs sind weiterhin Unterschiede im Unkrautauflauf zwischen den ehemals nichtbehandelten und den behandelten Varianten zu erkennen. Diese Unterschiede wirken sich bei den dikotylen Unkräutern immer noch stark aus, während diese Unterschiede beim Windhalm, als dominierendem monokotylen Unkraut, nicht mehr vorhanden sind.

Stichwörter: *Apera spica-venti*, Dauerfeldversuch, Herbizid, Windhalm

Abstract

In 12 years, from autumn 1995 to harvest 2007, herbicide-free plots were installed in a long-term field trial on the Dahnsdorf field site of the Julius Kühn-Institute. Since autumn 2007, these plots have been again treated with herbicides. The Dahnsdorf field site is located in the federal state of Brandenburg, in the so-called nature region "Hoher Fläming". The region is characterized by frequent early summer drought. In order to identify the differences between the previously untreated plots (1995 to 2007) and the plots always treated with herbicides, each year the species and the density of weeds are recorded before the herbicide treatments. Weed investigations are carried out either in autumn or spring. After more than a decade since the field trial was changed, differences in weed emergence between previously untreated and treated variants can still be seen. These differences still have a strong effect on the emergence of dicotyledonous weeds, whereas these differences no longer exist for the monocotyledonous weeds. The dominant monocotyledonous weed is Apera spica-venti.

Keywords: *Apera spica-venti*, herbicide, long-term field trial, loose silky-bent

Einleitung

Die Zusammensetzung der Unkrautflora auf Ackerflächen wird durch multifaktorielle Gründe bestimmt. Einen wesentlichen Faktor stellen die Bodeneigenschaften dar (DUNKER und NORDMEYER, 1998). Laut DUNKER (2002) nimmt z. B. die Vorkommenswahrscheinlichkeit von Ackerfuchsschwanz mit steigendem Sandgehalt ab. Durch Düngung, meist Stickstoffdüngung, wird ebenfalls Einfluss auf die Dichte und Art der Unkräuter genommen (PULCHER-HÄUSSLING und HURLE, 1986). ZWERGER (1990) findet eine deutliche Steigerung der Samenproduktion bei gesteigerter Stickstoffdüngung. Auch die Art der Bodenbearbeitung wird als ein weiterer wichtiger Parameter genannt (AMANN, 1991; SCHWARZ und PALLUTT, 2014).

Einen wesentlichen Einfluss auf die Zusammensetzung der Unkrautflora hat die Art und Weise der Unkrautbekämpfung. Durch die Unkrautbekämpfung werden die aktuell vorhandenen Unkräuter geschädigt, aber die Nachwirkungen erstrecken sich auch in die Zukunft (GEHRING et al., 2006; SCHWARZ und MOLL, 2010). Die langfristigen Nachwirkungen unterschiedlicher Intensitäten der Unkrautbekämpfung können nur durch Dauerfeldversuche sicher bewertet werden (PALLUTT, 2010). Von besonderem Interesse sind die Nachwirkungen bei völligem Verzicht auf die chemische Unkrautbekämpfung. Gerade im Hinblick auf die Resistenzentwicklung (GEHRING et al., 2018) sind Aussagen zur langfristigen Entwicklung der Unkrautflora von Interesse.

Material und Methoden

Der hier betrachtete Dauerfeldversuch befindet sich auf den Versuchsflächen des Julius Kühn-Instituts in Dahnsdorf. Die geografische Lage ist im südlichen Brandenburg, nahe der Stadt Bad Belzig im Naturraum „Hoher Fläming" (Koordinaten: 52.108494 N, 12.636338 E). Die Bodenbeschaffenheit ist lehmiger Sandboden: 57,9 % Sand, 37,5 % Schluff und 4,6 % Ton. Die Bodenwertzahl liegt im Mittel bei 48 Punkten. Das Versuchsfeld verfügt über eine eigene Wetterstation; im Zeitraum von 1997 bis 2018 beträgt die mittlere Jahrestemperatur 9,5 °C und der mittlere Jahresniederschlags 583 mm. Dabei ist das Jahr 2018 mit lediglich 275 mm Niederschlag hervorzuheben. In der Region herrscht häufig Vorsommertrockenheit.

Seit dem Herbst 1995 wird der Dauerfeldversuch durchgeführt. In den 12 Erntejahren von 1996 bis 2007 wurden unter anderen die Auswirkungen der Pflanzenschutzstrategien „Situationsbezogene Pflanzenschutzmittelaufwandmenge" und „50 % der situationsbezogenen Pflanzenschutzmittelaufwandmenge" in jeweils vier Pflanzenschutzmittelstufen unbehandelte Kontrolle (UK), Fungizid (F), Herbizid (H) und Herbizid und Fungizid (HF) geprüft. In Winterraps und Erbsen wurden anstelle der Fungizide die Insektizide als Faktor geprüft.

In den Stufen „UK" und „F" wurde somit in 12 Jahren keine Herbizidbehandlung durchgeführt. Eine detaillierte Versuchsbeschreibung findet sich bei PALLUTT et al. (2010).

Im Herbst 2007, zum Erntejahr 2008, erfolgte eine Neuausrichtung des Dauerfeldversuchs. Die Pflanzenschutzstrategien wurden modifiziert, ebenso die Pflanzenschutzmittelstufen, die Bodenbearbeitung wurde als Prüffaktor aufgenommen und die Fruchtfolge angepasst. Die aktuelle Fruchtfolge besteht aus Winterraps – Winterweizen – Winterroggen – Silomais – Erbse und Triticale. Details zur weiteren Genese der Fruchtfolge finden sich bei SCHWARZ und PALLUTT (2016).

Die Pflanzenschutzstrategie „Situationsbezogene Pflanzenschutzmittelaufwandmenge" wurde überführt in die „Gute fachliche Praxis (GfP)". Hier erfolgt die Auswahl der Pflanzenschutzmittel praxisüblich, unter Einbeziehung der Hinweise des amtlichen Pflanzenschutzdienstes. Die Strategie „50 % der situationsbezogenen Pflanzenschutzmittelaufwandmenge" wurde zum „Integrierten Pflanzenschutz (IPS)". Hier erfolgt eine stärkere Berücksichtigung von Schwellenwerten, eine situationsbezogene Dosierung und ein- bzw. mehrfache Anwendung reduzierter Aufwandmengen (Splitting). Aufgrund der Einführung der Verbindlichkeit der allgemeinen Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes zum 01.01.2014 mussten auch die beiden Pflanzenschutzstrategien angepasst werden. Ab dem Erntejahr 2014 entsprechen die „Allgemeinen Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (GfP)" der ehemaligen Strategie „Gute fachliche Praxis (GfP)". Die „Sektor- und Kulturartspezifischen Leitlinien des Integrierten Pflanzenschutzes (IPS)" entstanden aus der Strategie „Integrierter Pflanzenschutz (IPS)". In der Strategie IPS wird angestrebt, den Behandlungsindex (BI) im Mittel der Jahre etwas geringer zu halten, als in der GfP Strategie.

Seit 2014 werden in GfP und IPS in Raps, Weizen und Roggen verschiedene Sorten mit unterschiedlichen Resistenzeigenschaften angebaut.

In beiden Strategien „GfP" und „IPS" werden die Nachwirkungen aus den vorangegangenen 12 Jahren der vier Pflanzenschutzmittelstufen (UK, H, F und HF) ermittelt. Die Stufe „UK" wurde zur Stufe „H1", seit Herbst 2007 werden wieder Herbizide eingesetzt, nachdem 12 Jahre lang auf Herbizide verzichtet wurde. Jedoch wird weiterhin auf den Einsatz von Fungiziden im Getreide bzw.

Insektizide in Raps/Erbsen verzichtet. Die ehemalige Stufe „F" wurde zu „HF1", auch hier werden seit Herbst 2007 wieder Herbizide eingesetzt, seit Versuchsbeginn wurden Fungizide in Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen eingesetzt. Die Stufen „H" und „HF" erfuhren seit Versuchsbeginn keine Änderung. In der Stufe „H" werden keine Fungizide im Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen eingesetzt, jedoch Herbizide. In der Stufe „HF" wurden seit Versuchsbeginn Herbizide und auch Fungizide im Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen eingesetzt.

Vor der Herbizidbehandlung wird in jeder Versuchsparzelle (also z. B. GfP H1) der Unkrautauflauf nach Art und Anzahl erfasst, je Versuchsparzelle an vier Zählstellen mit jeweils 0,25 m^2 Größe, in der Summe also 1 m^2. Die Zählungen erfolgen meist im Herbst, teilweise bei Weizen auch im Frühjahr.

Im Folgenden werden die Unkrautzählungen der Kulturen Winterweizen, Winterroggen und Triticale betrachtet. Die Vorfrüchte der betrachteten Kulturen waren dabei seit 2008 konstant, vor Winterweizen stand Winterraps, vor Winterroggen der Winterweizen und vor Triticale waren Erbsen die Vorfrucht. Es werden im Weiteren die Resultate der gepflügten Varianten betrachtet, unterschieden nach den Strategien. Die Varianten der ehemals nicht mit Herbiziden behandelten Varianten (H1 und HF1) werden ebenso wie die immer mit Herbiziden behandelten (H und HF) zusammengefasst.

Ergebnisse und Diskussion

Die Auswahl der Herbizide erfolgte für jedes Jahr und jede Kultur auf Grundlage der Unkrautzählungen. Die Dichte und Art des Unkrautauflaufs wurden dabei berücksichtigt. Tabelle 1 stellt den mittleren Behandlungsindex (BI) der Herbizide für die Kulturarten Triticale, Winterroggen und Winterweizen dar. Das angestrebte Ziel, den BI in der Strategie IPS im Mittel der Jahre geringer als in der Strategie GfP zu halten, wurde erreicht. Generell sind die BIs im Vergleich zur Praxis als eher gering zu bewerten, ein Grund kann das sehr intensive und zeitaufwändige Monitoring der Flächen sein. Aber auch die zeitgerechte Herbizidapplikation tragen zu einem niedrigen BI bei.

Tab. 1 Mittlerer Behandlungsindex der Herbizide in Pflanzenschutzstrategien GfP und IPS (2008 - 2019).

Tab. 1 *Mean of the treatment frequency index of herbicides for the plant protection strategies GfP and IPS (2008 - 2019).*

Kultur	Pflanzenschutzstrategie	Behandlungsindex Herbizide
Triticale	GfP	0,9
	IPS	0,7
Winterroggen	GfP	1,0
	IPS	0,8
Winterweizen	GfP	1,1
	IPS	0,9

Die Auswirkungen der ehemals herbizidfreien Varianten (H1 und HF1) auf den Auflauf mit monokotylen Unkräutern, in Dahnsdorf vorwiegend der Windhalm (*Apera spica-venti*), sind noch drei bis vier Jahre sichtbar. Im weiteren Verlauf überwiegen dann die Einflüsse der wendenden bzw. nichtwendenden Bodenbearbeitung (SCHWARZ, 2018). Die Tabelle 2 zeigt den mittleren Windhalmauflauf der Jahre 2008 bis 2018. Auf das Jahr 2019 wurde, aufgrund der extremen Trockenheit und des dadurch sehr geringen Unkrautauflaufs im Herbst, verzichtet. Hier waren die Unterschiede zwischen den Herbstzählungen bei Triticale und Roggen mit 1 bis 2 Windhalmpflanzen je m^2 und der Frühjahrszählung im Winterweizen mit ca. 40 Pflanzen je m^2 sehr groß. Dies war bedingt durch die im Spätherbst und Winter gefallenen Niederschläge und den daraus resultierenden verbesserten Keimbedingungen.

In Abbildung 1 wird der Auflauf der dikotylen Unkräuter in der Strategie GfP als Mittel der drei Getreidearten dargestellt. In den helleren Balken ist der Auflauf der seit Versuchsbeginn (1995) immer mit Herbiziden behandelten Varianten H und HF zu sehen. Die dunklen Balken zeigen den Auflauf der dikotylen Unkräuter in den ehemals (bis 2007) unbehandelten Varianten.

In Abbildung 2 wird der Auflauf der dikotylen Unkräuter in der Strategie IPS dargestellt, die farbliche Darstellung ist analog zu Abbildung 1.

Tab. 2 Mittlerer Windhalmauflauf in den Pflanzenschutzstrategien GfP und IPS (2008 - 2018).

Tab. 2 *Mean of occurrence of loose silky-bent for the plant protection strategies GfP and IPS (2008 - 2018).*

Kultur	Pflanzenschutzstrategie	Pflanzenschutzvariante	Windhalmauflauf Pflanzen/m²
Triticale	GfP	H1 und HF1	29,5
		H und HF	20,9
	IPS	H1 und HF1	20,4
		H und HF	20,2
Winterroggen	GfP	H1 und HF1	31,4
		H und HF	26,5
	IPS	H1 und HF1	34,9
		H und HF	33,3
Winterweizen	GfP	H1 und HF1	51,5
		H und HF	47,5
	IPS	H1 und HF1	53,7
		H und HF	53,7

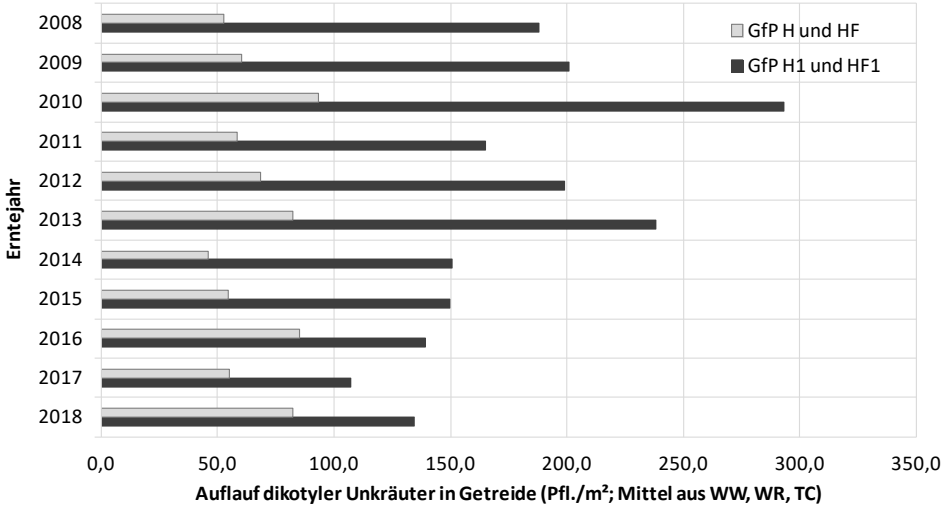


Abb. 1 Auflauf dikotyler Unkräuter als Mittel der Getreide (Winterweizen, Winterroggen und Triticale) in der Strategie GfP und den Varianten H und HF bzw. H1 und HF1.

Fig. 1 *Emergence of dicotyledonous weeds listed as mean of the cereals (winter wheat, winter rye and triticale) for the GfP strategy and the variants H and HF and H1 and HF1, respectively.*

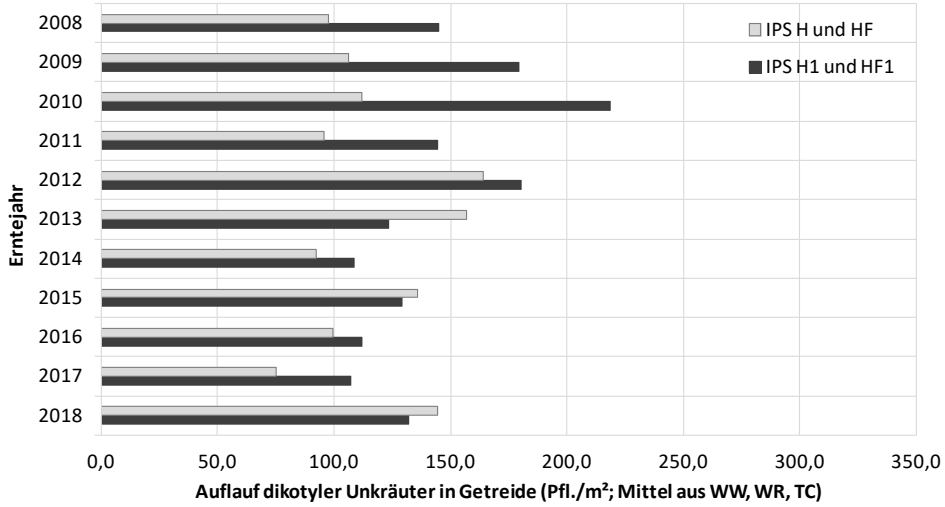


Abb. 2 Auflauf dikotyler Unkräuter als Mittel der Getreide (Winterweizen, Winterroggen und Triticale) in der Strategie IPS und den Varianten H und HF bzw. H1 und HF1.

Fig. 2 *Emergence of dicotyledonous weeds listed as mean of the cereals (winter wheat, winter rye and triticale) for the IPS strategy and the variants H and HF and H1 and HF1, respectively.*

Die Nachwirkung des erhöhten Auflaufs dikotyler Unkräuter in der Strategie GfP zeigt die Abbildung 1. In jedem Jahr ist die Dichte der aufgelaufenen dikotylen Unkräuter in der Strategie H1 und HF1 größer als in der Strategie H und HF. Dies bedeutet, dass auch nach einer Dekade die Nachwirkung der 12 Jahre ohne Herbizid noch im Auflauf der dikotylen Unkräuter zu sehen sind. Seit dem Jahr 2014 nähern sich die Auflaufzahlen etwas an. Bis 2014 war die Dichte der aufgelaufenen dikotylen Unkräuter in der Variante H1 und HF1 im Mittel ca. dreimal so hoch wie in der Variante H und HF. Seit 2014 ist die Dichte im Mittel ca. doppelt so hoch.

In der der Strategie IPS waren die Unterschiede nie so ausgeprägt, siehe Abbildung 2. Im Jahr 2013 liefen sogar erstmals in den ehemals unbehandelten Varianten (H1 und HF1) weniger dikotyle Unkräuter auf als in den immer mit Herbiziden behandelten. Generell ist in der Variante H und HF in der Strategie IPS der Unkrautauflauf höher als in der vergleichbaren Variante in GfP. Im Mittel der Jahre beträgt der Unkrautauflauf der dikotylen Unkräuter für GfP H und HF 67,1 Pflanzen/m², in der Strategie IPS dagegen 116,4 Pflanzen/m².

Gründe dafür kann die Vorgeschichte mit den um 50 % reduzierten Herbizidaufwandmengen der Jahre 1995 bis 2007 sein, aber auch der derzeitige geringere BI (siehe Tabelle 1) spielt eine Rolle.

Die Nachwirkungen waren bei der Strategie IPS stets schwächer ausgeprägt und tendenziell näheren sich die Varianten H1 und HF1 bzw. H und HF bezüglich der Auflaufzahlen dikotyler Unkräuter an.

Literatur

AMANN, A., 1991: Einfluss von Saattermin und Grundbodenbearbeitung auf die Verunkrautung in verschiedenen Kulturen. Dissertation Universität Hohenheim, 148 Seiten.

DUNKER, M., 2002: Erfassung und Modellierung der kleinräumigen Unkrautverteilung auf Ackerflächen in Abhängigkeit von der Bodenvariabilität. Dissertation Technische Universität Braunschweig.

DUNKER, M., H. NORDMEYER, 1998: Bodeneigenschaften als Ursache der Unkrautverteilung auf Ackerflächen. 51. Deutsche Pflanzenschutztagung. Mitteilungen der BBA **357**, 233.

GEHRING, K., S. THYSSEN, T. FESTNER, 2006: Anpassung der Unkrautflora an eine unterschiedliche Intensität der Herbizidbehandlung. Gesunde Pflanzen **58**, 52-56.

GEHRING, K., S. THYSSEN, T. FESTNER, 2018: Stand und Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv, Heft **458**, 113-120.

PALLUTT, B., 2010: 30 Jahre Dauerfeldversuche zum Pflanzenschutz. Journal für Kulturpflanzen **62**, 230-237.

PULCHER-HÄUSSLING, M., K. HURLE, 1986: Einfluss der N-Düngung auf die Konkurrenz zwischen Unkräutern und Winterweizen. Proceedings EWRS Symposium, Economic Weed Control, 137-144.

SCHWARZ, J., E. MOLL, 2010: Entwicklung der Verunkrautung in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Herbizidintensität. Journal für Kulturpflanzen **62**, 317-325.

SCHWARZ, J., B. PALLUTT, E. MOLL, 2012: Einfluss von Fruchtfolge und Herbizidaufwandmenge auf die Verunkrautung. Julius-Kühn-Archiv **434**, 337-344.

SCHWARZ, J., B. PALLUTT, 2016: Unkrautauflauf auf langjährig nicht mit Herbiziden behandelten Ackerflächen - Dauer der Nachwirkung. Julius-Kühn-Archiv **452**, 130-135.

SCHWARZ, J., 2018: Effect of different soil cultivation methods on the emergence of *Apera spica-venti.* Julius-Kühn-Archiv **458**, 303-306.

ZWERGER, P., 1990: Modelluntersuchungen zum Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Samenproduktion und die Schadwirkung von *Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve und drei *Polygonum*-Arten. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XII**, 107-113.

Untersuchungen zur Bedeutung des Auftretens von *Datura stramonium* in Mais und Rispenhirse

Investigations on the importance of the occurrence of Datura stramonium in maize and common millet

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.2020.464.007

Zusammenfassung

Dem Europäischen Schnellwarnsystem für Lebensmittel und Futtermittel (RASFF) sind regelmäßig Meldungen über Tropanalkaloid-belastete Getreideprodukte (insbesondere Mais und Rispenhirse) zu entnehmen. Tropanalkaloide sind sekundäre Pflanzenstoffe, die z. B. in Nachtschattengewächsen wie dem Weißen Stechapfel (*Datura stramonium)* enthalten sind. Kommt es zur Kontamination des Erntegutes, können Tropanalkaloide für unterschiedliche Vergiftungserscheinungen verantwortlich sein. In zweijährigen Feldversuchen wurden die Konkurrenzfähigkeit von *Datura stramonium* in Mais sowie die Kontaminationswege in das Erntegut bei Körnermais und Rispenhirse untersucht. Als ein Ergebnis der Versuche zeigte sich, dass die Art unter unseren Anbaubedingungen als konkurrenzschwach einzustufen ist. Dennoch sollte das Auftreten von *Datura stramonium* in Feldbeständen begrenzt werden, da nur wenige Pflanzen pro Hektar ausreichend sind, um eine Grenzwertüberschreitung mit Tropanalkaloiden herbeizuführen.

Stichwörter: *Datura stramonium*, Kontamination, Konkurrenz, Tropanalkaloide

Abstract

The European Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF) regularly reports on tropane alkaloid-contaminated cereal products (in particular maize and common millet). Tropane alkaloids are secondary plant substances. Tropane alkaloids are included for example in different nightshade plants, such like *Datura stramonium*. If there are contaminations of the crop, tropane alkaloids may be responsible for different symptoms of intoxication. In two-year field trials, the behavior of competition of *Datura stramonium* in corn as well as the contamination paths into the harvested crop of grain maize and common millet were examined. As a result of the experiments, it was found that the species under our growing conditions is considered to be low competitive. Nevertheless, only a few plants per hectare are sufficient to cause a limit exceedance with tropane alkaloids.

Keywords: Competition, contamination, *Datura stramonium*, tropan alkaloids

Einleitung

Tropanalkaloide (TA) sind sekundäre Pflanzenstoffe, die in über 200 verschiedenen Verbindungen vor allem in Nachtschattengewächsen (*Solanaceae*) wie Schwarzem Bilsenkraut (*Hyoscyamus niger*), Weißem Stechapfel (*Datura stramonium*) und Tollkirsche (*Atropa belladonna*) vorkommen. Aber auch Kreuzblütler und andere Pflanzenfamilien sind betroffen. Einige Pflanzen, die Tropanalkaloide enthalten, insbesondere *Datura stramonium* und *Hyoscyamus niger,* treten als Ackerunkräuter in Deutschland und weltweit auf. Geraten Pflanzenbestandteile dieser Arten ins Erntegut, sind Vergiftungen beim späteren Verzehr nicht ausgeschlossen. Besonders betroffene Kulturarten sind Mais und andere Mähdruschfrüchte. Obwohl die Möglichkeiten der Getreidereinigung heutzutage ausgesprochen ausgereift sind, kommen dennoch Intoxikationen mit Tropanalkaloiden vor. So erkrankten 2003 in Slowenien 73 Personen, nachdem sie mit *D. stramonium*-Samen kontaminierte Buchweizenprodukte verzehrt hatten (Perharic et al., 2005). In Österreich kamen mehrere Personen nach Verzehr eines mit Stechapfelsamen kontaminierten Hirsegerichtes zu Schaden (Fretz et al., 2007). Die EU hat ihre Mitgliedstaaten dazu aufgerufen, problematische Lebensmittel wie Erzeugnisse aus Buchweizen, Hirse und Mais systematisch auf Tropanalkaloide zu untersuchen, um einen Überblick über die Rückstandssituation zu bekommen (Amtsblatt der Europäischen Union 2015). In einer von der EFSA in Auftrag gegebenen Studie zeigt sich, dass in einer beachtlichen Zahl beprobter Lebensmittel Tropanalkaloide vorkommen (Mulder et al., 2016).

Die EFSA hat eine Gruppen-ARfD (akute Referenzdosis) für Tropanalkaloide von 0,016 µg/kg Körpergewicht pro Tag festgelegt (Efsa, 2013). Bedingt durch diesen niedrigen Wert, kommen die

Autoren in einem Bericht des FIBL (TONG et al., 2017) in einer Modellrechnung zu dem Schluss, dass für *D. stramonium* quasi eine Nulltoleranzgrenze gilt. Allerdings sind von Seiten des BfR aktuell keine Vergiftungsmeldungen durch kontaminierte Tropanalkaloid-Produkte bekannt (BFR, 2013).

Dennoch sollte es das Ziel sein, tropanalkaloid-haltige Pflanzen auf den Äckern zu vermeiden. Denn grundsätzlich kann bei der Ernte von Mähdruschfrüchten ein Miternten dieser Pflanzen nicht ausgeschlossen werden. Die neben dem Schwarzen Bilsenkraut am häufigsten auf deutschen Ackerflächen anzutreffende tropanalkaloid-haltige Unkrautart ist *Datura stramonium* (MEHRTENS, 2005). Die Konkurrenzfähigkeit von *D. stramonium* in Körnermais und mögliche Kontaminationswege in das Erntegut wurden in verschiedenen Versuchen am JKI in Braunschweig in den Jahren 2017 und 2018 untersucht. Dabei wurde auch überprüft, ob Kontaminationen ohne Samen, z. B. nur über Pflanzensäfte oder sonstige Pflanzenpartikel, möglich sind.

Material und Methoden

Um Informationen hinsichtlich der Konkurrenzeigenschaften von *D. stramonium* und die Eintragswege von Tropanalkaloid-Bestandteilen in das Erntegut zu erhalten, wurden drei Feldversuche auf Flächen des JKI Braunschweig angelegt. In einem Kleinparzellenversuch (Feldversuch 1) wurde der Einfluss variierender *D. stramonium*-Dichten in Mais in Hinblick auf den Ernteertrag ermittelt. In Feldversuch 2 (Mais) und Feldversuch 3 (Rispenhirse) wurde unter Praxisbedingungen der Eintrag von *D. stramonium* in das Erntegut untersucht. Die wichtigsten Angaben zu den jeweiligen Versuchsstandorten und zur Versuchsdurchführung sind in Tabelle 1, die Witterungsdaten für die Versuchszeiträume 2017 und 2018 in Tabelle 2 zu finden.

Feldversuch 1 (Konkurrenz *D. stramonium* in Mais)

In Feldversuch 1 wurde das Konkurrenzverhalten von Mais gegenüber vier verschiedenen *D. stramonium*-Pflanzdichten (0, 5, 10 und 15 Pflanzen/m^2) in den Jahren 2017 und 2018 geprüft. Dazu erfolgte zeitgleich zum Maislegen auf dem jeweiligen Versuchsschlag eine Aussaat von *D. stramonium*-Samen im Gewächshaus. Die dort angezogenen Pflanzen wurden im 2-Blatt-Stadium des Mais in vierfacher Wiederholung in 9 m^2 große Parzellen (3 x 3 m) eingesetzt, die in dem jeweiligen Maisschlag vorbereitet waren. Unmittelbar nach der Pflanzung wurden die Pflanzen einmal gewässert, damit das Anwachsen gewährleistet war. Die Versuchsfläche wurde in beiden Jahren von anderen Unkräutern freigehalten. Hierzu erfolgte im Vorauflauf des Mais eine Herbizidapplikation mit 4 l/ha Gardo Gold (312,5 g/l S-Metolachlor + 187,5 g/l Terbuthylazin). Später aufgelaufenes Unkraut wurde händisch aus den Parzellen entfernt. Beerntet wurde eine mittig liegende, 1 m^2 große Fläche in der Parzelle, die bereits beim Einsetzen der *D. stramonium*-Pflanzen gekennzeichnet worden war. Bestimmt wurden die Kolbentrockenmasse der Maispflanzen und die Trockenmasse der *D. stramonium*-Pflanzen. Eine einfaktorielle Varianzanalyse wurde mit RStudio (R Core Team, 2017) unter Verwendung des Tukey-Tests zur Bestimmung der signifikanten Unterschiede bei $P < 0{,}05$ durchgeführt.

Feldversuch 2 (Kontamination Körnermais)

In Streifenanlagen mit je 4 Maisreihen wurden 2017 (56 m Länge) und 2018 (100 m Länge) unter Praxisbedingungen der Eintrag von *D. stramonium*-Partikeln und der daraus resultierende Tropanalkaloid-Gehalt im Maiserntegut untersucht.

In 2017 wurden in die Streifen jeweils 0, 1, 7 und 75 *D. stramonium*-Pflanzen ausgepflanzt. Das ergab Dichten von 0; 0,006; 0,04 und 0,45 Pfl./m^2. Die Ernte der Streifen erfolgte am 19.10.2017 mit einem Praxismähdrescher (Lexion 430) mit Maispflückwerk. Aus dem Erntegut jeder Variante wurde eine Mischprobe von 15 kg Körnermais abgewogen. Nach dem Trocknen dieser Basisprobe wurde 1 kg Mais entnommen, gesiebt, grob gereinigt und danach zu Maismehl vermahlen. Das Mehl wurde zur Bestimmung der Tropanalkaloid-Rückstände an ein Labor gesandt (KWALIS - Qualitätsforschung Fulda GmbH).

Tab. 1 Angaben zu den Versuchsstandorten und zur Versuchsdurchführung.

Tab. 1 *Description of trial sites and experimental protocol.*

Versuchsjahre Versuchsort	**Feldversuch 1 2017 und 2018 Sickte (Schlag 10)**	**Feldversuch 2 2017 und 2018 Sickte (Schlag 10)**	**Feldversuch 3 2017 Braunschweig (Schlag 3)**
Kultur (Sorte)	Körnermais (LG 30.224)	Körnermais (LG 30.224)	Rispenhirse (Kornberger)
Versuchszweck	Konkurrenz	Kontamination	Kontamination
Aussaat Kultur	28.04.2017 03.05.2018	28.04.2017 03.05.2018	24.05.2017
D. stramonium-Pflanzdichten	2017 und 2018: 0 Pfl./m² 5 Pfl./m² 10 Pfl./m² 15 Pfl./m²	2017: 0 Pfl./m² 0,006 Pfl./m² 0,04 Pfl./m² 0,45 Pfl./m² 2018: händisch zugeführt *	2017: 0 Pfl./m² 0,017 Pfl./m² 0,1 Pfl./m² 1 Pfl./m² händisch zugeführt *
D. stramonium-Pflanztermin	31.05.2017 23.05.2018	31.05. 2017 keine Pflanzung 2018	19.06.2017
Wiederholungen	4	Keine	Keine
Größe Ernteparzellen	1 m²	2017: je Variante 168 m² 2018: je Variante 300 m²	je Variante 54 m²
Reihenweite	75 cm	75 cm	12 cm
Ernteverfahren	Handernte	Lexion 430 mit Maisgebiss	Parzellendrescher
Erntegut	Kolbentrockenmasse	Maiskörner	Hirsekörner
Erntedatum	19.09.2017 21.08.2018	19.10.2017 27.09.2018	04.10.2017

* aktive Zuführung unterschiedlicher Mengen Kontaminationsmaterials in die Dreschorgane

Tab. 2 Wetterdaten am Standort Braunschweig in den Versuchszeiträumen der Jahre 2017 und 2018.

Tab. 2 *Weather data at the location Braunschweig in the test periods of the years 2017 and 2018.*

	Mai	**Juni**	**Juli**	**Aug.**	**Sept.**	**Okt.**	**Mai-Okt.**
Niederschlag mm							Summe
2017	86,5	116,5	175,6	114,9	76,7	53,5	623,7
2018	12,9	6,1	24,5	21,7	32,4	15,4	113
Temperatur °C							MW
2017	16,5	19,2	18,7	18,4	13,9	12,4	16,5
2018	17,6	19,1	21,9	21,3	16,3	11,7	18,0

Da im Jahr 2017 keine TA-Kontamination ermittelt werden konnte (siehe Ergebnisteil), erfolgte 2018 eine aktive Kontamination, indem, während des Maisdruschs, der Einzugsschnecke des Mähdreschers *D. stramonium*-Pflanzenmaterial zugeführt wurde und somit zwangsläufig eine Berührung des Erntegutes mit dem Kontaminationsmaterial erfolgen musste. Dieses stammte von 50 kurz zuvor geernteten etwa 30-40 cm hohen *D. stramonium*-Pflanzen (~1 kg), die im Wesentlichen nur aus einem Stängel und wenigen daran anhaftenden Blättern bestanden, da die vorhandenen Samenkapseln entfernt worden waren. Bei einem zweiten Kontaminationsdurchgang mit gleicher Wegstrecke wurde eine entsprechende *D. stramonium*-Pflanzenmenge inklusive Samenkapseln hinzugegeben. Bei den verwendeten *D. stramonium*-Pflanzen kann mit einer Größenordnung von ca. 200 Samen/Pflanze kalkuliert werden (Stichprobenzählung). Somit sind beim zweiten Kontaminationsdurchgang schätzungsweise 10000 Samen zusätzlich zum übrigen Pflanzenmaterial mit in den Mähdrescher gelangt. Das weitere Vorgehen bis zum Verschicken des Maismehls entsprach dem Vorgehen in 2017. In Tabelle 3 sind die Varianten des Feldversuches 2 zusammengefasst.

Tab. 3 Feldversuch 2 – Übersicht der Varianten zur Bestimmung der Erntegutkontamination in Mais.

Tab. 3 *Field trial 2 - Overview of the variants for determining the crop contamination in maize.*

	Versuchs-jahr	*D. stramonium*-Pfl./m²	Körnermaisertrag dt/ha	TA-Gesamt* µg/kg	Bemerkungen
1	2017	0 Pfl./m²	100	<1	Kontrolle
2	2017	0,006 Pfl./m²	100	<1	In den Bestand gepflanzt
3	2017	0,04 Pfl./m²	100	<1	In den Bestand gepflanzt
4	2017	0,45 Pfl./m²	100	<1	In den Bestand gepflanzt
5	2018	0 Pfl./m²	50	<1	Kontrolle
6	2018	0,2 Pfl./m²	50	23	aktive Kontamination, 50 kleine Pflanzen, vorwiegend Stängelmaterial ohne Samen
7	2018	0,2 Pfl./m²	50	193	aktive Kontamination, 50 kleine Pflanzen, vorwiegend Stängelmaterial mit Kapseln und Samen

* TA-Gesamt = Summe Atropin+Scop0lamin

Feldversuch 3 (Kontamination Rispenhirse)

Ähnlich wie bei Feldversuch 2 wurden im Jahr 2017 vier Streifen (je 1,5 m x 36 m) in einen Schlag mit Rispenhirse hineingelegt. Die Streifen waren mit unterschiedlichen *D. stramonium*-Pflanzdichten versehen (0; 0,02; 0,1 und 1 Pfl./m²), um später nach der Rispenhirse-Ernte den Einfluss der Pflanzdichte auf eine mögliche Tropanalkaloid-Kontamination zu bestimmen. Zur Beerntung dieser Streifen am 04.10.2017 mit einem Parzellenmähdrescher, waren die *D. stramonium*-Pflanzen aber so klein geblieben (ca. 20 cm Höhe), dass sie in dem dichten, noch mit grünen Hirsestroh versehenen Bestand, der nur mit sehr hoch geführten Mähdrescherschneidwerk (ca. 60 cm) gedroschen werden konnte, nicht erfasst wurden. Aus diesem Grund erfolgte eine aktiv vorgenommene Kontamination. Es wurden jeweils auf einer 36 m langen Wegstrecke umgerechnet auf einen Hektar 22,2 kg/ha *D. stramonium*-Frischmasse, 157,4 kg/ha *D. stramonium*-Frischmasse und 92 kg/ha *D. stramonium*-Kapseln (z. T noch grün mit Samen) während des Druschvorgangs zugegeben. Da der Ernteertrag der Fläche bei 35 dt/ha lag, bedeutet dieses, dass bei 54 m² beernteter Fläche rund 19 kg Rispenhirse mit dem Kontaminationsgut in Berührung gekommen sind. Das Erntegut des jeweiligen Streifens wurde anschließend getrocknet und es wurde 1 kg Hirse entnommen, gesiebt, grob gereinigt und danach zu Hirsemehl vermahlen. Das Mehl wurden zur Bestimmung der Tropanalkaloid-Rückstände an ein Labor eingesandt (KWALIS - Qualitätsforschung Fulda GmbH). In Tabelle 4 sind die Varianten des Feldversuches 3 zusammengefasst.

Tab. 4 Feldversuch 3 – Übersicht der Varianten zur Bestimmung der Erntegutkontamination in Rispenhirse.

Tab. 4 *Field trial 3 - Overview of variants for the determination of crop contamination in Panicum miliaceum.*

Nr.	Versuchs-jahr	FM Datura kg/ha	Hirse-Kornertrag dt/ha	TA-Gesamt* µg/kg	Bemerkungen
1	2017	0	35	<1	Kontrolle
2	2017	22,2	35	11,5	FM ohne Samen
3	2017	157,4	35	149	FM ohne Samen
4	2017	92,6	35	7700	Nur grüne Kapseln mit Samen

* TA-Gesamt = Summe Atropin+Scop0lamin

Ergebnisse

Feldversuch 1 (Konkurrenz *D. stramonium* in Mais)

In beiden Versuchsjahren wurden die Kolbentrockenmasse-Erträge der Maispflanzen (Abb. 1) erfasst. In 2017 waren keine Ertragsverluste, bedingt durch die Konkurrenz von *D. stramonium*-Pflanzen, festzustellen. In der Kontrolle lag der durchschnittliche Kolbentrockenmasse-Ertrag mit

167 dt/ha sogar geringfügig niedriger als in der Variante mit 15 *D. stramonium*-Pflanzen/m², in der rund 180 dt/ha erzielt wurden. In 2018 war das Ertragsvolumen, verursacht durch ausbleibende Niederschläge, insgesamt deutlich geringer. In der *D. stramonium*-freien Kontrolle wurden etwas höhere Maiserträge (62 dt/ha) erzielt, als in den Varianten mit *D. stramonium*-Pflanzen. Während bei 5 *D. stramonium*-Pfl./m² 59 dt/ha realisiert wurden, waren es bei 10 Pfl/m² 44 dt/ha und bei 15 Pfl/m² 48 dt/ha. Signifikant waren die Ertragsunterschiede aber in keinem der Versuchsjahre.

Die Gesamttrockenmasse (dt/ha) der *D. stramonium*-Pflanzen nahm in 2017 mit steigender Pflanzenzahl/m² ansatzweise proportional zu und betrug bei 5 Pflanzen/m² rund 1,5 dt/ha, während bei 15 Pfl./m² etwa 3,5 dt/ha *D. stramonium*-TM geerntet werden konnten. Ein anderes Bild zeigte sich in 2018, als mit 5 Pfl./m² 1,9 dt/ha, mit 10 Pfl./m² 6,5 dt/ha und mit 15 Pfl/m² wieder ein Abfall auf 5,5 dt/ha Trockenmasse-Ertrag festgestellt wurde (Abb. 2). Gegensätzlich zum Maisertrag war der *D. stramonium*-Trockenmasse-Ertrag im Trockenjahr 2018 höher als im niederschlagsreichen Jahr 2017.

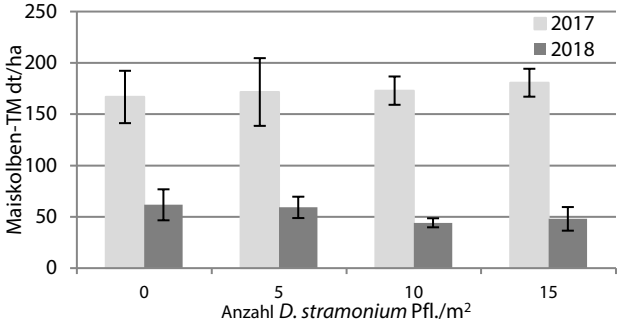


Abb. 1 Maiskolben-Trockenmasse (dt/ha) in 2017 und 2018.

Fig. 1 *Corn cob dry mass in 2017 und 2018.*

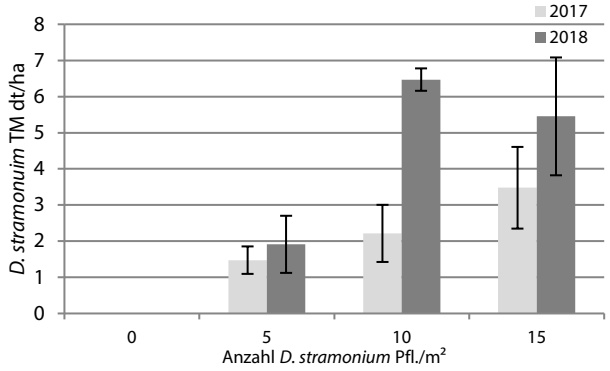


Abb. 2 *D. stramonium*-Trockenmasse dt/ha in 2017 und 2018.

Fig. 2 *Datura dry mass dt/ha in 2017 und 2018.*

Feldversuch 2 (Kontamination Körnermais)

Die zur Untersuchung eingesandten vier Ernteproben aus dem Jahr 2017 zeigten keine Verunreinigungen mit Tropanalkaloiden. Dies überraschte zunächst, da die zuvor in den Maisbestand eingepflanzten *D. stramonium*-Pflanzen zur Ernte eine Wuchshöhe von ca. 30 - 60 cm aufwiesen und bereits Kapseln mit Samen gebildet hatten. Bei einer Maisstängel-Schnitthöhe des Mähdreschers von 20 cm hätte man erwartet, dass die *D. stramonium*-Pflanzen zumindest teilweise erfasst würden und nachfolgend eine Kontamination des Erntegutes erfolgt wäre.

Um Ergebnisse mit verunreinigtem Mais zu erhalten, wurde daher 2018 eine Kontamination aktiv vorgenommen (s.o.). Bei einer Erntemenge von lediglich 50 dt/ha Mais, wie im Trockenjahr 2018, enthielt das aus dem Erntegut vermahlene Maismehl 23 µg TA/kg Maismehl. Wurde die gleiche Anzahl *D. stramonium* Pflanzen mit Samenkapseln in den Mähdrescher hineingegeben ergab sich ein Tropanalkaloid-Wert im Maismehl von 193 µg/kg (siehe auch Tab. 3).

Feldversuch 3 (Kontamination Rispenhirse)

Wie oben beschrieben war unter Praxisbedingungen keine Kontamination möglich und es wurden vier Varianten mit künstlicher Verunreinigung etabliert. Im Mähdrescher konnte dann während des Druschvorgangs eine Kontamination der Hirsesamen durch *D. stramonium*-Partikel bzw. Säfte erfolgen. Eine Probe des Erntegutes jeder dieser Varianten wurde zur TA-Untersuchung eingeschickt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 abgebildet. Es zeigte sich, dass in der Variante mit eingebrachten Samenkapseln die Verunreinigung am höchsten lag.

Diskussion

Im Feldversuch 1 zeigte sich, dass die lichtbedürftige Pflanze *D. stramonium* unter unseren Klima- und Anbaubedingungen in hochwachsenden Kulturarten wie Mais, eher als konkurrenzschwach anzusehen ist. In Mais war nur in 2018 eine tendenzielle Abhängigkeit der *D. stramonium*-Verunkrautung auf den Maiskolben-Trockenmasseertrag festzustellen. Deutlich wichtiger waren die Witterungsbedingungen. Die Niederschlagsmengen in den jeweiligen Versuchszeiträumen der beiden Jahre differierten um 500 mm, was zu erheblichen Ertragsunterschieden beim Mais führte (Abb. 1). Im Versuchsjahr 2017 verursachten die *D. stramonium*-Pflanzen keine Konkurrenz um vorhandene Feuchtigkeit und die Maispflanzen konnten in den verunkrauteten Parzellen gegenüber der Kontrolle adäquate Erträge erzielen. Erst mit beginnender Abreife des Maisbestandes, als wieder mehr Licht durch die Reihen zu den *D. stramonium*-Pflanzen gelangen konnte, zogen diese im Wuchs wieder an. Zu diesem Zeitpunkt war der Ertrag der Maispflanzen aber bereits abgesichert.

Der Mais konnte zunächst auch im Trockenjahr 2018 *D. stramonium* weitgehend unterdrücken. Die anhaltende Trockenheit bedingte später aber klein bleibende, mit relativ wenig Blattmasse versehene Maispflanzen und ermöglichte den lichtliebenden *D. stramonium*-Pflanzen, trotz des Wasserdefizites, die Bildung von höheren-Trockenmasseerträgen als 2017 (Abb. 2). Zudem ließ sich 2018 eine gewisse intraspezifische Konkurrenz feststellen, da die *D. stramonium*-Trockenmasseerträge bei 15 Pfl./m^2 gegenüber 10 Pfl/m^2 wieder abfielen.

Ein Erklärungsansatz hinsichtlich der in beiden Versuchsjahren nur zurückhaltend entwickelten *D. stramonium*-Pflanzen könnte in der Vorauflaufbehandlung mit dem Herbizid Gardo Gold zu sehen sein. Hier könnte man annehmen, dass die im Herbizid enthaltenen Wirkstoffe Schädigungen an den eingepflanzten *D. stramonium*-Pflanzen hervorgerufen haben. Dieser Ansatz kann aber verworfen werden, denn in der Rispenhirse in Feldversuch 3 wurden ebenfalls *D. stramonium*-Pflanzen eingesetzt. Aufgrund der Konkurrenzfähigkeit der Rispenhirse blieben diese *D. stramonium*-Pflanzen aber noch wesentlich kleiner (max. 20 cm Wuchshöhe) als im Mais, obwohl in diesem Versuch keinerlei Herbizid eingesetzt worden war. Die Konkurrenzschwäche von *D. stramonium* in hochwachsenden Kulturpflanzenbeständen wird somit im Feldversuch 3 untermauert.

In Feldversuch 2 hatten die *D. stramonium*-Pflanzen im Jahr 2017 zum Zeitpunkt der Ernte schon Kapseln mit Samen gebildet, waren aber noch grün und biegsam. Hier könnte die Ursache für die fehlende Verunreinigung des Erntegutes mit *D. stramonium*-Bestandteilen zu suchen sein. Die dünnen, grünen Pflanzenstängel wurden durch das Maisgebiss zu Boden gedrückt, aber nicht vom Maispflücker in den Mähdrescher befördert. Eventuell wurde dieser Effekt dadurch verstärkt, dass die *D. stramonium*-Pflanzen im Frühjahr mittig zwischen die Maisreihen gepflanzt worden waren. Eine Pflanzung in die Maisreihen hinein hätte unter Umständen eine Aufnahme in den Mähdrescher ermöglicht. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Pflanzen wohl eine stattlichere Größe, als

in dem durchgeführten Versuch, aufweisen müssen um vom Maispflücker mit aufgenommen zu werden.

Die Ergebnisse aus 2018 von Feldversuch 2 zeigen, dass schon wenige *D. stramonium*-Pflanzen/ha ausreichen, um eine Kontamination hervorzurufen, die nicht mehr tolerabel ist. Bei Tropanalkaloiden hat die europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) die Referenzdosis (ARfD), also die Menge einer Substanz, die pro Kilogramm Körpergewicht innerhalb eines Tages ohne erkennbares Risiko für die VerbraucherInnen aufgenommen werden kann, auf 0,016 µg pro Kilogramm Körpergewicht festgelegt. Für eine Person mit 65 kg errechnet sich eine unbedenkliche Gesamtaufnahme von etwa 1 µg TA. Bei einem Getreidevielverzehrer, der 4,5 g Getreide/kg Körpergewicht aufnimmt, dürften also nur rund 3,5 µg TA je kg Getreide enthalten sein um den Referenzwert einzuhalten. Wie an den Versuchsergebnissen zu sehen ist, sind diese Werte sehr schnell erreicht bzw. überschritten (siehe auch Feldversuch 3).

In Feldversuch 3 (Rispenhirse) wurden die *D. stramonium*-Pflanzen, wie im Ergebnisteil beschrieben, nicht mitgeerntet, da die Hirse in etwa 60 cm Höhe vom Schneidwerk abgeschnitten wurde, während die *D. stramonium*-Pflanzen nur eine Gesamthöhe von 20 cm erreichten. Ursache für die kleinen *D. stramonium*-Pflanzen könnten die niedrigen Sommertemperaturen im Jahr 2017 gewesen sein. Als licht- und wärmeliebende Pflanze sind Entwicklungsdefizite anzunehmen. Im Gegensatz dazu entwickelte sich die ebenfalls wärmeliebende Rispenhirse trotz der ungünstigen Bedingungen gut. Obwohl weder chemische noch mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen in der Rispenhirse durchgeführt wurden, zeigte sich diese sehr konkurrenzkräftig und war in der Lage, die *D. stramonium*-Pflanzen und andere Unkrautarten vollständig zu unterdrücken. Durch die absichtlich erzeugte Tropanalkaloid-Verunreinigung des Erntegutes der Rispenhirse konnte gezeigt werden, wie sich eine Kontamination durch verschiedene Pflanzenteile von *D. stramonium* auswirkt. Mit Abstand die höchsten TA-Gehalte kommen durch mitgeerntete Samen zustande.

Die in Feldversuch 2 und 3 erzielten Ergebnisse sind aufgrund der geringen Versuchsanzahl natürlich nur begrenzt aussagefähig, da die angegebenen Werte für *D. stramonium*-Kontaminationen wie Samen je Kapsel, Frischmasse/ha oder Anzahl Pflanzen/ha teilweise nur Größenordnungen und keine exakten Werte wiedergeben. Eindeutig zeigt sich allerdings bei allen Untersuchungen, dass durchweg nur sehr wenig Kontaminationsmaterial ausreichend ist um Grenzwertüberschreitungen im Erntegut zu bewirken.

Da man aufgrund des Klimawandels mit einem verstärkten Auftreten von *D. stramonium* in Deutschland rechnen muss, wird auch die Kontamination von Erntegütern durch Tropanalkaloide an Bedeutung zunehmen.

Danksagung

Für die Anzucht der Pflanzen und die sonstige Versuchsbetreuung möchten wir Susanne Dehyle und Karin Hauffe danken.

Literatur

Amtsblatt der Europäischen Union, 2015: Empfehlung (EU) 2015/976 der Kommission vom 19 Juni 2015 zum Monitoring von Troopanalkaloiden in Lebensmitteln.

Bfr – Bundesinstitut für Risikobewertung, 2013: Hohe Tropanalkaloidgehalte in Getreideprodukten: Bei Menschen mit Herzproblemen sind gesundheitliche Beeinträchtigungen möglich. Stellungnahme Nr. 035/2014 vom 13. November 2013.

Efsa – European Food Safety Authoriy, 2013: Scientific Opinion on Tropane alkaloids in food and feed. EFSA Journal 2013; **11**(10):3386.

Fretz, R., D. schmidt, W. Brueller, L. Girsch, A.M. Pichler, K. Riediger, M. Safer, F. Allerberger, 2007: Food poisoning due to Jimson weed mimicking *Bacillus cereus* food intoxication in Austria, 2006. Int J Infect Dis. 2007 Nov; 11(6):557-8. Epub 2007 May 18.

Mehrtens, J., M. Schulte, K. Hurle, 2005: Unkrautflora in Mais. Gesunde Pflanzen **57**, 206-218.

Mulder, P.P.J., M. de Nijs, M. Castellari, M. Hortos, S. MacDonald, C. Crews, J. Hajslova, M. Stranska, 2016: Occurrence of tropan alkaloids in food. EFSA supporting publication 2016: EN-1140, 200 pp. doi: 10.2903/sp.efsa.2016.EN-1140.

Perharic, L., 2005: Mass tropane alkaloid poisoning due to buckwheat flour contamination. Clin Tocicol **43,** 413.

Tong, B., M. Schild, R. Bickel, H. Dierauer, 2017: Tropanaklaoide in Biolebensmitteln. Schlussbericht FIBL.

Weed populations in the main cultures of Luxembourg: control options and monitoring in a complex environmental and political framework

Unkrautpopulationen in den ackerbaulichen Kulturen Luxemburgs: Bekämpfungsoptionen und Monitoring in einem komplexen umwelt- und agrarpolitischen Umfeld

Sergiu Treer[1*], Moritz Colbus[2], Simon Steiger[2], Michael Eickermann[1], Lucien Hoffmann[1], Marco Beyer[1]

[1]Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), Department Environmental Research and Innovation (ERIN), 41, rue du Brill, 4422 Belvaux, Luxembourg
[2]Chambre d'Agriculture, 261 Route d'Arlon, 8011 Strassen, Luxembourg
*Corresponding author, sergiu.treer@list.lu

DOI 10.5073/jka.2020.464.008

Abstract

Due to ecotoxicological and environmental reasons, chemical treatments for weed control are under discussion. To help farmers in coping with challenges imposed by restricted herbicide availability, projects on using modified crop rotations for reducing weed pressure, digital approaches for better decision support, and a better integration of non-chemical weeding were initiated. First monitoring programs in winter oilseed rape in Luxembourg offered a preliminary overview about mainly widespread weed species like *Stellaria media, Viola arvensis, Polygonum aviculare* as well as *Poa annua, Elymus repens* and *Apera spica-venti*. *Chenopodium album* was found in moderate and high numbers in maize, as well as the spring-germinating *Polygonum* species. *Polygonum convolvulus* escaped from or re-emerged after the chemical control at location Kuborn, while *C. album* was poorly controlled by the mechanical treatments. *Alopecurus myosuroides* plants with mature seeds were almost exclusively found in the South of Luxembourg. All 35 *A. myosuroides* seedling samples tested so far were resistant towards Stomp® Aqua (containing the microtubule assembly inhibitor pendimethalin). In case of Sigma® Maxx (containing the ALS inhibitors iodosulfuron+mesosulfuron), 2 out of 35 samples were sensitive and moderately resistant, respectively. 31 samples were resistant to Sigma® Maxx. 17 out of 35 samples were sensitive to Axial® (containing the ACC-ase inhibitor pinoxaden), while 18 samples were resistant to Axial®.

Keywords: ACCase inhibitors, *Alopecurus myosuroides*, ALS inhibitors, herbicide resistance, Luxembourg, microtubule assembly inhibitors

Zusammenfassung

Chemische Unkrautbekämpfung wird aufgrund von ökotoxikologischen Bedenken diskutiert. Um Landwirten zu helfen, die Ausbreitung von Unkräutern auch bei sinkender Verfügbarkeit von Herbiziden begrenzen zu können, wurden Projekte zu modifizierten Fruchtfolgen zur Reduzierung des Unkrautdruckes, digitale Ansätze für bessere Entscheidungen zum Herbizideinsatz und zur besseren Integration von nicht-chemischen Unkrautbekämpfungsmaßnahmen begonnen. In einem ersten Monitoring in den Rapsbeständen Luxemburgs wurden relativ weit verbreitete Arten wie *Stellaria media, Viola arvensis, Polygonum aviculare* sowie *Poa annua, Elymus repens*, und *Apera spica-venti* gefunden. *Chenopodium album* wurde neben den im Frühjahr keimenden *Polygonum*-Arten in moderater bis hoher Individuenzahl im Mais gefunden. *Polygonum convolvulus* wurde nach chemischer Bekämpfung in hoher Dichte am Standort Kuborn gefunden, wohingegen *C. album* schlecht von mechanischen Methoden bekämpft wurde. *Alopecurus myosuroides*-Pflanzen mit reifen Samen wurden nahezu ausschließlich im Süden Luxemburgs gefunden. Alle 35 bislang getesteten *A. myosuroides* Sämlingsproben waren resistent gegen Stomp® Aqua (mit dem K1 Hemmstoff Pendimethalin). Im Fall von Sigma® Maxx (mit den ALS-Inhibitoren Iodosulfuron+Mesosulfuron), waren jeweils 2 von 35 Proben sensitiv bzw. moderat resistent. 31 Proben waren resistent gegenüber Sigma® Maxx. 17 von 35 Proben waren sensitiv gegenüber Axial® (mit dem ACC-ase Inhibitor Pinoxaden), während 18 Proben resistent gegenüber Axial® waren.

Stichwörter: ACCase-Inhibitoren, *Alopecurus myosuroides,* ALS-Inhibitoren, Herbizidresistenz, Luxemburg, Microtubuli-Aufbau-Inhibitoren

Introduction

After a road accident with a sprayer in neighboring Belgium in 2014, the metazachlor breakdown product 479M08 was found downstream in the largest drinking water reservoir of Luxembourg (KARIER et al., 2017). Since then, herbicide use is increasingly debated. Phasing out products containing glyphosate by 2021 is on the political agenda of Luxembourg; further restrictions of

herbicide use particularly in areas where drinking water is extracted, are targeted. Among pests, weeds are responsible for the highest potential loss of approximately 34% in major crops (OERKE, 2006).

In 2018, the official Luxembourgish Agriculture Statistics Portal (STATEC) reported a total agricultural surface, including permanent pastures, of 131559 ha of land. Out of this surface, in terms of crops, we observe a prevalence of winter cereals, with winter wheat being grown on 11863 ha, winter barley grown on 4286 ha, and winter triticale cultivated on 4669 ha. Oilseed rape, an important broadleaf crop in an otherwise cereal-dominated crop rotation, was grown on 3393 ha, as of year 2018. Maize, a crop serving the country`s livestock sector, is cultivated almost exclusively as silage maize, with a reported surface in 2018 of 14990 ha. Pastures, both perennial and in arable rotations, amounted to 67705 ha, in 2018. (Source: STATEC, 2018)

Luxembourg is located in the central zone for the EU authorization of pesticides together with Belgium and Germany. Therefore, the Luxembourgish herbicide market is dominated by products that are also registered in Belgium or Germany. Major active ingredients as they were contained in the products purchased by Luxembourgish farmers in the year 2016 are given in Tabelle 1.

Tab. 1 Major herbicides purchased by farmers in Luxembourg, 2016.

Tab. 1 *Herbizide, die in Luxemburg in den Hauptkulturen eingesetzt wurden, 2016.*

Active Ingredient*	Sum (kg)	Winter wheat (kg)	Winter barley (kg)	Triticale (kg)	Oilseed rape (kg)	Maize (kg)
Glyphosate**	12.995	2.020	540	690	355	4.385
Isoproturon***	8.180	4.280	2.435	1.010		
Terbuthylazine	5.265					5.030
Pendimethalin	4.345	1.390	960	315		770
Dimethenamid-P	3.205				765	2.325
Pethoxamide	2.585				1.595	850
Flufenacet	2.305	320	200			1.470
Prosulfocarb	1.650	420	310	175		
Metazachlor	1.085				1.065	
Diflufenican	910	490	260	115		
Mesotrione	785					745
Sulcotrione	755					730

*Source: SERVICE D'ECONOMIE RURALE (SER), 2019

**Other uses for glyphosate include potatoes (340 kg), and grassland (1445 kg).

***Isoproturon was banned in 2017

Herbicide-resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides*) has become a problem in neighboring Belgium, France and Germany (MOSS, 2017), but no information on prevalence and spatial distribution of herbicide-resistant weed populations is available from Luxembourg, so far.

Local consultants suspect that when a herbicide did not show satisfactory performance due to the presence of a resistant weed population, a second spray may be applied, which (i) increases herbicide use and (ii) would not be needed, if the spectrum of resistance would have been known before. First assessments of herbicide-resistance were carried out in Luxembourg to minimize ineffective herbicide use by choosing products or non-chemical methods that are still efficient.

It was the purpose of this study to provide a first characterization of the weed populations found in selected major cultures in Luxembourg as a baseline for enhancing weed control with less herbicide input.

Materials and Methods

Winter Oilseed Rape. In winter oilseed rape, a survey was done during 2015 and 2016, in 3 locations in Luxembourg, these locations were Simmern (5°58´E ¦ 49°42´N), Wahl (5°53´E ¦ 49°50´N), and Reisdorf (6°16´E ¦ 49°51´N). Weed species or genera were identified based on visual assessment, aided by the field use of the Android-based app Weed ID, © BASF SE 2018.

Maize. The survey on finding major weed species in 3 maize locations was conducted during April and July 2019. These locations were Kuborn (GPS: 5° 53′ 54,5″ ¦ E 49° 52′ 28,4″ N) , Kehlen (GPS: 6° 02′ 52,8″ ¦ E 49° 40′ 20,0″ N) and Burmerange (GPS: 6° 18′ 51,6″ ¦ E 49° 28′ 50,3″ N). The sampling area was represented by 10 subsamples of 0.25 m^2 in each plot and location, using a 0.25 m^2 square frame, placed randomly across the field. Treatments and weed control actions of the maize trials are given in Table 2.

Tab. 2 Weed control actions taken in the maize trial after the first weed assessment (03/06/2019) and before the second weed assessment (08/07/2019).

Tab. 2 *Maßnahmen der Unkrautbekämpfung im Maisversuch, die zwischen der ersten (03/06/2019) und der zweiten Bonitur (08/07/2019) der Unkräuter ergriffen wurden.*

Location	Treatment	Date	Action taken
Kuborn	Farmer's choice	05/06/19	0.6 l/ha Callisto® + 0.9 l/ha Monsoon Active® + 0.7 l/ha Stomp Aqua®
	Mechanical	05/06/19	Rollstar interrow hoe + Finger hoe
		23/06/19	Rollstar interrow hoe + Finger hoe
		26/06/19	Interrow cultivator + Finger hoe
	Hybrid	23/06/19	Rollstar interrow hoe + Finger hoe
		26/06/19	Interrow cultivator + Strip sprayer 0, 3 l/ha Monsoon ® + 0,24 l/ha Callisto®
	Chemical	05/06/19	2 l Laudis ®, 300 gr Callam® / ha
Kehlen	Farmer's choice	05/06/19	1 l/ha Monsoon Active® + 0.8 l/ha Callisto® + 0.8l/ha Frontier Elite®
	Mechanical	24/06/19	Interrow cultivator + Finger hoe
	Hybrid	24/06/19	Interrow cultivator + Strip sprayer 0.3 l/ha Monsoon® + 0.24 l/ha Callisto®
	Chemical	02/07/19	0.5 l/ha Samson Extra® 60 OD + Xinca® 0.5 l/ha
Burme-	Farmer's choice	14/06/19	1.2 l/ha Monsoon Active® + 0.5 l/ha Callisto®
range	Mechanical	14/06/19	Rollstar interrow hoe + Finger hoe
		20/06/19	Rollstar interrow hoe + Finger hoe
	Hybrid	19/06/19	Interrow cultivator + Strip sprayer 0.3 l/ha Monsoon® + 0.24 l/ha Callisto®
	Chemical	14/06/19	0.5 l/ha Xinca® + 8 gr/ha Harmonie®

The chemical weed control consisted of an herbicide mix (Tab. 2) and considered weather and soil conditions as well as control thresholds of weed density. The experiment was done in 2 replicate plots having the width of the machine used for applying the treatment (at least 3 m) and a length of 50 m.

Winter Wheat: Black grass. In a separate project, 55 *Alopecurus myosuroides* seed samples were collected from Luxembourg winter cereal and maize fields between 1st July and 15th August 2019 (Fig. 1). Although repeated trips were made in the areas north of Luxembourg-City, there were no fields with sufficient presence of the target that could constitute a viable sample.

Black grass seed samples were cleaned of debris and kept in a dry and ventilated environment at 30 °C for approx. 30 days, for maximizing germination potential. A first batch of 35 *A. myosuroides* samples were allowed to germinate in the LIST greenhouse inpots (size 7x7 cm) filled with sterile soil and then up to six plants were transplanted at BBCH 10-11 into plastic pots (size 7x7 cm) containing a standard potting soil mixture (SEMFLOR® Blumenerde, Torf- und Humuswerk Uchte, Darlaten 65-69, D – 31600 Uchte, Germany). These pots were kept in the greenhouse at field capacity with bi-weekly irrigation regimes, until the plants reached the desired growth stage. The herbicides were applied with a water volume of 250-300 l/ha. (Tukan® 1600E electric backpack sprayer - TUKAN®, Därmannsbusch 7, 58456 Witten, Germany) operated at 2,5 BAR. The product application was made on 03.09.2019 using a flat spray nozzle (110°) delivering a medium spray quality. Application was timed to the plants reaching label-recommended growth stages, at field rate and triple the field rate, using three types of herbicides, ALS-inhibitor iodosulfuron+mesosulfuron (Sigma® Maxx, Bayer Crop Science SA-NV, J.E. Mommaertslaan 14, 1831 Diegem (Machelen), Belgium; ACCase- Inhibitor pinoxaden (Axial®, Syngenta UK Limited, CPC4, Capital Park, Fulbourn, Cambridge, CB21 5XE, UK), and a the microtubule assembly inhibitor pendimethalin (Stomp® Aqua,

BASF plc, Crop Protection, PO Box 4, Earl Road, Cheadle Hulme, Cheadle, Cheshire SK8 6QG, UK). Herbicide application was done with the majority of the plants at growth stage BBCH 14.

The tests to determine herbicide sensitivity were done using the protocols developed by PANOZZO et al. (2015). Data was collected on 24.09.2019, estimating the aboveground green biomass of the plants as a measure of product efficacy, while comparing it with untreated standards of each sample.

Results

Winter Oilseed Rape. *Chenopodium album, Stellaria media, Polygonum convolvulus* and *Matricaria inodora* were all found in moderate and high numbers in most of the winter oilseed rape fields, during 2015 and 2016 growing seasons (Tabs. 3, 4). As grass representatives, only *Apera spica-venti* was found in Simmern in 2016 and in a smaller number in Wahl in 2016 (EICKERMANN et al., 2016).

Maize. *Chenopodium album* was found in moderate and high numbers in all three maize fields, as well as the spring-germinating *Polygonum* species (Tab. 5). In Kehlen, grasses were present as well, although traditionally weeds like *Alopecurus myosuroides* germinate in autumn, there were significant numbers germinating in spring as well.

Tab. 3 Major weed species in three winter oilseed rape fields in Luxembourg, 2015. The number of plants per square meter at the beginning of autumn is given.

Tab. 3 *Unkrautarten, die in drei Rapsfeldern in Luxemburg im Jahr 2015 aufgetreten sind. Es ist die Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter Anfang Herbst angegeben.*

	Simmern	Wahl	Reisdorf
Apera spica-venti	-	-	0.6 pl/m²
Fumaria sp.	-	0.6 pl/m²	11 pl/m²
Matricaria inodora	-	1.3 pl/m²	-
Myosotis arvensis	-	5 pl/m²	-
Papaver rhoeas	-	2 pl/m²	-
Poa annua	4.6 pl/m²	-	-
Polygonum aviculare	0.5 pl/m²	-	-
Polygonum convolvulus	-	120 pl/m²	-
Sinapis arvensis	0.67 pl/m²	-	1 pl/m²
Stellaria media	12 pl/m²	47 pl/m²	2 pl/m²
Viola arvensis	10 pl/m²	7 pl/m²	-
Volunteer cereals	2.6 pl/m²	-	-

Tab. 4 Major weed species in three winter oilseed rape fields in Luxembourg, 2016. The number of plants per square meter at the beginning of autumn is given.

Tab. 4 *Unkrautarten, die in drei Rapsfeldern in Luxemburg im Jahr 2016 aufgetreten sind. Es ist die Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter Anfang Herbst angegeben.*

	Simmern	Wahl	Reisdorf
Apera-spica venti	6.8 pl/m²	-	0.4 pl/m²
Chenopodium album	28.8 pl/m²	-	0.4 pl/m²
Elymus repens	14.8 pl/m²	3.2 pl/m²	-
Fumaria sp.	4.4 pl/m²	-	-
Matricaria inodora	-	0.8 pl/m²	-
Papaver rhoeas	1.2 pl/m²	-	2.8 pl/m²
Polygonum aviculare	9.2 pl/m²	-	1.2 pl/m²
Poa annua	11.6 pl/m²	-	-
Stellaria media	3.6 pl/m²	14.4 pl/m²	7.2 pl/m²
Sonchus sp.	-	-	0.4 pl/m²
Viola arvensis	10 pl/m²	-	-

Due to huge variability in the initial weed density and composition between locations and treatments in the maize trials, comparisons of the situation before weeding and after the main weeding were made. The percentage of soil that was covered by weeds increased between June

and July, except for the chemical treatment in Burmerange, where it decreased (Fig. 2). The smallest increase in weed coverage was observed in the treatment "Farmer's choice" at all test sites (Fig. 2). Mechanical weeding allowed the largest increase in weed coverage between June and July (Fig. 2).

The hybrid strategy (mechanical weeding with reduced herbicide use) limited weed expansion to a similar extend like the "Farmer's choice". A relatively poor performance of the chemical weeding was observed in Kuborn. There, *Polygonum convolvulus* escaped or re-emerged after the chemical control. Also at Kuborn, *Chenopodium album* was poorly controlled by the mechanical treatments. The strong increase in weed coverage in the mechanical treatment in Burmerange was caused by *Chenopodium album, Polygonum aviculare, Polygonum convolvulus* and *Stellaria media*.

Tab. 5 Major weed species in three maize fields in Luxembourg, 2019. The number of plants per square meter at the beginning of June is given. Small seedlings were counted, while at a later stage, weed coverage was estimated as percentage ground cover (% gc).

Tab. 5 *Unkrautarten, die in drei Maisfeldern in Luxemburg im Jahr 2019 aufgetreten sind. Dargestellt ist die Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter Anfang Juni. Keimlinge wurden gezählt, für größere, ineinander verwachsene Pflanzen wurde der bedeckte Flächenanteil (% gc) geschätzt.*

	Kuborn	**Kehlen**	**Burmerange**
Atriplex prostrata	-	0-80% gc	-
Alopecurus myosuroides	-	20-40 %gc	-
Bromus spec.	-	6-200 pl/m^2	0 pl/m^2
Chenopodium album	3-27 pl/m^2	4-200 pl/m^2	8-80 pl/m^2
Echinochloa crus-galli	-	0-40% gc	-
Fumaria officinalis	2-8 pl/m^2	-	-
Galium aparine	4-40 pl/m^2	-	-
Matricaria inodora	-	-	4-36 pl/m^2
Polygonum aviculare	2-10 % gc	-	4-48 pl/m^2
Polygonum convolvulus	4-24 pl/m^2	-	4-44 pl/m^2
Polygonum persicaria	-	2-20 % gc	-
Stellaria media	2-16 pl/m^2	-	4-20% gc
Veronica persica	-	-	4-68 pl/m^2
Viola arvensis	4-92 pl/m^2	-	-

Winter Wheat: Black grass. Most black grass seed samples originated from the south of the country, due to the prevalence of the target in this area. The first batch of 35 samples tested in the herbicide resistance assay confirmed previous observations by consultants in the field, that widespread herbicide resistance to the main herbicide groups mentioned above was also present in the Luxembourg populations of *Alopecurus myosuroides*. The tested products showed poor efficacy even at three times the field rate, in some cases.

All samples were resistant towards Stomp® Aqua (containing the K1 inhibitor pendimethalin) (Tab. 6). In case of Sigma® Maxx (containing the ALS-inhibitors iodosulfuron+mesosulfuron), 2 out of 35 samples were sensitive and moderately resistant, respectively (Tab. 6). 31 samples were resistant to Sigma® Maxx. 17 out of 35 samples were sensitive to Axial® (containing the ACC-ase inhibitor pinoxaden), while 18 samples were resistant to Axial® (Tab. 6).

Discussion

The weed species found in our maize and winter oilseed rape fields were rather similar, with both crops hosting the broadleaves *Stellaria media, Polygonum convolvulus, Chenopodium album, Viola arvensis and Matricaria inodora.* Most weed populations found in both crops do not represent niche or problematic, insensitive species, and therefore control should be based on robust and well-timed post-emergence herbicide choices, with broad spectrum of activity. The strong spread of *P. convolvulus* in the chemical treatments ("Farmer's choice" as well as "Chemical") in the maize field at Kuborn calls for an additional resistance test of the local *P. convolvulus* population.

The poor control efficacy of *C. album* by the mechanical treatments in maize indicates that further innovation is needed here. The mostly annual broadleaf weed species found in maize could be controlled by post-emergence positioning.

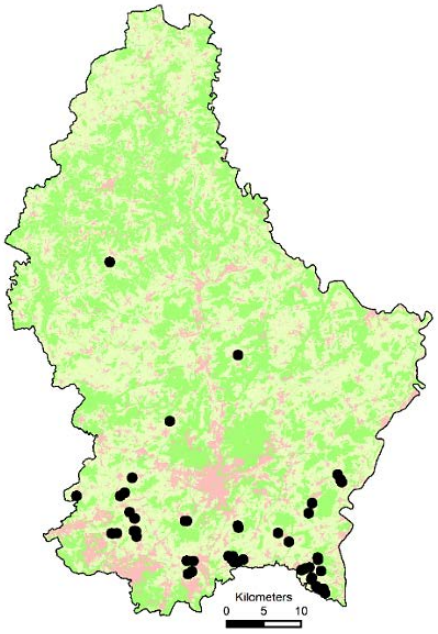


Fig. 1 Locations from which *Alopecurus myosuroides* seed samples were obtained between 1st July and 15th August 2019 in Luxembourg.

Abb. 1 *Orte, an denen Alopecurus myosuroides Samenproben im Zeitraum zwischen dem 1. Juli und dem 15. August 2019 in Luxemburg genommen wurden.*

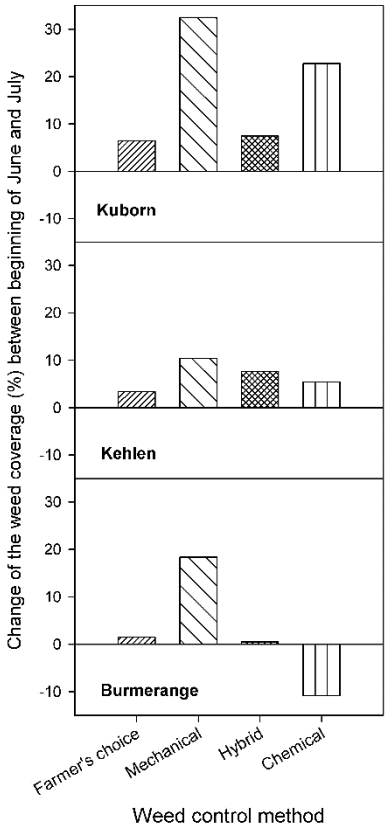


Fig. 2 Change of percentage of soil covered by weeds between the beginning of June and July at the three maize locations. For the description of the weed control methods, please see "Materials and Methods".

Abb. 2 *Veränderung des Unkrautbedeckungsgrades zwischen Anfang Juni und Juli in den drei Maisbeständen. Die Beschreibung der Bekämpfungsstrategien ist in „Material und Methoden" zu finden.*

The HRAC F2 group of triketones, namely mesotrione, is available in Luxembourg. Another option for broadleaf control can be fluroxypyr, of the HRAC O group of synthetic auxins. Annual grasses, although present in our monitoring results, do not represent a target species, at the current infestation levels. In addition, due to the unpredictable, and often dry and hot spring weather in Luxembourg, pre-emergent sprays in maize should be avoided, as product efficacy is conditioned by soil moisture.

Herbicide efficacy against black grass *(Alopecurus myosuroides)* was poor across Southern Luxembourg. Control options here can be explored based on crop rotation, namely involving spring crops such as maize, to potentially avoid the germinating period of black grass, which takes place

in autumn, or broadleaf autumn crops, such as winter oilseed rape. Benefitting from the cold and wet winters in Luxembourg, these two above-mentioned products will find good performing conditions, consistent with label recommendations. The rare occurrence of black grass from the northern cantons in 2019 is not explained at this moment, and will constitute the subject of further research.

Tab. 6 The resistance status of *Alopecurus myosuroides* seedlings obtained in Luxembourg, 2019.

***Tab. 6** Resistenzstatus der Alopecurus myosuroides Sämlinge aus Luxemburg, 2019.*

Canton	Sigma® Maxx (2 g/L iodosulfuron-methyl + 10 g/L mesosulfuron-methyl)	Stomp® Aqua (455 g/L pendimethalin)	Axial® (100 g/L pinoxaden)
Remich	MR	R	R
Remich	MR	R	R
Esch-sur-Alzette	R	R	R
Esch-sur-Alzette	R	R	R
Esch-sur-Alzette	R	R	R
Esch-sur-Alzette	R	R	R
Esch-sur-Alzette	R	R	R
Luxembourg	R	R	R
Remich	R	R	R
Remich	R	R	R
Remich	R	R	R
Remich	R	R	R
Remich	R	R	R
Remich	R	R	R
Remich	R	R	R
Remich	R	R	R
Remich	R	R	R
Esch-sur-Alzette	S	R	R
Esch-sur-Alzette	R	R	S
Esch-sur-Alzette	R	R	S
Esch-sur-Alzette	R	R	S
Esch-sur-Alzette	R	R	S
Esch-sur-Alzette	R	R	S
Esch-sur-Alzette	R	R	S
Esch-sur-Alzette	R	R	S
Esch-sur-Alzette	R	R	S
Esch-sur-Alzette	R	R	S
Grevenmacher	R	R	S
Luxembourg	R	R	S
Remich	R	R	S
Remich	R	R	S
Remich	R	R	S
Remich	R	R	S
Remich	R	R	S
Remich	R	R	S
Remich	S	R	S

The scale of rating was the following: S, as less than 5% survival of plants at label dose 1x; MS, as 5% to 20% survival of plants at label dose 1x; MR, as 20% or more survival of plants at label dose 1x; R, as 20% or more survival of plants at label dose 1x & as 10% or more survival of plants at dose x3.

As black grass control strategies in winter oilseed rape often rely on winter applications of HRAC K1 group active substance propyzamide, with virtually no resistance reported so far, this represents a safe and precise solution. Another powerful solution against black grass in winter oilseed rape, the HRAC K2 active substance carbetamide, is currently not approved for sale in Luxembourg.

Acknowledgements

We thank Alain Majerus, Gilles Parisot and Doriane Dam for technical assistance, the Ministry of Agriculture, Viticulture and Rural Development for funding the projects ANGEL, DIGITAL PILOT FARMS, SENTINELLE and the Ministry of Agriculture, Viticulture and Rural Development, the Ministry of the Environment, Climate and Sustainable Development and the Ministry of Higher Education and Research for financially supporting the project EFFO.

References

EICKERMANN, M., M. FIEDLER, F.K. RONELLENFITSCH, T. GALLÉ, A. MAJERUS, J. JUNK, 2016: Reducing pesticides in oilseed rape production – A multisite long-term field experiment in Luxembourg. IOBC/wprs Bulletin **116**, 13-14.

KARIER, P., G. KRAUS, I. KOBLER, 2017: Metazachlor traces in the main drinking water reservoir in Luxembourg: a scientific and political discussion. Environmental Sciences Europe **29**, 25.

MOSS, S., 2017: Black-grass (*Alopecurus myosuroides*): Why has this weed become such a problem in western europe and what are the solutions? Outlooks on Pest Management **28**, 207-212.

OERKE, E.-C., 2006: Crop losses to pests. Journal of Agricultural Science **144**, 31-43.

PANOZZO, S., L. SCARABEL, A. COLLAVO, M. SATTIN, 2015: Protocols for robust herbicide resistance testing in different weed species. J. Vis. Exp. **101**, e52923.

STATEC, 2017: https://agriculture.public.lu/dam-assets/statistiques/produits-phyto/matiere-active-pesticides-2013-2017.xlsx

STATEC, 2018: https://statistiques.public.lu/stat/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=13352&IF_Language=fra&MainTheme=4&FldrName=2&RFPath=7274

Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) causes severe yield losses in different soybean varieties by reducing the infection potential of *Bradyrhizobium japonicum*

*Das Beifußblättrige Traubenkraut (*Ambrosia artemisiifolia *L.) führt zu erheblichen Ertragsverlusten bei verschiedenen Sojabohnen-Sorten infolge eines reduzieren Infektionpotenzials der Sojabohne mit* Bradyrhizobium japonicum

Rea Maria Hall[1, 3*], Helmut Wagentristl[2], Gerhard Karrer[3], Anna Winter[1], Robert Czerny[1], Hans-Peter Kaul[1]

University of Natural Resources and Life Science Vienna
[1]Department of Crop Sciences, Institute of Agronomy, Konrad Lorenz Straße 24, 3430 Tulln
[2]Experimental Farm Groß-Enzersdorf, Schlosshoferstraße 31, 2301 Groß-Enzersdorf
[3]Department of Integrative Biology and Biodiversity Research, Gregor Mendel Straße 33, 1180 Vienna
[*]Corresponding author, rea.hall@boku.ac.at

DOI 10.5073/jka.2020.464.009

Abstract

Ambrosia artemisiifolia L. (Asteraceae) known as common ragweed is an annual herbaceous species native to North America which has become one of the economically most important weeds in agricultural areas throughout Middle Europe. Its large ecological amplitude enables the species to establish in several types of environment, but management options to effectively contain its spread are limited due to lack of efficacy, cost and time or lack of awareness. In the last decade especially soybean fields were severely affected by ragweed invasion, but until now information on the yield-decreasing effects of the plant are scarce for Middle Europe.

Therefore, the aim of the study, conducted in 2017 and 2018 as a greenhouse and biennial field trial, was an evaluation of the competition effects of ragweed upon 1) growth (aboveground/belowground), 2) infection potential of rhizobia and 3) yield of two different soybean varieties.

Results revealed that on plots with the highest ragweed biomass the yield loss accounted for 83.7% on average. Particularly, the numbers of nodules as well as the mean weight of the nodule, which stand in tight correlation with soybean yield, were significantly reduced by the presence of ragweed. Only one ragweed plant per square metre reduced the number of nodules by 55.8% and consequently led to a decrease in yield of 18%.

Keywords: Common ragweed, invasive alien species, rhizobia, soybean nodulation

Zusammenfassung

Das ursprünglich aus Nordamerika stammende Ragweed oder Beifuß-Ambrosia *(Ambrosia artemisiifolia L.* (Asteraceae), íst eine einjährige, krautige Pflanze. Sie hat sich in den letzten Jahrzehnten massiv ausgebreitet und zählt heute in vielen Teilen Mitteleuropas zu den wirtschaftlich wichtigsten Unkrautarten in der Landwirtschaft. Aktuell übliche Bekämpfungsmaßnahmen wie Mähen oder Herbizidapplikationen zeigen auf vielen Standorten nur sehr eingeschränkte Erfolge, sind aus zeitlichen oder wirtschaftlichen Gründen nicht umsetzbar bzw. scheitern daran, dass der Neophyt nicht erkannt wird. Speziell Sojabohnenbestände wurden in den letzten Jahren immer stärker von Ragweed befallen, jedoch gibt es bislang nur wenige Studien zur Ertragswirkung von Ragweed.

Das Ziel des zweijährigen Feld- und einjährigen Glashausversuches, die 2017 und 2018 durchgeführt wurden, war deshalb die Untersuchung der Konkurrenzeffekte von Ragweed auf 1) Wachstum (oberirdisch / unterirdisch), 2) Entwicklung, 3) Infektionspotential der Knöllchenbakterien und 4) Ertrag von zwei verschiedenen Sojabohnensorten.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigten, dass auf den Versuchsflächen mit der höchsten Ragweed-Biomasse der Sojaertrag um 83,7 % sank. Speziell die Anzahl und das Gewicht der Knöllchen (*Bradyrhizobium japonicum*) auf den Sojawurzeln wurden durch Anwesenheit von Ragweed stark reduziert. Eine Ragweed-Pflanze pro Quadratmeter reichte aus, um die Anzahl der Knöllchen um durchschnittlich 55,8 % zu reduzieren. Da jedoch eine effektive Infektion wesentlich zur Ertragsbildung von Soja beiträgt, führte diese Reduktion an Knöllchenbakterien bzw. deren Gewicht zu einem Ertragsverlust von 18 %.

Stichwörter: Knöllchenbakterien, Infektionspotenzial von Sojabohne, invasives Unkraut, Ragweed

Introduction

Due to the role of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) as a key protein source in livestock feeding, e. g. as full-fat soybean for pig fattening or concentrated feed in the dairy industry (ZOLLITSCH et al., 1993; VOLLMANN et al., 2000) the cultivation area of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in Europe has more than trebled since the 1990s up to approximately 5.7 million ha and an average annual production of 10.7 million tons of beans (FAOSTAT, 2017). In contrast to the world's major producers of soybean, several countries within the European Union (EU) such as Austria, Germany and France have opted total ban of cultivation of GM-crops (European Commission, Directive 2015/421/EU), as there are a number of concerns resulting from the unprecedented adoption of glyphosate-resistant crops including potential negative impacts on biodiversity, eco-toxicological issues, and the evolution of (glyphosate-)resistant super-weeds (WATKINSON et al., 2000; SANDERMANN, 2006; OWEN et al., 2010).

The last point in particular, is nowadays one of the major challenges in soybean cultivation, especially in countries where the cultivation of GM-soybean is banned. For example in Austria, the cultivation area of soybean increased by approximately 134% from 2006 to 2016. In the same time, yields per unit area increased by approx. 19% due to advances in plant breeding and agrotechnical improvements (ROWNTREE et al., 2013; STATISTIK AUSTRIA, 2018). However, these increases in the average yield per unit area are severely under threat due to the rapid spread and establishment of super-weeds like common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) which is actually promoted by a combination of three factors, 1) the steady extension of the cultivation area of soybean, 2) climate change, and 3) lack of efficacy in management options to effectively contain the spread of the plant (JOHNSON et al., 2007; KARRER et al., 2011; RICHTER et al., 2013).

Common ragweed – a threat to European soybean production

Common ragweed is an annual herbaceous species native to North America which is not only one of the most dominant inducers of pollen allergy but also a troublesome agronomic weed. (FUMANAL et al., 2007; BULLOCK, 2010; SMITH et al., 2013). Although it was first observed in Europe in the mid-19th century, its main naturalization and establishment in Europe was restricted over a long period of time mainly due to climatic factors (RICHTER et al., 2013). Thus, changing climatic conditions, particularly climatic warming accelerated the spread of the plant since the beginning of the new millennium. In Austria since the year 2000, the number of summer days which are defined as days on which the temperature exceeds 25 °C increased by approx. 67% and the number of sunshine hours more than doubled compared to the time period between 1955 and 1999 (ZAMG, 2018). The extraordinary spread of common ragweed started along the high-capacity road system from where seeds of the plant were easily transferred to the surrounding area by implements of the road maintenance services but also with water run-off and wind. Upon arrival in the field, particularly agricultural machinery contributed substantially to the further spread of the seeds across fields (FUMANAL et al., 2007; KAZINCZI et al., 2008; KARRER et al., 2011). One counting of the University of Natural Resources and Life Science in Vienna, revealed a seed potential of a harvest-combine in a medium-infested field (approx. 4.5 ha) of 7,500 seeds that may stay germinable in soil for 40 years (TOOLE and BROWN, 1946; ESSL et al., 2009; KARRER et al., 2011).

As thermophilic plant the beginning of field emergence in Central Europe can be expected when the temperature in the upper 5 cm soil layer is permanently above 10 °C (BÉRES, 2004). Thus, particularly spring-sown, smaller growing crops in wider row-spaces like soybean are mainly affected by the presence of common ragweed. Its rapid growth and its fast developing, large leaf area allows the invasive plant to compete successfully throughout the growing season (JOHNSON et al., 2007; SMITH et al., 2013). At the moment authorized herbicides against common ragweed are available for soybean and maize (active substances: Triketone, Bentazon, Sulfonylurea) but show low or highly fluctuating effects (BAYRISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2015). Furthermore, it has been reported that common ragweed can build up resistances within a very short time. The first scientific report of glyphosate-resistant common ragweed was from Missouri, USA, in 2004. After glyphosate application, the common ragweed plant had dead tissue on their upper portions,

suggesting that the application was effective. However, re-growth appeared from the lower parts of the stem, allowing the plant to survive (POLLARD et al., 2004; JOHNSON et al., 2007; NANDULA et al., 2017). This high regeneration ability was also monitored after mechanical control measures (grooming) which is the most common practice in Austria and other countries like Germany, and even after cutting as common ragweed can resprout easily (KARRER et al., 2011).

Recently, yield losses of 70% were reported for oil seed pumpkin. A yield reduction of 30% at densities of 5 ragweed plants per m^2 was demonstrated for sunflower and maize (KAZINCZI et al., 2008). However, for soybean data on the yield-decreasing effects of common ragweed in Middle Europe is scarce. Currently, studies on the yield effect of common ragweed on soybean are available from the United States showing that the presence of one plant per 110 square feet (10.2 m^2) reduced soybean yield by 50% (COBLE et al., 1981; GIBSON et al., 2007). Nevertheless, these results can only be transferred with caution to the present European situation because of differing climatic conditions, cropping practices and different varieties.

It can be assumed, that the importance of common ragweed as agricultural weed, particularly in soybean, will further increase. The aim of the study is to obtain a profound knowledge of the interaction between common ragweed and soybean which is essential to quantify the effects of the intra- and interspecific competition upon 1) growth (aboveground/belowground) of soybean and common ragweed, 2) infection potential of rhizobia, and 3) yield of soybean.

Materials and Methods

Greenhouse trial

The one-season greenhouse trial was conducted at the beginning of 2018 in the experimental greenhouse of the University of Natural Resources and Life Sciences in Tulln in plastic pots (18 × 18 × 25 cm) filled with sterilized mixture of arable soil from the experimental farm Gross-Enzersdorf which is classified as a chernozem of alluvial origin and is rich in calcareous sediments (pH 7.6, silty loam, 2.2-2.3% organic substance), sand and perlite in the ratio 3:2:1 to avoid soil compactions in the pots. Soybean cultivars Albenga and ES Mentor, both 00-varieties, were used in the trial. Cultivar Albenga (Saatbau Linz) is a 00-variety characterized by a fast juvenile development, and medium growth height. ES Mentor (Saatbau Linz) is characterized by a more bushy growth than Albenga and therefore has a shorter growth height but higher stability.

In each pot one soybean was planted together with 0, 1, 3, and 6 ragweed plants (treatment labeling: R0, R1, R3, and R6) in four replications. In addition, pots with pure stands of common ragweed at densities of 1, 3, and 6 plants in four replications were established to test for the intraspecific competition of ragweed alone. Before seeding, soybeans were inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* (RWA Raiffeisen Ware Austria), a nitrogen-fixing bacterial species that forms root nodules specifically on soybean roots, which actually is not sufficiently abundant in Middle European soils, to ensure a successful symbiosis between soybean and the bacteria.

Field trials

The two-years field experiment was conducted in the Marchfeld Basin in Eastern Austria on the Experimental farm Gross-Enzersdorf of the University of Natural Resources and Life Sciences Vienna during the vegetation periods 2017 and 2018. The Marchfeld basin is strongly influenced by the semi-arid Pannonian climate, characterized by cold winters with fluctuating heavy frost periods and irregular snow cover. In contrast, the summer periods are hot and intermittently dry. The mean annual temperature is 9.6 °C, the mean precipitation is between 500 and 600 mm, and on average 1,900 hours of sunshine are annually measured (BMNT, 2019). As with the greenhouse trial, we wanted to observe the individual influence of common ragweed on soybean. Thus, we excluded the intraspecific competition of soybean by sowing only one soybean plant per 1 m^2 plot with different densities of common ragweed (0, 1, 3, and 6 plants = treatment labeling R0, R1, R3, and R6) in four

replicates. Futhermore, also pure stands of common ragweed in densities of 1, 3, and 6 plants in four replicates were established to test for the intraspecific competition of ragweed alone.

In 2017, we used cultivar Albenga (Saatbau Linz), in 2018, the same trial setup was used, but in addition a second soybean cultivar (ES Mentor, Saatbau Linz) was included in the trial to check if the results gained with cultivar Albenga in 2017 were cultivar-specific or could be also transferred to another variety. Before sowing, soybean was inoculated with *Bradyrhizobium japonicum*.

For carving out the soil in the field trials, we used standardized metal frames (20 x 20 x 20 cm). The roots in the soil samples were washed out manually. Nodules were counted, removed from the soybean roots and weighed (fresh weight). Roots of soybean and common ragweed were separated, dried at 105 °C for 24 hours and weighed. The same drying conditions were used for the aboveground dry matter. In the field trials as well as the greenhouse trial, 5 samplings were performed throughout the vegetation period. Here, we only show the results of the last sampling date = harvest date. Full results are actually under revision.

Results

Influence of common ragweed on soybean yield – greenhouse trial

Ragweed density and the soybean variety had a significant impact on the yield (Tab. 1). The highest yield of 15.0 ± 3.5 g was observed with variety ES Mentor in the R0-treatment whereas variety Albenga showed the lowest average yield of 2.7 ± 2.4 g in the R6-treatment. The yield of both varieties was not significantly affected by the presence of one ragweed plant. Whereas the yield of Albenga did not change severely in the R3-treatment, the yield of ES Mentor decreased significantly in competition with three ragweed plants. The main difference between the varieties was observed in the R6-treatment. Due to intraspecific competition between the ragweed plants in the pots and interspecific competition due to its bushy growth the yield of ES Mentor could slightly increase from 7.9 ± 2.5 g in the R3-treatment to 10.0 ± 1.6 g in the R6-treatment whereas the yield of Albenga further decreased (Fig. 1a).

Tab. 1 Results of two-way-ANOVA for yield and yield parameters of one soybean plant measured at harvest in dependency of the factors ragweed density (R) and variety (V); AGDM = aboveground dry matter, n = 4.

Tab. 1 *Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse betreffend Ertrag und Ertragsparametern von Sojabohne zum Erntezeitpunkt in Abhängigkeit von den Faktoren Ragweed-Dichte (R) und Sorte (V); AGDM = oberirdische Trockenmasse, n = 4.*

	p-value R	p-value V	p-value R ×V
GREENHOUSE TRIAL			
AGDM soybean [g]	< 0.001 (***)	0.007 (**)	0.059 (n.s.)
Yield soybean [g]	< 0.001 (***)	0.006 (**)	0.520 (n.s.)
Number of nodules	< 0.001 (***)	0.825 (n.s.)	0.489 (n.s)
Mean weight of nodules	0.013 (*)	0.051 (n.s.)	0.209 (n.s.)
FIELD TRIAL 2017			
AGDM soybean [g]	< 0.001 (***)	--	--
Yield soybean [g]	< 0.001 (***)	--	--
Number of nodules	< 0.001 (***)	--	--
Mean weight of nodules	0.002 (**)	--	--
FIELD TRIAL 2018			
AGDM soybean [g]	< 0.001 (***)	0.060(n.s.)	0.961 (n.s.)
Yield soybean [g]	< 0.001 (***)	0.280 (n.s.)	0.617 (n.s.)
Number of nodules	0.002 (**)	0.070 (n.s.)	0.415 (n.s.)
Mean weight of nodules	0.031 (*)	0.082 (n.s.)	0.255 (n.s.)

Influence of common ragweed on soybean yield – field trials

Also in the field trials the factors ragweed density and variety had significantly influenced the soybean yield. The highest average yield of 26.2 ± 4.6 g was observed with variety ES Mentor in 2018 on the plots with no ragweed occurrence (R0; Fig. 1b). The lowest mean yield of 3.0 ± 1.12 g was obtained by variety Albenga in 2017 on the plots with six ragweed plants (R6). Only one ragweed plant per square meter caused an average yield loss of 43.7% with variety Albenga (2017: 55.9%; 2018: 31.0%). The yield of ES Mentor was reduced by 36.4% when one single ragweed plant was present. With three ragweed plants per plot yield decreased sharply by 80.4% with Albenga and by 64.5% with variety ES Mentor. Both yields at treatment R3 did not differ significantly from the yields which were obtained at the highest ragweed density level of six plants per plot. These results were supported by regression analysis, indicating that not only the number of plants but primarily the increasing amount of ragweed biomass was responsible for the strong decrease of the yield of both soybean varieties (overall $R^2 = 0.67$; $p < 0.001$).

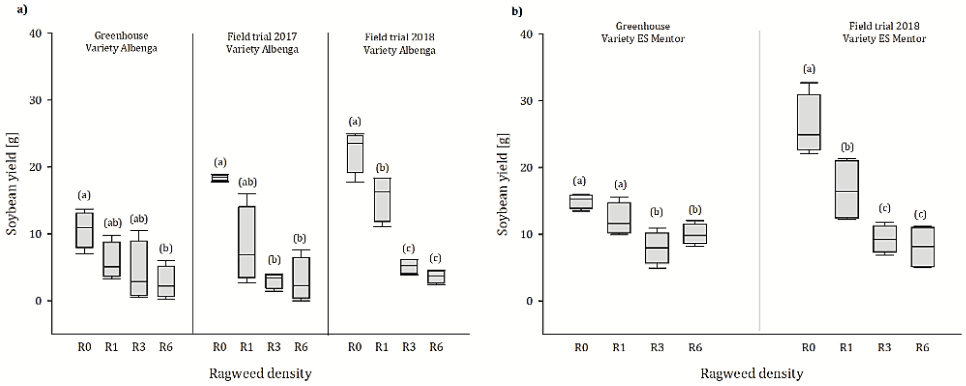


Fig. 1 a + b Soybean yield in dependency of the factor ragweed density (0, 1, 3, and 6 plants = R0, R1, R3, and R6) of a) variety Albenga and b) variety ES Mentor, separated by trial (n = 4; different letters indicate significant differences).

Abb. 1 a + b *Sojabohnenertrag in Abhängigkeit vom Faktor Ragweed-Dichte (0, 1, 3 und 6 Pflanzen = R0, R1, R3 und R6) von a) Sorte Albenga und b) Sorte ES Mentor kategorisiert nach Versuch (n = 4; unterschiedliche Buchstaben stehen für signifikante Unterschiede).*

Common ragweed decreases number and mean weight of nodules and therefore the yield of soybean

Cultivars did not differ significantly in their number of nodules but we detected a clear influence of the ragweed density on the number of nodules found on the soybean roots (Fig. 2). Over all trials the highest mean number of 121.25 ± 10.9 nodules was found on roots of cultivar ES Mentor without any ragweed present. In the R0-variant of cultivar Albenga 94.3 ± 24.2 nodules were counted on average. Only one ragweed plant per plot/pot was sufficient to reduce the number of nodules of cultivar ES Mentor by 57.9%. With a loss of 36.0% of nodules cultivar Albenga was a little bit more tolerant against common ragweed. This advantage, however, disappeared with increasing ragweed density. With six plants per plot/pot the number of nodules was reduced by 86.8% (mean: 12.4 nodules ± 7.2), whereas cultivar ES Mentor showed a slightly lower loss of 72.9% less nodules (32.8 ± 12.5) in the R6-variant.

As depicted in Figure 3 the yield of both cultivars was significantly correlated with the number of nodules (ES Mentor: $R^2 = 0.64$, $p < 0.001$; Albenga: $R^2 = 0.58$, $p < 0.001$). Nevertheless, as revealed by generalized linear mixed model (GLMM) analysis, the most parsimonious model explaining the yield of soybean was the interactions of the factors mean weight of nodules and the amount of ragweed dry matter present.

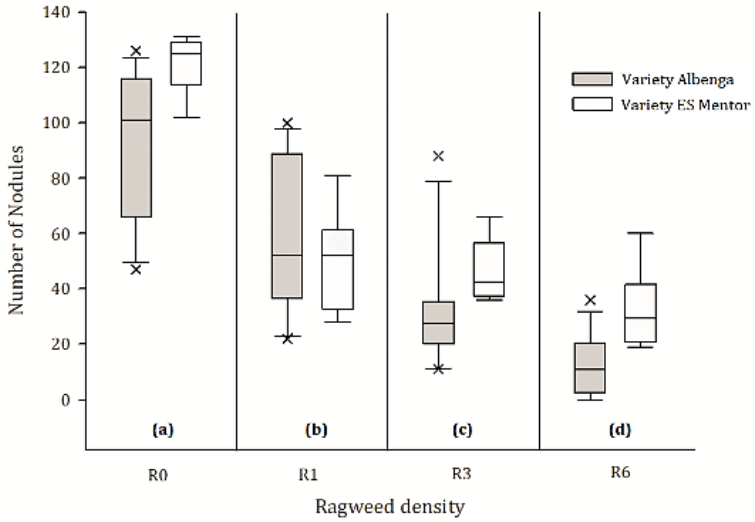


Fig. 2 Number of nodules of soybean cultivars Albenga and ES Mentor averaged over all trials in dependency of the ragweed density (0, 1, 3, and 6 plants; different letters indicate significant differences).

Abb. 2 *Anzahl der Knöllchen der beiden Sojabohnensorten Albenga und ES Mentor gemittelt über alle Versuche, in Abhängigkeit vom Faktor Ragweed-Dichte (0, 1, 3 und 6 Pflanzen, unterschiedliche Buchstaben stehen für signifikante Unterschiede).*

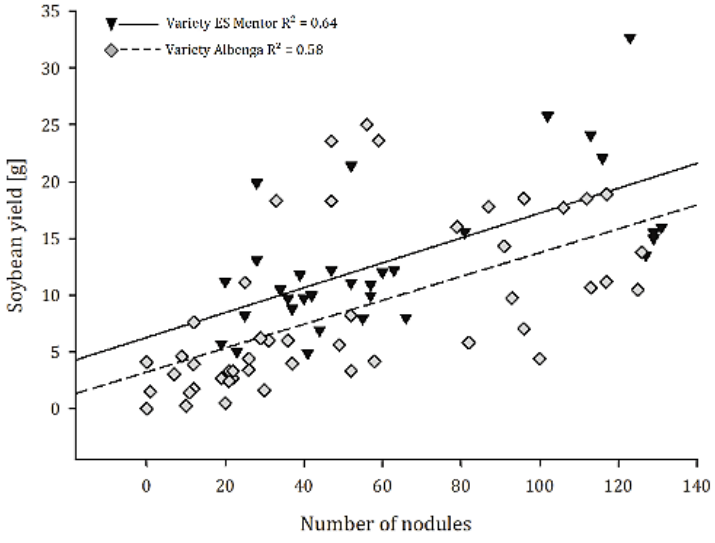


Fig. 3 Correlation between soybean yield of variety Albenga and variety ES Mentor and the number of nodules (regression analysis, n = 32 (ES Mentor), n = 48 (Albenga).

Abb. 3 *Korrelation zwischen dem Ertrag der Sojabohnensorten Albenga und ES Mentor und der Anzahl der Knöllchen (Regressionsanalyse, n = 32 (ES Mentor), n = 48 (Albenga).*

As shown in Figure 4 soybean yield increased significantly with increasing mean weight of nodules (R^2 = 0.65, p < 0.001) and was clearly negatively affected by increasing ragweed dry matter (R^2 = 0.45, p < 0.001), irrespective of the trial year and cultivar. However, the highest mean weight of nodules of 12.4 ± 1.3 mg was observed with cultivar ES Mentor, and 8.6 ± 4.1 mg with cultivar Albenga in the R0-variant. At ragweed densities of six plants per plot/pot the mean weight of nodules decreased by approx. 69% with both cultivars.

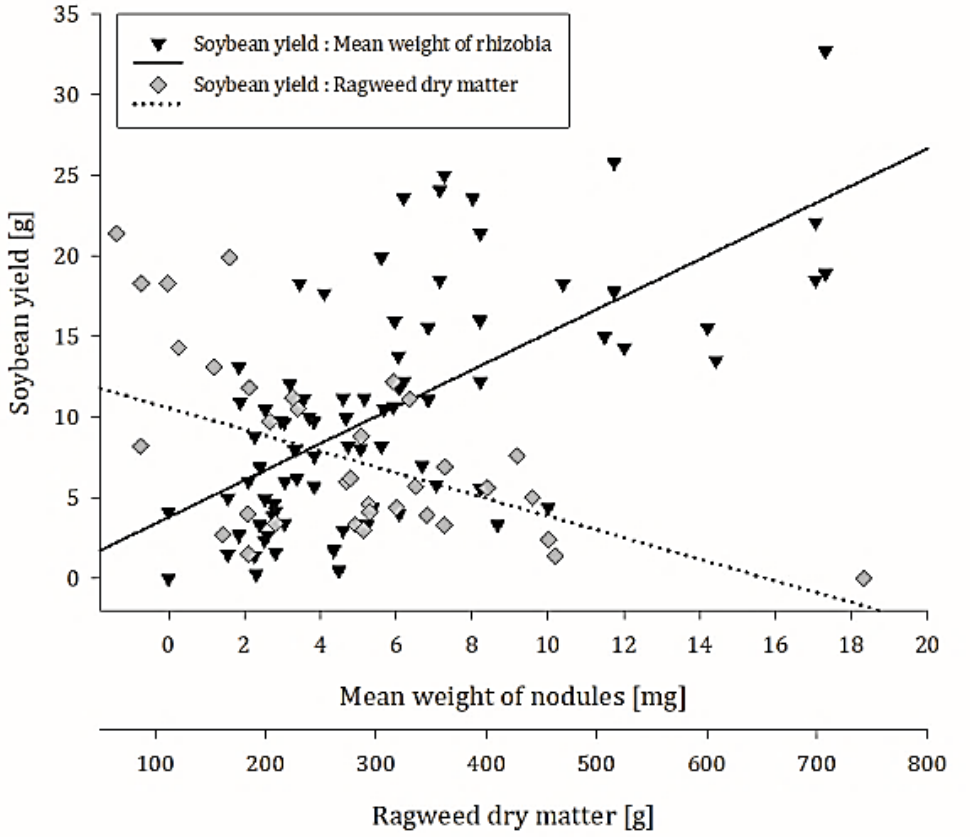


Fig. 4 Correlation between soybean yield of both varieties, the mean weight of nodules (upper x-axis), and the amount of ragweed dry matter present (lower x-axis; regression analysis, n = 32 (ES Mentor), n = 48 (Albenga)).

Abb. 4 *Korrelation zwischen dem Ertrag beider Sojabohnensorten, dem Durchschnittsgewicht der Knöllchen (obere x-Achse) und der vorhandenen Ragweed-Trockenmasse (untere x-Achse; Regressionsanalyse, n = 32 (ES Mentor), n = 48 (Albenga)).*

Outlook

Results revealed that soybean performance was severely affected by the presence of ragweed. Beside the negative effect of the aboveground competition on soybean performance, analysis showed that particularly the presence of ragweed roots had severe impact on root growth and on the infection potential of rhizobia (*Bradyrhizobium japonicum*) and thus the number of nodules which stood in high correlation with the biomass production and the yield of soybean. In an ongoing trial we will try to reveal if volatile organic compounds in the root exudates of ragweed could inhibit or disturb prenodulation signals which are used by legumes and rhizobia in the "partner finding" process. As this study should give a full assessment of the biochemical properties of ragweed aboveground- and belowground biomass, the results could serve as a basis for further

research in a broad field of science, e. g. plant breeding, plant protection, ecology and many more environmental-related research sectors.

Acknowledgement

This study was funded by the Austrian Academy of Science through the DOC scholarship. We would like to thank the staff members of Experimental Farm Groß-Enzersdorf, in particular Susanne and Michael Stickler, for their support and help during the greenhouse experiment and the field trials.

References

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2015: Herbizidwirkung gegen Ambrosia (Präparatetest). http://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/027952/index.php?fontsize=1.

BÉRES, I., 2004: Integrated weed management of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.). Hungarian Weed Research and Technology **5**, 3-14.

BULLOCK, J., 2010: Assessing and controlling the spread and the effect of common ragweed in Europe. Centre for Ecology & Hydrology Wallingford, United Kingdom.

COBLE, H.D., F.M. WILLIAMS, R.L. RITTER, 1981: Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) interference in soybean (*Glycine max*). Weed Science **29**, 339–342.

ESSL, F., S. DULLINGER, I. KLEINBAUER, 2009: Changes in the spatio-temporal patterns and habitat preferences of Ambrosia artemisiifolia during its invasion in Austria. Preslia **81**, 119–133.

FAOSTATA – STATISTICAL DATABASES, 2017: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

FUMANAL, B., B. CHAUVEL, A. SABATIER, F. BRETAGNOLLE, 2007: Variability and Cryptic Heteromorphism of *Ambrosia artemisiifolia* Seeds: What Consequences for its Invasion in France? Annals of Botany **100**, 305-313.

GIBSON, D. J., K. M. MILLAR, M. DELONG, J. CONNOLLY, L. KIRWAN, A. J. WOOD, B. G. YOUNG, 2007: The weed community affects yield and quality of soybean (*Glycine max Merr*.). Journal of the Science of Food and Agriculture **88**, 371-381.

JOHNSON, B., M. LOUX, D. NORDBY, C. SPRAGUE, G. NICE, A. WESTHOVEN, J. STACHLER, 2007: Biology and Management of Giant and Common Ragweed. Issued by: USDA – U.S. Department of Agriculture.

KARRER, G., I. MILAKOVIC, M. KROPF, C. BLÖCH, A. DLUGOSCH, M. LEITSCH-VITALOS, G. HACKL, S. FOLLAK, S. FERTSAK, M. SCHWAB, A. BAUMGARTEN, M. GANSBERGER, R. MOOSBECKHOFER, E. REITER, E. PUBLIG, F. ESSL, D. MOSER, I. KLEINBAUER, S. DULLINGER, M. HAUSER, F. FERREIRA, M. WALLNER, M. MAYER, P. KLUG, B. JEITLER, M. KERNGAST, 2011: Ausbreitungsbiologie und Management einer extrem allergenen, eingeschleppten Pflanze – Wege und Ursachen der Ausbreitung von Ragweed (Ambrosia artemisiifolia) sowie Möglichkeiten seiner Bekämpfung. Endbericht, BMLFUW, Wien.

KAZINCZI, G., I. BÉRES, R. NOVÁK, K. BÍRO, Z. PATHY, 2008: Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*): a review with special regards to the results in Hungary. I. Taxonomy, origin and distribution, morphology, life cycle and reproduction strategy. Herbologie **9**(1), 55-91.

NANDULA V.K., P. TEHRANCHIAN, J.A. BOND, J.K. NORSWORTHY, T.W. EUBANK, 2017: Glyphosate resistance in common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia L.*) from Mississippi, USA. Weed Biology and Management **17**, 45-53.

OWEN, M.D.K., P. PEDERSEN, J.L. DE BRUIN, S.J. LUX, D. FRANZENBURG, D. GROSSNICKLE, 2010: Comparison of genetically modified and non-genetically modified soybean cultivars and weed management systems. Crop Science **50**, 2597-2604.

POLLARD, J.M., B.A. SELLERS, R.J. SMEDA, 2004: Differential response of common ragweed to glyphosate. North Central Weed Science Society (NCWSS) **59**, 27.

RICHTER, R., U.E. BERGER, S. DULLINGER, F. ESSL, M. LEITNER, M. SMITH, G. VOGL, 2013: Spread of invasive ragweed: climate change management and how to reduce allergy cost. Journal of Applied Ecology **50**, 1422-1430.

ROWNTREE, S.C., J.J. SUHRE, N.H. WEIDENBRENNER, E.W. WILSON, V.M. DAVIS, S.L. NAEVE, S.N. CASTEEL, B.W. DIERS, P.D. ESKER, J.E. SPECHT, S.P. CONLEY, 2013: Genetic gain × Management Interactions in Soybean: I. Planting Date., Crop Science **53**, 1128-1138.

SANDERMANN, H., 2006: Plant biotechnology: Ecological case studies on herbicide resistance. Trends Plant Science **11,** 324–328.

SMITH, M., L. CECCHI, C. A. SKJØTH, G. KARRER, B. ŠIKOPARIJA, 2013: Common ragweed: A threat to environmental health in Europe. Environment International **61**, 115-126.

STATISTIK AUSTRIA, 2018: https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html.

TOOLE H. E. and E. BROWN, 1946: Final results of the Durvel buried seed experiment. Journal of Agricultural Research **72**, 201-210.

VOLLMANN, J., C. N. FRITZ, H. WAGENTRISTL, P. RUCKENBAUER, 2000: Environmental and genetic variation of soybean seed protein content under Central European growing conditions. Journal of the Science of Food and Agriculture, **80**, 1300-1306.

WATKINSON, A. R., R. P. FRECKLETON, R. A. ROBINSON, W. J. SUTHERLAND, 2000: Predictions of biodiversity response to genetically modifi ed herbicide-tolerant crops. Science **289**, 1554–1557.

ZAMG – ZENTRALANSTALT FÜR METEROLOGIE UND GEODYNAMIK, 2019: Annual Climate Report 2018. https://www.zamg.ac.at/cms/en/climate/climate-overview/current_climate/annual_climate.

ZOLLITSCH, W., W. WETSCHEREK, F. LETTNER, 1993: Use of differently processed full-fat soybeans in a diet for pig fattening. Animal Feed Science Technology **41**, 237-246.

Untersuchungen zur Kontrolle von invasiven Neophyten – ausgewählte Versuche des Projektes ENVISAGE

Investigations on the control of invasive neophytes – selected experiments of the project ENVISAGE

Ulrike Sölter*, Arnd Verschwele

Julius Kühn-Institut, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig
*Korrespondierende Autorin, ulrike.soelter@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.010

Zusammenfassung

Durch die zunehmende Ausbreitung invasiver Neophyten wird vermehrt auch die Produktivität landwirtschaftlicher Nutzflächen beeinträchtigt. Hier setzt das Projekt ENVISAGE an, auf Basis neu gewonnener ökologischer und biologischer Grundlagen eine effektivere Überwachung und Kontrolle einiger dieser invasiven Arten auf den betroffenen Flächen zu erreichen.

In einem Biotest (2017 und 2018) wurde die herbizide Empfindlichkeit der drei perennierenden Arten *Bunias orientalis, Echinops sphaerocephalus* und *Cyperus esculentus* im Stadium BBCH 14-16 gegenüber verschiedenen Wirkmechanismen (ALS-Inhibitoren, Auxine, ESPS-Hemmer, Karotinoid-Biosynthesehemmer) geprüft. Daneben wurde in den Jahren 2018 und 2019 im Halbfreiland die Konkurrenzfähigkeit der drei Arten in einem Modellpflanzenbestand getestet und in Kleinparzellen wurde die Bekämpfungsmöglichkeit mittels Abflammen erprobt.

B. orientalis und *E. sphaerocephalus* ließen sich mit einigen Wirkmechanismen erfolgreich bekämpfen. Bei *C. esculentus* hingegen war der Wirkungsgrad aller getesteten Herbizide ungenügend. In den anderen beiden Versuchen konnte mit zunehmender Dichte der Konkurrenzpflanzen, beziehungsweise bei mehrmaligem Abflammen, die oberirdische Biomasseproduktion der Neophyten reduziert werden.

Stichwörter: *Bunias orientalis*, *Cyperus esculentus*, *Echinops sphaerocephalus*, invasive Neophyten, nicht-chemische Bekämpfung

Abstract

The increasing spread of invasive neophytes is more and more affecting the productivity of agricultural land. One goal of the ENVISAGE project is to achieve more effective monitoring and control of some of these invasive species on the affected areas, based on new environmental and biological foundations.

In a bioassay (2017 and 2018), the herbicidal sensitivity of the three perennial species *Bunias orientalis*, *Echinops sphaerocephalus* and *Cyperus esculentus* in stage BBCH 14-16 was tested against various mechanisms of action (ALS inhibitors, auxins, ESPS inhibitors). Also the competitiveness of the three species was tested in semi-free range against a model plant and in addition in small plots, the species were controlled by means of flaming.

B. orientalis and *E. sphaerocephalus* were successfully controlled with some mechanisms of action. In *C. esculentus*, however, the efficacy of all tested herbicides was insufficient. In the other two experiments, the above-ground biomass production of the neophytes could be reduced with increasing density of the competing plants, or with repeated flaming.

Keywords: *Bunias orientalis, Cyperus esculentus, Echinops sphaerocephalus*, invasive neophytes, non-chemical control

Einleitung

Die Ausbreitung invasiver Neophyten bedroht zunehmend die Produktivität landwirtschaftlich genutzter Flächen (Viehweger und Dittrich, 2002; Meinlschmidt, 2006; Pyšek et al., 2007). Ziel des Projektes ENVISAGE war die Schaffung verbesserter Grundlagen für eine effektive Kontrolle von invasiven Neophyten auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. Integrierte Verfahren zur Regulierung wurden erarbeitet, getestet und abschließend in Handlungsempfehlungen zusammengefasst, um diese Arten auf Ackerflächen und Grünland im Rahmen der landwirtschaftlichen Nutzung zu kontrollieren (Download unter www.neophyten-in-der-landwirtschaft.de).

Von den 9 im Projekt untersuchten Neophyten, werden hier die drei perennierenden Arten *Bunias orientalis* (Orientalisches Zackenschötchen)*, Echinops sphaerocephalus* (Drüsenblättrige Kugeldistel) und *Cyperus esculentus* (Erdmandel) exemplarisch mit drei Bekämpfungsversuchen vorgestellt.

Während *B. orientalis* und *E. sphaerocephalus* auf Grünland vorkommen können, findet man *C. esculentus* auf Ackerflächen, z. B. im Mais, aber auch im Gemüsebau.

Material und Methoden

Biotest mit Herbiziden

In diesem Versuch wurde die herbizide Empfindlichkeit der drei perennierenden Arten *B. orientalis, E. sphaerocephalus* und *C. esculentus* im Stadium BBCH 14-16 gegenüber 8 verschiedenen Herbiziden in einem Biotest geprüft.

Die eingesetzten Herbizide wurden nach unterschiedlichen Wirkmechanismen (ALS-Inhibitoren, Auxine, ESPS-Hemmer, Karotinoid-Biosynthesehemmer, bzw. HRAC B, O, G, F1) ausgesucht (Tab. 1). Je Art und Variante wurden 10 Pflanzen behandelt. Die einzelnen Pflanzen wurden im Keimblattstadium (BBCH 9-10) pikiert: je Topf (288 ml) eine Pflanze. Appliziert wurde die zugelassene Aufwandmenge mit 300 l Wasser/ha. Der Spritzdruck betrug 2,5 kPa und die Geschwindigkeit 2,5 km/h. Die on-Top-Applikation erfolgte in einer stationären Applikationsanlage der Firma Schachtner. Die Bestimmung der oberirdischen Trockenmasse erfolgte 4 Wochen nach Applikation. In Relation zu der unbehandelten Kontrolle wurde der Wirkungsgrad bestimmt.

Tab. 1 Im Biotest verwendete Herbizide.

Tab. 1 *herbicides used in the experiment.*

Herbizid	Wirkstoff (g /l, kg)	Aufwandmenge	HRAC Gruppe
Clinic	Glyphosat (360)	5 l/ha	G
Katana	Flazasulfuron (250)	200 g/ha	B
Harmony SX	Thifensulfuron (45)	45 g/ha	B
Biathlon 4D	Tritosulfuron; Florasulam (714; 54)	70 g/ha	B; B
Simplex	Fluroxypyr; Aminopyralid (100; 30)	2 l/ha	O; O
Garlon	Triclopyr; Fluroxypyr (150; 150)	2 l/ha	O; O
U 46 D Fluid	2,4-D (500)	2 l/ha	O
Loredo	Diflufenican; Mecoprop-P (33,3; 500)	2 l/ha	F1; O

Unterdrückung durch Konkurrenz

In einem Halbfreilandversuch in den Jahren 2017 und 2018 wurde die Konkurrenzfähigkeit der drei Arten *B. orientalis, E. sphaerocephalus* und *C. esculentus* in einem Modellpflanzenbestand getestet. Die Arten wurden jeweils als Einzelpflanze (BBCH 10-11) zusammen mit Sommergerste (BBCH 10-11) in 3 verschiedenen Dichten (100, 300, 600 Pflanzen/m^2) und in 4-facher Wiederholung in eine mobile Gefäßanlage gepflanzt, welche bei extremen Wetterverhältnissen unter Dach gefahren werden kann. Die Sommergerste diente als Modellpflanze, um die Sensibilität der Neophyten gegenüber Konkurrenzpflanzen zu testen. Die Gefäße hatten ein Volumen von 10 l und eine Oberfläche von 500 cm^2. Alle Varianten wurden mit 75 kg N/ha in zwei Gaben (30 kg N/ha bei BBCH 21 und 45 kg N/ha bei BBCH 24-27 der Sommergerste) mit Blaukorn (12/12/17) gedüngt. Die oberirdische Trockenmasse der Neophyten wurde zur Gelbreife (BBCH 87) der Sommergerste bestimmt.

Thermische Bekämpfung

Um die Bekämpfungsmöglichkeit der drei Arten *B. orientalis, E. sphaerocephalus* und *C. esculentus* mittels Abflammen zu testen, wurde in den Jahren 2018 und 2019 ein Kleinparzellenversuch angelegt. Die Neophyten wurden im Freiland mit je 4 Pflanzen pro Art in einer Reihe gepflanzt. Neben einer unbehandelten Kontrolle wurden 3 Abflammintensitäten (2, 4 und 8 Behandlungen) in 4-facher Wiederholung geprüft. Der Abstand zwischen den Behandlungen betrug eine Woche. Das

Abflammen wurde mit dem handgeführten Modell Green-Flame 850 E (Fa. Nesbo A/S, DK-9550 Mariager, Dänemark) bei 2 km/h durchgeführt. Die Neophyten waren zum Zeitpunkt der 1. Behandlung im BBCH Stadium 15-19. Die Ernte erfolgte 4 Wochen nach der letzten Behandlung, bestimmt wurde die oberirdische Trockenmasse je Parzelle.

Statistik

Die statistische Analyse wurde mit RStudio (R Core Team, 2017) unter Verwendung des Tukey-Tests zur Bestimmung der signifikanten Unterschiede bei $P < 0,05$ durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Biotest mit Herbiziden

B. orientalis wurde mit den Herbiziden Clinic, Katana, U 46 D-Fluid, Biathlon 4D und Loredo vollständig kontrolliert (Wirkungsgrad 100 %). Ebenso *E. sphaerocephalus* mit Clinic, Simplex und Garlon (WG 100 %). Somit sind Pflanzen beider Arten bis BBCH 16 chemisch gut zu bekämpfen. Es ist aber davon auszugehen, dass die Wirkung bei überjährigen Pflanzen geringer ausfallen wird und angepasste Bekämpfungsstrategien, wie z. B. Bodenbearbeitung, und Fruchtfolgewechsel, nötig sind (Renz und Doll, 2009).

Bei *C. esculentus* wurde mit keinem der geprüften Herbizide eine ausreichende Wirkung erzielt (Wirkungsgrad 8-84 %, Tab. 2). Bohren und Wirth (2018) berichten von einer Reduktion der Knöllchen nach Behandlung mit S-Metolachlor. Als alleinige Maßnahme ist die chemische Bekämpfung nicht ausreichend, die beiden Autoren empfehlen eine Kombination aus Herbizideinsatz, angepasster Bodenbearbeitung und dem Anbau entsprechend konkurrenzfähiger Kulturpflanzen.

Tab. 2 Wirkungsgrad der Herbizide im Biotest.

Tab. 2 *Efficiency of used herbicides.*

	Pflanzenart		
Herbizid	***B. orientalis***	***E. sphaerocephalus***	***C. esculentus***
Clinic	100	100	84
Katana	100	96	80
Harmony SX	80	93	8
Biathlon 4D	100	93	67
Simplex	32	100	42
Garlon	0	100	72
U 46 D-Fluid	100	83	24
Loredo	100	88	56

Unterdrückung durch Konkurrenz

Mit zunehmender Pflanzendichte der Sommergerste nahm die Biomasse der Neophyten ab (Abb. 1). Signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) zu der Dichte von 100 Modellpflanzen pro m^2 in der Trockenmasse wurden für *B. orientalis* mit 300 und 600 und für *E. sphaerocephalus* für 600 Modellpflanzen pro m^2 bestimmt. Für *C. esculentus* war die Abnahme in der Trockenmasse nicht signifikant. Die Versuche zeigen, dass durch höhere Aussaatstärken und daraus resultierenden dichteren Kulturpflanzenbeständen die Konkurrenzfähigkeit der untersuchten Neophyten eingeschränkt werden kann. In Verbindung mit anderen ackerbaulichen Maßnahmen, wie z. B. eine angepasste Bodenbearbeitung oder ein Fruchtfolgewechsel, ist von einer effektiven Verdrängung der Neophyten auszugehen.

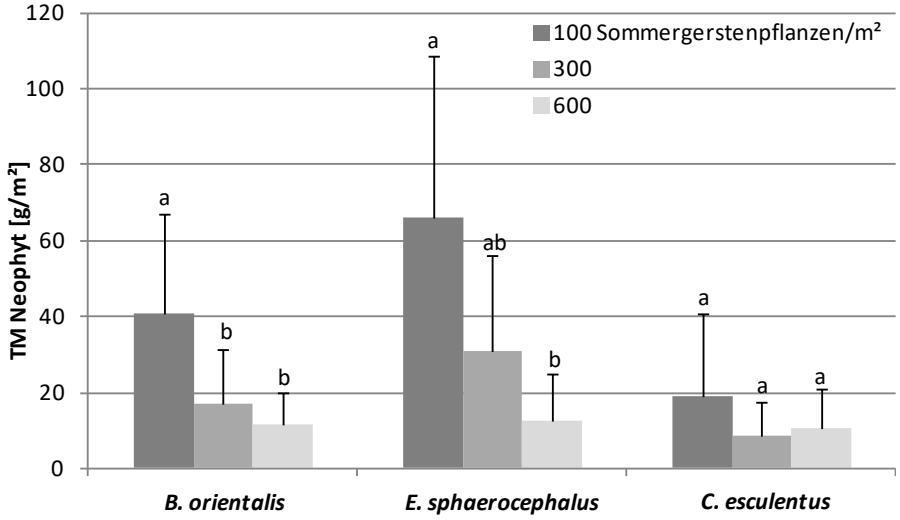


Abb. 1 Trockenmasse (TM) der Neophyten zum Zeitpunkt Gelbreife (BBCH 87) der Sommergerste bei unterschiedlichen Dichten der Sommergerstenpflanzen (100, 300 und 600 Pflanzen/m²). Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Art unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$). Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung.

Fig. 1 *Dry matter (TM) of the neophytes at the time of spring barley dough maturation at different densities of the summer barley plants (100, 300 and 600 plants/m²). Columns with different letters within a species differ significantly ($P < 0.05$). Mean values with standard deviation are shown.*

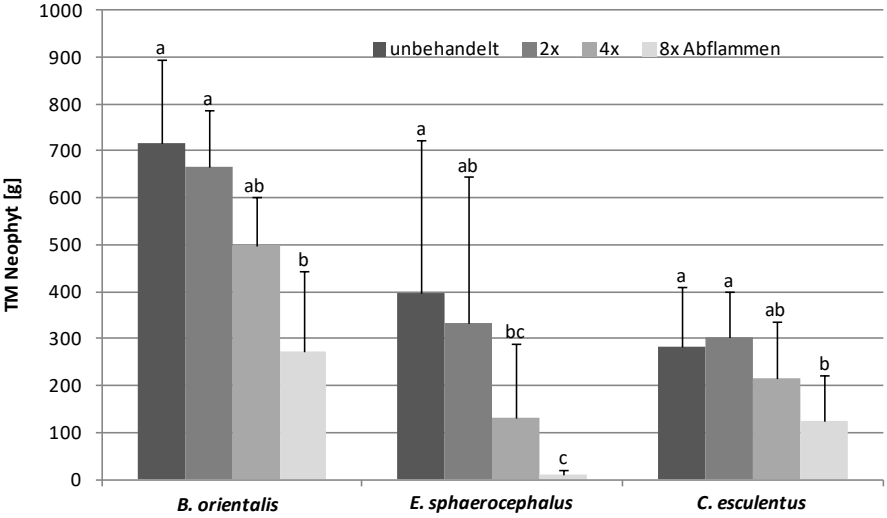


Abb. 2 Trockenmasse (TM) der Neophyten 4 Wochen nach dem letzten Abflammen der 8-maligen Behandlung. Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Art unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$). Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung.

Fig. 2 *Dry matter (TM) of the neophytes 4 weeks after the last treatment of the 8-fold flaming. Columns with different letters within a species differ significantly ($P < 0.05$). Mean values with standard deviation are shown.*

Thermische Bekämpfung

Erwartungsgemäß zeigte sich, dass ein 8-maliges Abflammen die höchste Biomassereduktion bei allen drei geprüften Arten bewirkte (Abb. 2).

Signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) konnten für *B. orientalis, E. sphaerocephalus* und *C. esculentus* zwischen dem 8-maligen Abflammen und der unbehandelten Kontrolle sowie zwischen dem 8-maligen und dem 2-maligen Abflammen gezeigt werden. Zudem war bei *E. sphaerocephalus* auch die Variante 4-maliges Abflammen von der unbehandelten Kontrolle signifikant verschieden. Ein vollständiges Absterben wurde bei keiner Art beobachtet. Da es sich bei den drei untersuchten Neophyten um perennierende Arten handelt, muss von einem Wiederaustrieb ausgegangen werden, eine langfristige, mehrjährige Bekämpfung ist daher unumgänglich. Auch das Wuchsstadium zur ersten Behandlung hat einen Einfluss auf den Bekämpfungserfolg (ASCARD, 1995; HORESH et al., 2019), je älter die Pflanze, umso besser kann sie sich regenerieren.

Fazit

Die Versuche mit den perennierenden Arten *B. orientalis, E. sphaerocephalus* und *C. esculentus* haben gezeigt, dass eine Bekämpfung in einem frühen Wuchsstadium erfolgversprechend ist. Für eine langfristige und nachhaltige Verdrängung es aber eines Konzeptes bedarf, dass Veränderungen in der Fruchtfolge und Bodenbearbeitung beinhaltet.

Danksagung

Die Förderung des Projektes (FKZ: 790861) erfolgte aus Mitteln der Landwirtschaftlichen Rentenbank. Zudem danken die Autoren Martina Kracht und Werner Löhr für die hervorragende technische Unterstützung bei den Untersuchungen.

Literatur

ASCARD, J., 1995: Effects of flame weeding on weed species at different developmental stages. Weed Research **35**, 397–411.

BOHREN, C., J. WIRTH, 2018: Implementation of control strategies against yellow nutsedge (*Cyperus esculentus L.*) into practice. 28th German Conference on Weed Biology and Weed Control Location: Braunschweig, Germany Feb 27-Mar 01, 2018. Julius-Kühn-Archiv **458**, 189-197.

HORESH, A., Y. GOLDWASSER, K. IGBARIYA, Z. PELEG, R.N. LATI, 2019: Propane Flaming as a New Approach to Control Mediterranean Invasive Weeds. Agronomy-Basel Vol **9**, Article No 187.

MEINLSCHMIDT, E., 2006: Staudenknöteriche – Japanischer, Sachalin- und Böhmischer Knöterich. Faltblattreihe Integrierter Pflanzenschutz, Heft **6**. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.

PYŠEK, P., M.J.W. COCK, W. NENTWIG, H.P. RAVN, 2007: Ecology and management of giant hogweed: (*Heracleum mantegazzianum*) CAB International, Wallingford, 284-296.

R CORE TEAM, 2017: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/.

RENZ, M.J., J.D. DOLL, 2009: Hill mustard, an invasive mustard on the move in Southwestern Wisconsin. Hill mustard, an invasive mustard on the move in Southwestern Wisconsin. Wisconsin, USA: University of Wisconsin-Extension, unpaginated. http://dnr.wi.gov/invasives/fact/pdfs/hill_mustard.pdf.

VIEHWEGER, G., R. DITTRICH, 2002: Neue Unkräuter in Sachsen – Die Samtpappel. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft: Unkrautbekämpfung Heft **2**.

Herbstzeitlose (*Colchicum autumnale*) in Mulchschicht führt zu leichter Kontamination mit Colchizin eines Pflanzenbestandes im Folgeaufwuchs

Autumn crocus (Colchicum autumnale) in mulch layer slightly contaminates forage grass

Kerstin Grant*, Annette Jilg, Jörg Messner, Martin Elsäßer

Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW), Atzenberger Weg 99, 88326 Aulendorf
*Korrespondierende Autorin, Kerstin.Grant@lazbw.bwl.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.011

Zusammenfassung

Der Befall von Herbstzeitlosen (*Colchicum autumnale* L.) ist in extensiv genutzten Grünlandflächen ein großes Problem. Zahlreiche Landwirte befürchten die totale Wertlosigkeit ihrer Aufwüchse, wodurch nicht nur die landwirtschaftliche Verwendung, sondern in der Folge auch die aus Naturschutzgründen notwendige Offenhaltung der Landschaft wesentlich eingeschränkt werden könnte. Die momentane Empfehlung zur Reduktion der Herbstzeitlosen ist ein frühes Mulchen bzw. ein früher Schnitt mit Abfuhr Anfang-Mitte Mai, wenn die Herbstzeitlose (HZL) bereits ihre Kapsel geschoben hat und mehr als zwei Pflanzen pro m² im Pflanzenbestand vorzufinden sind. Es stellt sich die Frage, ob das Colchizin einer sich zersetzenden, Herbstzeitlosen-haltigen Mulchschicht an die darunter wachsenden Pflanzen weitergegeben wird und so das Futter im Folgeaufwuchs kontaminiert. Daher wurde in einem Freilandversuch Pflanzenmaterial des Folgeaufwuchses auf Colchizingehalt getestet, das 8 Wochen vorher durch eine Mulchschicht, die entweder keine, 2 oder 10 Herbstzeitlose-Pflanzen/m² enthielt, bedeckt gewesen war. Zusätzlich wurden zwei verschiedene Mulchzeitpunkte zur Variation des Pflanzenwuchsstadiums simuliert (Ende April – nur HZL-Blätter, Ende Mai – HZL-Blätter und junge Kapsel). Die Ergebnisse der Analyse zeigen eine sehr leichte Kontamination des Folgeaufwuchses durch eine vorherige Bedeckung und Zersetzung einer Herbstzeitlosen-haltigen Mulchschicht in Abhängigkeit des Wuchsstadium sowie der Dichte an Herbstzeitlosen. Der höchste Colchizingehalt wurden im Folgeaufwuchs der Variante 10 Pflanzen /m² und Mulchzeitpunkt Ende Mai detektiert. Dieser lag mit 0,06 mg/kg TM jedoch dicht an der Bestimmungsgrenze von 0,01 mg/kg. Eine Verfütterung des Materials (frisch oder Heu) scheint daher unbedenklich. Tiere (z. B. Rinder oder Pferde mit 500 kg Körpergewicht) müssten schon unrealistisch hohe Mengen (10 t TM/d) fressen, um die tödliche Dosis von Colchizin zu erreichen. Schlussfolgernd kann die Regulation der Herbstzeitlosen auch weiterhin mittels Mulchen durchgeführt werden.

Stichwörter: *Colchicum autumnale*, Colchizin, extensives Grünland, Futterkontamination, Giftpflanzen-Regulierung, Herbstzeitlose, Mulchschicht

Abstract

Colchicum autumnale L. (Autumn crocus) is a plant with high toxicity because of its alkaloid colchicine content. In South Germany particularly, *C. autumnale* is widely distributed in extensively managed grassland. Farmers fear the loss of their grassland forage because hay from meadows containing *C. autumnale* cannot be fed to livestock. Control of *C. autumnale* is suggested when two plants per m² occur in the sward. Common control practice is mulching of the meadow at the beginning of May when *C. autumnale* plants have developed their capsules. However, it is not known if there is a contamination of the grassland plants which grow under the mulch layer due to the decaying plant material of *C. autumnale.* A field experiment took place where forage plants were tested for colchicine content after being exposed to a mulch layer 8 weeks before which contained different amounts of *C. autumnale* (0, 2, 10 plants/m²). Additionally, two dates for mulching were tested simulating different growth stages of *C. autumnale* (end of April -– only leaves, end of May – leaves and young capsules). Results of colchicine content show a slight contamination of the forage grass after being exposed to a mulch layer containing *C. autumnale.* Highest colchicine content was detected in the treatment with 10 plants/m² where mulching had taken place end of May at the growth stage "leaves and young capsules". However, highest colchicine content was 0.06 mg/kg DM close to the limit of quantification for colchicine (0.01 mg/kg). Therefore, using this plant material as forage seems to be non-hazardous. Animals (cattle or horses with e.g. 500 kg) would need to feed unrealistic high amounts (10 t DM/d) of this forage to reach the deadly dose of colchicine. In conclusion, the common practice to control *C. autumnale* by mulching can be retained.

Keywords: Autumn crocus, control of poisonous plants, colchicine, *Colchicum autumnale*, grassland, forage contamination, mulch layer

Einleitung

In Baden-Württemberg ist der Besatz von Herbstzeitlosen (*Colchicum autumnale* L.) in extensiv genutzten Grünlandflächen ein großes Problem (HÖLL, 2018). Zahlreiche Landwirte befürchten die totale Wertlosigkeit ihrer Aufwüchse, denn in der Regel wird der Grünlandaufwuchs als Heu konserviert und an Pferde und Rinder verfüttert. Die Herbstzeitlose enthält über 20 Alkaloide, darunter das für Mensch und Tier sehr giftige Colchizin (JUNG et al., 2011). Dieses ist in allen Teilen der Pflanze, vor allem aber im Samen enthalten. Erst nach einer stunden- oder sogar tagelangen Latenzzeit treten Vergiftungserscheinungen auf. Das Gift Colchizin wird auch durch Konservierung (Heu oder Silage) nicht oder nur in sehr geringen Mengen abgebaut, und behält noch nach mehreren Wochen und Monaten seine Wirksamkeit (JUNG et al., 2011). Es wurde beobachtet, dass erfahrene Rinder und Pferde die Pflanze nicht nur auf der Weide, sondern auch im Futtertrog meiden, wenn die Möglichkeit zur Selektion besteht, d. h., wenn genug Futter verfügbar und dieses nicht zerstückelt oder zerbröckelt ist. Rechtlich darf Schnittgut, das Herbstzeitlose enthält und damit die Tiergesundheit beeinträchtigen kann, nicht verfüttert oder in Verkehr gebracht werden (LFGB 2019). Damit ist nicht nur die landwirtschaftliche Verwendung des Schnittgutes wesentlich eingeschränkt, sondern auch die aus Sicht des Naturschutzes gewünschte Offenhaltung der Landschaft gefährdet. Zu einer Regulierung der Herbstzeitlosen auf landwirtschaftlich genutztem Grünland wird daher geraten. Die momentane Empfehlung zur Reduktion der Herbstzeitlosen ist ein frühes Mulchen bzw. ein früher Schnitt mit Abfuhr Anfang-Mitte Mai, wenn die Herbstzeitlose (HZL) bereits ihre Kapsel geschoben hat und mehr als zwei Pflanzen pro m^2 im Pflanzenbestand vorzufinden sind (SEITHER et al., 2014). Jedoch stellt sich die Frage, ob das Colchizin einer sich zersetzenden Herbstzeitlosen-haltigen Mulchschicht an die darunter wachsenden Pflanzen weitergegeben wird und so das Futter im Folgeaufwuchs kontaminieren könnte. Daher wurde in einem Freilandversuch des Landwirtschaftlichen Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW) Pflanzenmaterial des Folgeaufwuchses auf Colchizingehalt getestet, das vorher durch eine Herbstzeitlosen-haltige Mulchschicht bedeckt gewesen war. Einflüsse von HZL-Besatzdichte und Zeitpunkt der Mulchregulierung (unterschiedliches Wuchsstadium der HZL) wurden zusätzlich untersucht.

Material und Methoden

Als Versuchsfläche wurde eine homogen gewachsene, grasdominierte Schnittwiese im ebenen Gelände gewählt, auf der bisher keine Herbstzeitlose gewachsen war, um sicherzustellen, dass möglicherweise festgestelltes Colchizin nur aus der ausgebrachten Mulchschicht stammen kann. Im Versuch wurden die zwei Faktoren HZL-Besatzdichte (0, 2, 10 HZL-Pflanzen/m^2) und Mulchtermin (Ende April, Ende Mai) getestet. Dazu wurden zwei Experiment-Blöcke mit je 9 Plots von einem Quadratmeter im Strip-Design angelegt. Die Variante Besatzdichte wurde dreifach wiederholt und pro Wiederholung randomisiert angeordnet. Der erste Experiment-Block wurde Ende April 2019 auf Höhe 5 cm abgeschnitten und das Material vollständig abgefahren, separat gehäckselt und für die Mulchschicht verwendet. Zeitgleich wurden auf einer HZL-befallenen Fläche in der Region Herbstzeitlosepflanzen geerntet. Die Pflanzen befanden sich im Wuchsstadium „nur Blätter" (durchschnittlich 20 cm lang, Abb. 1 links) und hatten keinen Kapselansatz. Als Einzelpflanzengewicht wurde 20 g FM festgesetzt. Die jeweilige Anzahl an Herbstzeitlosen wurden mit einer Handschere zerkleinert, abgewogen und unter das ebenfalls abgewogene und gehäckselte Schnittgut gemischt, so dass jeweils eine Gesamtmenge von 3,75 kg/m^2 Mulchschicht zur Verfügung stand. Die jeweilige Mulchschicht-Masse wurde dann auf die Versuchsflächen ausgebracht und gleichmäßig per Hand verteilt.

Ende Mai wurde der Versuch entsprechend wiederholt: Dazu wurde in unmittelbarer Nähe des ersten Experiment-Blockes ein zweiter Streifen abgemäht, abgefahren, das Material gehäckselt, abgewogen und mit der jeweiligen Menge an Herbstzeitlosen vermengt als Mulchschicht ausgebracht. Der Unterschied zum ersten Block war das Wuchsstadium der Herbstzeitlosen. Sie hatten bereits alle eine Samenkapsel ausgebildet, die ca. 5 cm über den Boden herausschaute und

deren enthaltenen Samen noch nicht reif waren („Blätter und junge Kapsel", Abb. 1 rechts). Für die Vergleichbarkeit wurde auch hier ein Einzelpflanzengewicht von 20 g FM und eine Gesamtmulchschichtmenge von 3,75 kg/m² gewählt.

Zur Kontrolle wurden vom Ausgangsmulchmaterial sowie von den Herbstzeitlosen Proben für die Analyse auf Colchizin entnommen und bis zur Laboranalyse eingefroren.

Jeweils 8 Wochen (63 Tage) nach der Ausbringung der Mulchschicht war diese komplett zersetzt und Pflanzenproben des Folgeaufwuchses wurden für die Laboranalysen entnommen. Dazu wurde im Zentrum des Quadratmeters eine Fläche von 40 x 40 cm auf 8 cm abgeschnitten und im Trockenschrank bei 40 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die getrockneten Proben wurden dann zermahlen und zur Analyse an ein externes Labor versandt (JenaBios, Jena). Dort wurden die Proben auf Colchizingehalte nach einer Extraktion mit Acetonitril (gemäß QuEChERS Methode) mit einem HPLC-MS/MS untersucht.



Abb. 1 Wuchsstadien der Herbstzeitlosen zum Mulchtermin – links: Ende April – nur Blätter; rechts: Ende Mai – Blätter und junge Kapsel.

Fig. 1 *Growth stages of Autumn crocus at mulching date – left: end of April – only leaves; right: end of May – leaves and young capsules.*

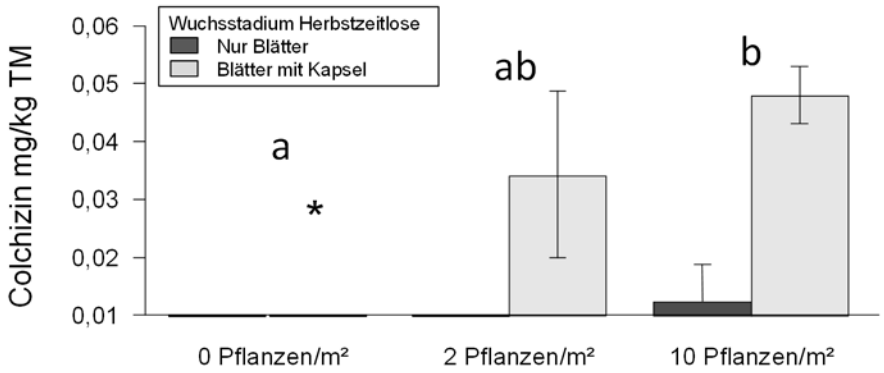


Abb. 2 Colchizingehalte (mg/kg TM) im Pflanzenmaterial des Folgeaufwuchses 8 Wochen nach Bedeckung mit Mulchschicht; Anzahl an Herbstzeitlosen (HZL) variiert in der Mulchschicht (0, 2, 10 Pflanzen/m²); zwei Mulchzeitpunkte (Ende April: nur HZL-Blätter, Ende Mai: Blätter und junge Kapsel); dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler pro Variante; Stern zeigt Ausreißerwert; kleine Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede in HZL-Menge gemittelt über beide Mulchzeitpunkte gemäß Linear Mixed Effect Model p=0,05; Bestimmungsgrenze des Colchizin 0,01 mg/kg.

Fig. 2 *Colchicine content in dried plant material (mg/kg DM) harvested 8 weeks after covering with mulch layer containing Autumn crocus plants in varying amounts (0, 2, 10 plants/m²); Mulching took place at two different dates: end of April (only leaves of Autumn crocus – dark grey bar) and end of May (leaves and young capsules of Autumn crocus – light grey bars); given are mean and standard error; asterisk shows outlier; small letters mark difference according linear mixed effect model p=0.05; limit of quantitation for colchicine: 0.01 mg/kg.*

Es wurde statistisch mit einem linearen Gemischte-Effekte-Modell (Paket ‚nlme' Version 3.1-131 in R (R Development Core Team, 2006)) in Verbindung mit einer Varianzanalyse untersucht, ob es Unterschiede im Colchizingehalt zwischen den Varianten der Besatzdichte gemittelt über beide Mulchtermine gab. Im Model wurde Variante und Mulchtermin als fixe Faktoren, Wiederholung als zufälliger Faktor gesetzt.

Ergebnisse

Die Laboranalysen ergaben sehr geringe Colchizingehalte im Pflanzenmaterial des Folgeaufwuchses. Mehrere Proben lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,01 mg/kg. Der höchste Wert von 0,06 mg/kg TM wurde in der Variante 10 Pflanzen /m² und Mulchzeitpunkt Ende Mai detektiert. Die Pflanzenproben der Variante 0 Pflanzen/m² lagen bis auf eine Probe (0,03 mg/kg TM) alle unterhalb der Bestimmungsgrenze. Dieser Wert kann höchstwahrscheinlich auf eine Verunreinigung in der Mühle zurückgeführt werden und wurde als Ausreißer bewertet, aber im Datensatz belassen.

Die statistische Analyse zeigte signifikante Unterschiede im Colchizingehalt durch die Besatzdichte (F=4,6; p=0,03). Der Colchizingehalt im Folgeaufwuchs unter einer Mulchschicht mit 10 Pflanzen/m² war mit im Mittel um 0,03 mg/kg TM signifikant höher als in der Kontrolle mit 0 Pflanzen/m² (Abb. 2). Der Zeitpunkt des Mulchtermins, und damit das Wuchsstadium der Herbstzeitlosen, hatte ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf den Colchizingehalt im Folgeaufwuchs (F=15,7 p=0,002). Hier lagen die detektierten Colchizingehalte in der späteren Variante „Blätter und junge Kapsel" Ende Mai um 0,01 mg/kg TM höher als in der frühen Variante Ende April im Stadium „nur Blätter".

Besatzdichte und Mulchtermin hatten keinen signifikanten Interaktionseffekt auf den Colchizingehalt im Folgeaufwuchs, d.h., zu beiden Terminen waren die höchsten Colchizingehalte bei der höchsten Besatzdichte zu finden.

Der Colchizingehalt des Ausgangsmaterials für die Mulchschicht, in das die jeweiligen Portionen der HZL eingemischt wurden, lag unterhalb der Bestimmungsgrenze. Die puren Herbstzeitlosen-

Pflanzen zum Zeitpunkt der Probennahme enthielten im Mittel 1686 mg/kg TM Colchizin im Stadium „nur Blätter" und 1757 mg/kg TM im Stadium „Blätter und junge Kapsel".

Diskussion

Die Ergebnisse der Analyse zeigen eine sehr leichte Kontamination des Folgeaufwuchses durch eine vorherige Bedeckung und Zersetzung einer Herbstzeitlosen-haltigen Mulchschicht in Abhängigkeit des Wuchsstadiums sowie der Anzahl an Herbstzeitlosen.

Die separat beprobten HZL-Pflanzen zeigten einen höheren Gehalt an Colchizin im Stadium „Blätter und junge Kapsel", der wahrscheinlich durch das Vorhandensein der unreifen Samen verursacht wurde. JUNG et al. (2012) konnten nachweisen, dass die Samen der Herbstzeitlosen die höchsten Colchizingehalte im Vergleich zu allen anderen Pflanzenteilen beinhalten. Diese höheren Colchizingehalte in den HZL-Pflanzen mit junger Kapsel spiegeln sich daher auch in der leicht höheren Kontamination der Mulchtermin-Variante Ende Mai „Blätter und junge Kapsel" wieder.

Die Ergebnisse zum Colchizingehalt bei unterschiedlicher Besatzstärke an HZL-Pflanzen im Bestand untermauern auch von Seiten der Kontamination des Folgeaufwuchses eine Regulierung des Bestandes ab 2 Pflanzen/m², wie bereits empfohlen (SEITHER et al., 2014).

Die detektierten Colchizingehalte lagen sehr nahe an der Bestimmungsgrenze des Colchizins (Maximalwert 0,06 mg/kg TM). Eine Verfütterung des Materials (frisch oder Heu) scheint daher unbedenklich. Tiere wie z. B. Rinder oder Pferde (hier: Annahme 500 kg Körpergewicht) müssten schon unrealistisch hohe Mengen (10 t TM/d) fressen, um die tödliche Dosis von Colchizin von 1 mg/kg Körpergewicht (CLINITOX, 2019) zu erreichen. Folglich kann die Methode zur Regulierung der Herbstzeitlosen durch ein frühes Mulchen Anfang-Mitte Mai, wenn die Herbstzeitlose (HZL) bereits ihre Kapsel geschoben hat, beibehalten und der Folgeaufwuchs verfüttert werden.

Literatur

CLINITOX, 2019: Giftpflanze: *Colchicum autumnale* – Veterinaertoxikologie.
https://www.vetpharm.uzh.ch/giftdb/pflanzen/0022_tvm.htm (14.10.2019).

HÖLL, N., 2018: Die Herbstzeitlose in FFH-Mähwiesen, Naturschutzinfo 2/2018, 27-33.

JUNG, L., S. WINTER, R.L. ECKSTEIN, M. KRIECHBAUM, G. KARRER, E. WELK, M. ELSÄSSER, T. DONATH, A. OTTE, 2011: Biological Flora of Central Europe - *Colchicum autumnale* L. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics **13**, 227– 244.

JUNG, L., T. DONATH, L. ECKSTEIN, A. OTTE, 2012: Regulierung der Herbst-Zeitlose (*Colchicum autumnale* L.) in extensiv genutztem Grünland, Abschlussbericht DBU (Deutschen Bundesstiftung Umwelt)-Projekt.

LFGB 2019: § 17 – Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch, Fassung der Bekanntmachung vom 3. Juni 2013 (BGBl. I S.1426), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 24. April 2019 (BGBl. I S. 498).

R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2006: R: a language and environment for statistical compution, Wien, http://www.r-project.org

SEITHER, M., S. ENGEL, K. KING, M. ELSÄSSER, 2014: FFH-Mähwiesen Grundlagen – Bewirtschaftung – Wiederherstellung, Aulendorf.

Vorfrucht- und Fruchtfolgeeffekte auf die Verunkrautung in Zuckerrüben und Winterweizen im Systemversuch Fruchtfolge Harste

Preceeding crop and crop rotational effects on weed infestation in sugar beet and winter wheat in the crop rotation experiment Harste

Philipp Götze*, Heinz-Josef Koch

Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstr. 77, 37079 Göttingen, Germany
*Korrespondierender Autor, goetze@ifz-goettingen.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.012

Zusammenfassung

Im integrierten Pflanzenschutz kommt der Fruchtfolge als vorbeugende Maßnahme zur Kontrolle von Krankheiten und Unkräutern eine hohe Bedeutung zu. Der Wechsel von Halm- und Blattfrüchten bzw. Sommerungen und Winterrungen soll dem Aufbau einseitiger Unkrautpopulationen entgegenwirken. Im Systemversuch Fruchtfolge in Harste sollte daher der Einfluss unterschiedlicher Fruchtfolgen auf die Verunkrautung in Zuckerrüben (ZR) und Winterweizen (WW) in nachfolgenden Fruchtfolgen geprüft werden (untersuchte Fruchtfolgefelder sind mit* gekennzeichnet): 1.) ZR*-WW*-WW, 2.) WW*-Monokultur, 3.) Silomais (SM)-WW*-WW, 4.) Winterraps (WRa)-WW*-WW, 5.) ZR*-WW*-SM und 6.) ZR*-WW*-WRa-WW-WW-Körnererbse (KE). Hierzu wurden im Frühjahr 2018 unbehandelte Boniturparzellen angelegt und nach Abschluss der Herbizid-Maßnahmen die artspezifische Abundanz und die oberirdische Trockenmasse bestimmt. In ZR wurde eine signifikant höhere Gesamtunkrautabundanz und -trockenmasse in der Fruchtfolge ZR-WW-WRa-WW-WW-KE gegenüber der Fruchtfolge ZR-WW-WW vorgefunden. In der Fruchtfolge ZR-WW-WRa-WW-WW-KE wurde zudem eine signifikant höhere Abundanz an MATCH und eine signifikant höhere Trockenmasse an STEME nachgewiesen als in der Fruchtfolge ZR-WW-SM. Die Fruchtfolge ZR-WW-SM wies tendenziell den geringsten Shannon-Index der Unkrautabundanz auf, was auf eine Dominanz von ECHCG zurückzuführen ist. Die Fruchtfolge ZR-WW-WRa-WW-WW-KE wies tendenziell das diverseste Unkrautspektrum auf. In WW war die Gesamtunkrautabundanz nach der Vorfrucht WRa signifikant am höchsten. Unterschiede in der Unkrauttrockenmasse und im Shannon-Index waren geringer und nicht signifikant.

Stichwörter: Oberirdische Unkrautbiomasse, Shannon-Index, Unkrautabundanz

Abstract

In integrated pest management, crop rotation is of great importance as a preventive measure for the control of diseases and weeds. The alternation of cereals and leaf crops, and spring and winter crops aims to counteract the development of biased weed populations. In the crop rotation experiment in Harste the influence of different crop rotations on weed infestation in sugar beets (SB) and winter wheat (WW) was determined in subsequent crop rotations (investigated crop rotation fields are marked with *): 1.) SB* -WW* -WW, 2.) WW* monoculture, 3.) silage maize (SM) -WW* -WW, 4.) winter oilseed rape (WRa) -WW* -WW, 5.) SB* -WW* -SM and 6.) SB* -WW* -WRa-WW-WW-grain pea (GP). For this purpose untreated sub plots were established in spring 2018 and, once the herbicide measures were completed in the treated part of the plots, weed species-specific abundance and above-ground dry matter were determined. In SB, a significantly higher total weed abundance and above-ground dry mass was found in the crop rotation SB-WW-WRa-WW-WW-GP compared to the crop rotation SB-WW-WW. In the crop rotation SB-WW-WRa-WW-WW-GP, a significantly higher abundance of MATCH and a significantly higher dry mass of STEME were detected than in the crop rotation SB-WW-SM. The SB-WW-SM crop rotation tended to have the lowest Shannon index of weed abundance due to the dominance of ECHCG. The crop rotation SB-WW-WRa-WW-WW-GP tended to show the most diverse weed spectrum. In WW, total weed abundance was significantly highest succeeding WRa. Above-ground weed dry matter and Shannon index differences were lower and not significant.

Keywords: Aboveground weed biomass, Shannon-index, weed abundance

Einleitung

Im integrierten Pflanzenschutz kommt der Fruchtfolge als vorbeugende Maßnahme zur Kontrolle von Krankheiten und Unkräutern eine hohe Bedeutung zu. Der Wechsel von Halm- und Blattfrüchten bzw. Sommerungen und Winterrungen soll dem Aufbau einseitiger Unkrautpopulationen entgegenwirken. Die Integration von mehrjährigen Kulturarten in die Fruchtfolge reduziert das Auftreten einjähriger Problemunkräuter wie MERAN, POLCO oder CHEAL

(MEISS et al., 2010). Die Zusammensetzung der Segetalflora kann daher über den wechselnden Anbau von Kulturarten mit unterschiedlichen Aussaatzeiten beeinflusst werden (NICHOLS et al., 2015). Der Anbau von Winterweizen in Monokultur führt z.B. zu einer spezifischen Segetalflora mit geringer Diversität, während der Wechsel zur Zweifelderwirtschaft mit Sommerblattfrüchten wie Zuckerrüben oder Ackerbohnen die Diversität der Segetalflora erhöhen kann (u.a. KOOCHEKI et al., 2009; RUISI et al., 2015). Im folgenden Beitrag soll überprüft werden, ob in einem zwölfjährigen Fruchtfolgeversuch Unterschiede in der Segetalflora in Zuckerrüben und Winterweizen in Abhängigkeit der Fruchtfolgestellung festzustellen sind.

Material und Methoden

Für die Untersuchungen diente der in 2006 angelegte Systemversuch Fruchtfolge in der Nähe der Ortschaft Harste, Landkreis Göttingen (51°36'23.5"N, 9°51'55.8"E, Höhenlage 142 m ü. NN). Die langjährige (1980-2010), mittlere Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 9,2 °C und die mittlere Jahresniederschlagssumme 651 mm (DEUTSCHER WETTERDIENST DWD 2019). Bodentypologisch handelt es sich bei der Feldversuchsfläche um eine pseudovergleyte Parabraunerde und die Bodenart in der Ackerkrume ist ein schwach toniger Schluff (Ut2) (AG BODEN, 2005). Der Feldversuch ist als Gitteranlange mit 3 Wiederholungen und 6 unvollständigen Blöcken mit je 4 Parzellen je Block angelegt. Um den Effekt der Fruchtfolge unabhängig des Jahreseinflusses auswerten zu können, werden alle Fruchtfolge-Felder jedes Jahr parallel angebaut (Tab. 1). In den Fruchtfolgen 1, 5 und 6 kann der Effekt unterschiedlicher Fruchtfolgen auf die Verunkrautung in Zuckerrüben geprüft werden. Bei Betrachtung der Fruchtfolgen 1 bis 4 wird der Einfluss der Vorfrucht und Monokultur auf die Verunkrautung in Winterweizen untersucht. In den Fruchtfolgen 1, 5 und 6 wird die Verunkrautung von Winterweizen bei identischer Vorfrucht Zuckerrübe aber unterschiedlicher Anbaukonzentration und Komplementärfrüchten in der Fruchtfolge ausgewertet.

Tab. 1 Fruchtfolgevarianten des Systemversuch Fruchtfolge Harste. Fruchtfolgefelder, in denen die Verunkrautung bestimmt wurde, sind mit * gekennzeichnet (WW – Winterweizen, ZR – Zuckerrübe, SM – Silomais, KE – Körnererbse, WRa - Winterraps).

Tab. 1 *Crop rotation variants of the crop rotation experiment Harste. Crop rotation fields marked by * were included in the investigation of weed infestation (WW – winter wheat, ZR – sugar beet, SM – silage maize, KE – grain pea, WRa – winter oilseed rape, Senf – catch crop mustard, Phacelia – catch crop phacelia.*

Fruchtfolge	**Jahr / Fruchtfolgefeld**					
Nr.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1	Senf_ZR*	WW*	WW			
2	WW*	Monokultur				
3	Senf_SM	WW*	WW			
4	WRa	WW*	WW			
5	ZR*	WW*	Senf_SM			
6	Senf_ZR*	WW*	WRa	WW	WW	Phacelia_KE

Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten in Anlehnung an die regionale fachliche Praxis. Winterweizen wurde einheitlich für alle untersuchten Fruchtfolgefelder am 25.10.2017 gesät (Saatstärke 350 Körner m^{-2}), Zuckerrüben am 19.04.2018.

Zur Bestimmung der Verunkrautung wurden je Parzelle 4 Boniturparzellen (45 x 55 cm) angelegt, welche zu den Herbizidbehandlungen abgedeckt wurden. Nach Abschluss der Herbizidmaßnahmen im Frühjahr 2018 wurden die artspezifische Abundanz und die oberirdische Trockenmasse bestimmt sowie der Shannon-Index berechnet (Datum der Probenahme: Winterweizen 19.04., Zuckerrübe 07.06.).

Die statistische Auswertung erfolgte mittels F-Test und anschließendem Mittelwertvergleich (Tukey-Test) bei $\alpha = 5$ % mit der Software SAS und der Procedur mixed nach vorheriger Transformation der Daten (arcsin Winkeltransformation). Dargestellt werden die re-transformierten Werte. Nur sporadisch auftretende Unkräuter werden unter *Weitere* zusammengefasst.

Ergebnisse

Verunkrautung in Zuckerrüben

In Zuckerrüben wurde im Fruchtfolgefeld ZR*-WW-WW gegenüber den Fruchtfolgefeld ZR*-WW-WRa-WW-WW-KE eine signifikant und gegenüber dem Fruchtfolgefeld ZR*-WW-SM ein tendenziell geringere Gesamtunkrautabundanz und –trockenmasse festgestellt (Abb. 1). Die Verunkrautung war durch CHEAL, ECHCG und MATCH geprägt, wobei die artspezifische Abundanz und Trockenmasse in Abhängigkeit der Fruchtfolgestellung variierte (Tab. 2). So war die Abundanz und Trockenmasse von ECHCG und POAAN nach Silomais tendenziell höher im Vergleich zu den anderen Varianten, während MATCH und STEME eine signifikant höhere Abundanz im Fruchtfolgefeld ZR*-WW-WRa-WW-WW-KE im Vergleich zum Fruchtfolgefeld ZR*-WW-SM aufwiesen. Auch kam GALAP ausschließlich und THLAR tendenziell mit höherer Abundanz im Fruchtfolgefeld ZR*-WW-WRa-WW-WW-KE vor.

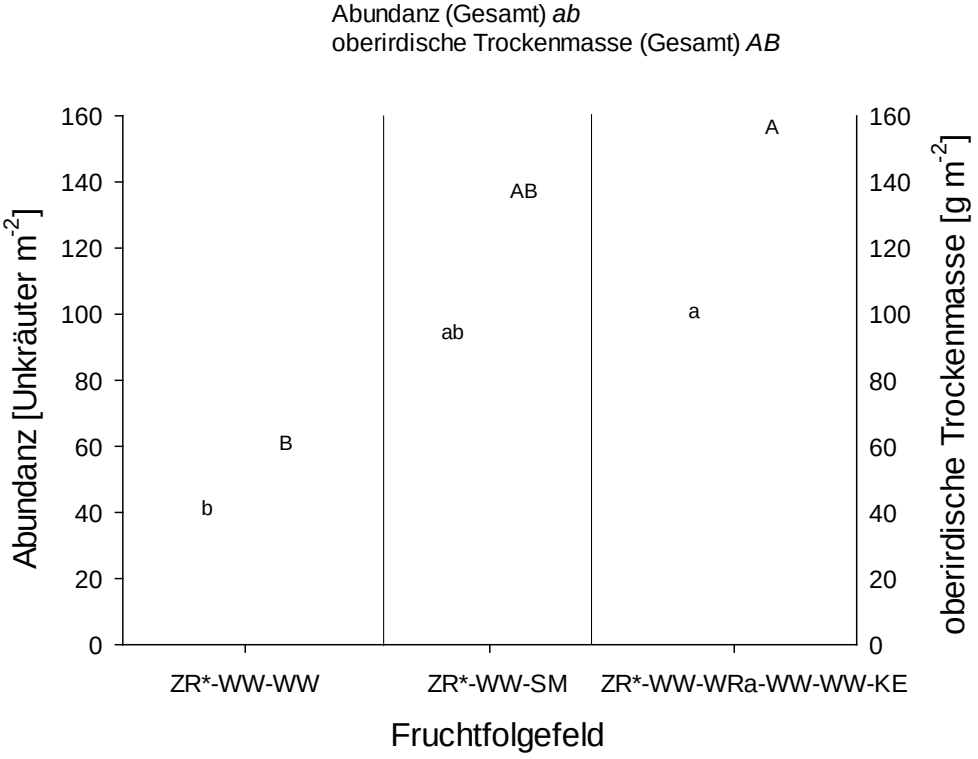


Abb. 1 Gesamtverunkrautung (Abundanz und oberirdische Trockenmasse) in Zuckerrüben bei unterschiedlicher Fruchtfolgestellung (markiert mit *) im Systemversuch Fruchtfolge Harste in 2018. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen bei p ≤ 0,05 (Tukey-Test) für Abundanz (Kleinbuchstaben) und oberirdische Trockenmasse (Großbuchstaben) (WW – Winterweizen, ZR – Zuckerrübe, SM – Silomais, KE – Körnererbse, WRa - Winterraps).

Fig. 1 *Total weed infestation (abundance and aboveground dry matter) in sugar beet at varying position in the crop rotation (marked by *) in the crop rotation experiment Harste 2018. Different letters indicate significant differences at p ≤ 0,05 (Tukey-test) for abundance (lower-case letters) and aboveground dry matter (upper-case letters) (WW – winter wheat, ZR – sugar beet, SM – silage maize, KE – grain pea, WRa – winter oilseed rape).*

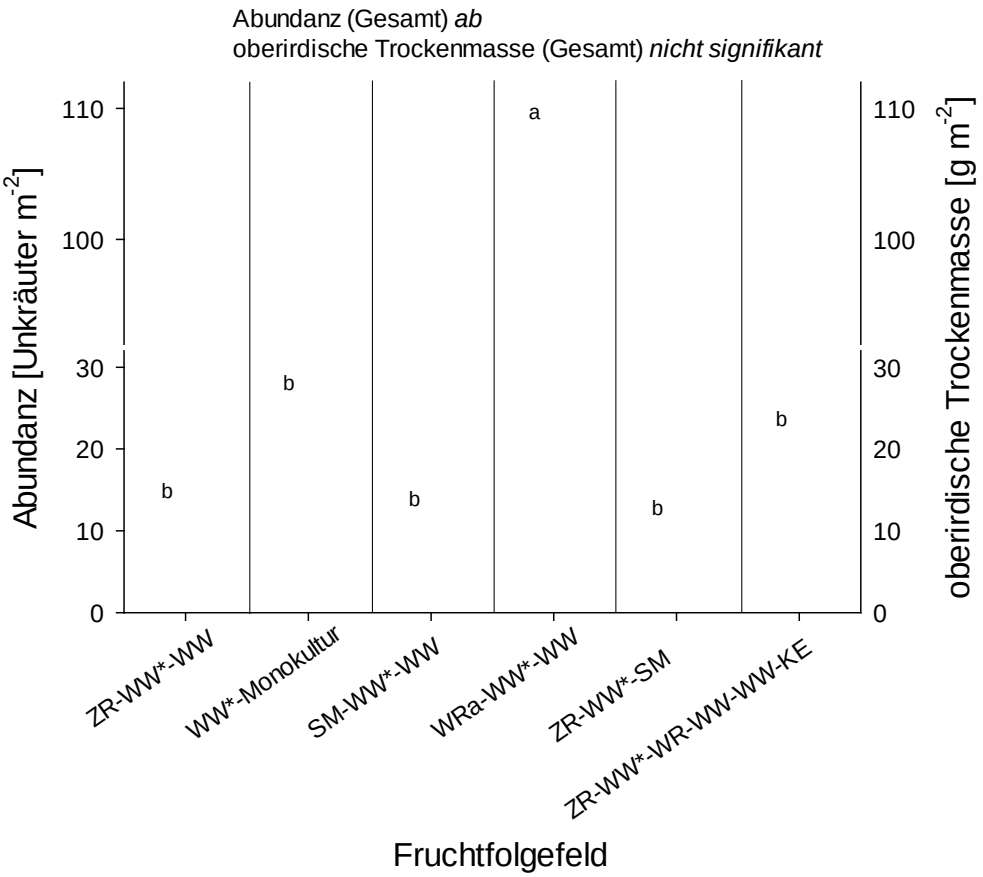


Abb. 2 Gesamtverunkrautung (Abundanz und oberirdische Trockenmasse) in Winterweizen bei unterschiedlicher Fruchtfolgestellung (markiert mit *) im Systemversuch Fruchtfolge Harste 2018. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen der Abundanz bei p ≤ 0,05 (Tukey-Test) (WW –-Winterweizen, ZR - Zuckerrübe, SM - Silomais, KE - Körnererbse, WRa - Winterraps).

Fig. 2 *Total weed infestation (abundance and aboveground dry matter) in winter-wheat at varying position in the crop rotation (marked by *) in the crop rotation experiment Harste 2018. Different letters indicate significant differences for abundance at p ≤ 0,05 (Tukey-test) (WW –- winter wheat, ZR –- sugar beet, SM -silage maize, KE – -grain pea, WRa – -winter oilseed rape).*

Tab. 2 Auftreten von Unkrautarten (Abundanz und oberirdische Trockenmasse) in Zuckerrübe bei unterschiedlicher Fruchtfolgestellung (markiert mit *) im Systemversuch Fruchtfolge Harste 2018. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen innerhalb einer Unkrautart bei $p \leq 0,05$ (Tukey-Test) (WW – Winterweizen, ZR – Zuckerrübe, SM – Silomais, KE – Körnererbse, WRa Winterraps).

***Tab. 2** Weed species infestation (abundance and aboveground dry matter) in sugar beet at varying position in the crop rotation (marked by *) in the crop rotation experiment Harste 2018. Different letters indicate significant differences for each weed species at $p \leq 0,05$ (Tukey-test) (WW – winter wheat, ZR – sugar beet, SM – silage maize, KE – grain pea, WRa – winter oilseed rape).*

Unkrautart (Code)	**Fruchtfolgefeld ZR*-WW-WW**	**ZR*-WW-SM**	**ZR*-WW-WRa-WW-WW-KE**
	Abundanz [Unkräuter m^{-2}]		
CHEAL	2,31	6,98	10,96
ECHCG	8,62	54,07	18,61
GALAP	0,00	0,00	5,14
LAMAM	1,83	0,44	1,30
LAMPU	1,10	1,00	1,66
MATCH	3,11 ab	0,11 b	12,50 a
POAAN	0,33	7,48	0,83
STEME	2,80 ab	0,00 b	7,64 a
THLAR	4,28	1,99	7,94
VIOAR	0,00	0,11	4,53
Weitere	0,56	3,78	0,44
Shannon Index	5.01	3.50	5.71
	Trockenmasse [g m^{-2}]		
CHEAL	12,68	24,35	42,35
ECHCG	12,69	92,82	30,71
GALAP	0,00	0,00	4,39
LAMAM	1,34	0,13	1,19
LAMPU	1,47	0,40	1,97
MATCH	6,39	0,02	13,72
POAAN	0,07	0,37	0,01
STEME	1,36	0,00	4,72
THLAR	4,08	1,52	16,55
VIOAR	0,00	< 0,01	1,37
Weitere	0,79	2,20	0,38

Verunkrautung in Winterweizen

In Winterweizen war die Gesamtunkrautabundanz nach der Vorfrucht Winterraps signifikant höher als in anderer Fruchtfolgestellung. Signifikante Unterschiede in der Gesamtunkrauttrockenmasse waren nicht vorhanden (Abb. 2). Tendenziell war nach den Vorfrüchten Zuckerrüben und Silomais eine geringere Gesamtunkrauttrockenmasse festzustellen als nach Winterraps und in Winterweizen-Monokultur. Das Unkrautspektrum bestand standorttypisch hauptsächlich aus THLAR, STEME, MATCH, LAMPU und POAAN (Tab. 3). Im Fruchtfolgefeld WRa-WW*-WW wurde eine höhere Abundanz an PAPRH festgestellt als in Fruchtfolgen ohne Winterraps und die Abundanz von STEME war signifikant höher als im Fruchtfolgefeld ZR-WW*-WRa-WW-WW-KE. Ebenso kam THLAR fast ausschließlich in Parzellen nach Winterraps vor und GALAP kam ausschließlich in Fruchtfolgen mit Winterraps vor. Bei Betrachtung der artspezifischen Trockenmasse zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fruchtfolgefeldvarianten. Vergleicht man z. B. die Trockenmasse und Abundanz von STEME in Winterweizen-Monokultur und im Fruchtfolgefeld WRa-WW*-WW, so ist eine variantenabhängige unterschiedliche Einzelpflanzentrockenmasse offensichtlich (nicht dargestellt), welche eine geringere Abundanz kompensiert.

Tab. 3 Auftreten von Unkrautarten (Abundanz und oberirdische Trockenmasse) in Winterweizen bei unterschiedlicher Fruchtfolgestellung (markiert mit *) im Systemversuch Fruchtfolge Harste 2018. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen innerhalb einer Unkrautart bei $p \leq 0,05$ (Tukey-Test) (WW –- Winterweizen, ZR – -Zuckerrübe, SM –- Silomais, KE - Körnererbse, WRa - Winterraps).

Tab. 3 *Weed species infestation (abundance and aboveground dry matter) in winter-wheat at varying position in the crop rotation (marked by *) in the crop rotation experiment Harste 2018. Different letters indicate significant differences for each weed species at p ≤ 0,05 (Tukey-test) (WW – winter wheat, ZR – sugar beet, SM – silage maize, KE –- grain pea, WRa – winter oilseed rape).*

Unkrautart (Code)	**Fruchtfolgefeld**					
	ZR-WW*-WW	**WW*-Mono-kultur**	**SM-WW*-WW**	**WRa-WW*-WW**	**ZR-WW*-SM**	**ZR-WW*-WRa-WW-WW-KE**
	Abundanz [Unkräuter m^{-2}]					
CHEAL	0,11	0,22	0,89	0,11	0,11	0,00
GALAP	0,00	0,00	0,00	1,16	0,00	7,25
LAMPU	0,11	0,44	1,00	0,22	0,44	0,11
MATCH	3,66	4,13	2,95	2,07	1,33	1,75
PAPRH	0,11 b	0,33 b	0,44 b	34,1 a	0,00 b	3,65 ab
POAAN	0,83	3,05	0,44	0,11	0,65	1,10
POLAV	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
STEME	5,04 ab	14,54 ab	3,65 ab	24,58 a	6,5 ab	2,17 b
THLAR	0,11	0,00	0,00	21,28	0,00	0,00
Weitere	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Shannon Index	3,29	2,78	3,46	2,95	2,56	2,64
	Trockenmasse [g m^{-2}]					
CHEAL	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,00
GALAP	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	3,2
LAMPU	< 0,01	0,09	0,04	< 0,01	0,08	0,12
MATCH	0,02	0,15	0,09	< 0,01	0,07	0,09
PAPRH	< 0,01	0,10	< 0,01	4,49	0 b	0,08
POAAN	0,09	0,13	< 0,01	< 0,01	0,04	0,13
POLAV	< 0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
STEME	3,56	11,13	1,02	8,34	1,9	0,53
THLAR	< 0,01	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00
Weitere	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Diskussion

Da die Ergebnisse an unbehandelten Parzellen erhoben wurden, geben diese Hinweise auf das Unkrautsamenpotential bzw. das Verunkrautungspotential. Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der Unkrautbekämpfungsmaßnahmen in 2018 sind nicht möglich. Allerdings ist ein Einfluss der Wirksamkeiten der Unkrautbekämpfungsmaßnahmen der Vorjahre auf das Unkrautsamenpotential wahrscheinlich. Eine retrospektive Betrachtung der Unkrautbekämpfungsmaßnahmen auf die vorliegenden Ergebnisse ist nicht Inhalt dieses Beitrags, soll aber nach Auswertung weiterer Versuchsjahre zur Interpretation der Ergebnisse erfolgen.

Die Ergebnisse bestätigen Angaben aus der Literatur, dass die Segetalflora durch die Fruchtfolge beeinflusst wird (NICHOLS et al., 2015). Aufgrund der Versuchsstruktur lassen sich die ursächlichen Beziehungen aber nicht eindeutig zuordnen. Die höhere Verunkrautung in Zuckerrüben in den Fruchtfolgen ZR*-WW-SM und ZR*-WW-WRa-WW-WW-KE im Vergleich zur Fruchtfolge ZR*-WW-WW kann zum einen auf einen unterlassenen Wechsel von Winterrungen/Sommerungen bzw. Halm-/Blattfrüchten (SM als Intensiv-Blattfrucht nach ANDREAE, 1959) zurückgeführt werden. Allerdings deutet die unterschiedliche Unkrautartenzusammensetzung in den Fruchtfolgen ZR*-WW-SM und ZR*-WW-WRa-WW-WW-KE auch auf einen Einfluss Vorfrucht bzw. der innerhalb der Fruchtfolge angebauten Kulturarten hin. Die im Winterweizen beobachtete Unkrautabundanz kann ebenso so nicht eindeutig in dem Anbau von Sommerungen/Winterrungen bzw. Halm-/Blattfrucht als

Vorfrucht begründet werden, sondern ist vermutlich auf den Anbau von Winterraps zurückzuführen. Hervorzuheben ist, dass eine Häufung von einjährigen Ungräsern bei Anbau von Winterweizen in Monokultur, wie von KOOCHEKI et al. (2009) berichtet, vermutlich standortbedingt nicht bestätigt wurde. Die Untersuchungen sollen in weiteren Jahren wiederholt werden um gesicherte Hinweise zur Fruchtfolgegestaltung als vorbeugende Maßnahme im Sinne des Integrierten Pflanzenschutzes geben zu können.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Julia Kroos und Simon Marx für die Unterstützung bei der Datenerhebung.

Literatur

ANDREAE, B.,1959: Wirtschaftslehre des Ackerbaus. Stuttgart 1959.

AG BODEN, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

DEUTSCHER WETTERDIENST DWD, 2019: ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations_germany/climate/multi_annual/mean_81-10/, zuletzt geprüft am 31.05.2019.

KOOCHEKI, A., M. NASSIRI, L. ALIMORADI, R. GHORBANI, 2009: Effect of cropping systems and crop rotations on weeds. Agron. Sustain. Dev. **29**, 401–408.

MEISS, H., S. MÉDIÈNE, R. WALDHARDT, J. CANEILL, N. MUNIER-JOLAIN, 2010: Contrasting weed species composition in perennial alfalfas and six annual crops: Implications for integrated weed management. Agronomy for Sustainable Development **30**, 657–666.

NICHOLS, V., N. VERHULST, R. COX, B. GOVAERTS, 2015: Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. Field Crop Res. **183**, 56–68.

RUISI, P., B. FRANGIPANE, G. AMATO, G. BADAGLIACCA, G. DI MICELI, A. PLAIA, D. GIAMBALVO, A. DAVIS, 2015: Weed seedbank size and composition in a long-term tillage and crop sequence experiment. Weed Res. **55**, 320–328.

Beeinflussung der Unkrautflora durch verschiedene Bodenbearbeitungssysteme – Langjähriger Vergleich von wendender und nicht-wendender Bodenbearbeitung

Influence of different soil tillage systems on weed flora - long-term comparison of inversion tillage and minimum tillage

Jürgen Schwarz

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI), Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow
Korrespondierender Autor, juergen.schwarz@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.013

Zusammenfassung

Die pfluglose Bodenbearbeitung ist in Deutschland weit verbreitet, dies trifft für ungefähr 40 % der Ackerflächen zu. Die Vorteile einer pfluglosen Bodenbearbeitung sind z. B. Förderung des Bodenlebens, Energie- und Kosteneinsparung sowie Erosionsschutz. Zu den Nachteilen zählen Probleme mit Schnecken und Mäusen, oftmals höherer Pflanzenschutzmitteleinsatz und eine Zunahme der Verunkrautung. Zur Betrachtung der langfristigen Auswirkungen der pfluglosen Bodenbearbeitung sind Dauerfeldversuche unverzichtbar. Gerade im Bereich der Unkrautflora stellen sich Effekte erst nach einigen Jahren ein. Seit Herbst 2007 widmet sich ein Dauerfeldversuch des Julius Kühn-Instituts in Dahnsdorf der Frage der Auswirkungen von pflugloser Bodenbearbeitung. Das Versuchsfeld liegt im Bundesland Brandenburg, in der Naturregion Hoher Fläming. Vorsommertrockenheit ist häufig in dieser Region anzutreffen. In zwei unterschiedlichen Pflanzenschutzstrategien wurden die wendende und nicht-wendende Bodenbearbeitung vergleichend geprüft. Als Ergebnis der Auflaufzahlen beim Windhalm (*Apera spica-venti*) zeigt sich, dass in beiden Strategien die Auflaufzahlen des Windhalms in den nicht-wendenden Varianten stets höher waren als in den wendenden Varianten. Bei den dikotylen Unkräutern stellen sich diese Verhältnisse, je nach Pflanzenschutzstrategie, erst nach einem längeren Zeitraum ein.

Stichwörter: *Apera spica-venti,* Dauerfeldversuch, dikotyle Unkräuter, nicht-wendende Bodenbearbeitung, Pflug, Windhalm

Abstract

Minimum tillage is widespread in Germany, which is true for about 40% of arable land. The advantages of ploughless soil cultivation are, for example, benefits for soil life, energy and cost savings as well as erosion control. Disadvantages are problems with snails and mice, often a higher use of pesticides and an increase in weeds. Long-term field trials are indispensable for considering the effects of ploughless soil cultivation. Especially concerning weed flora, effects only start to appear after several years. Since autumn 2007, the Julius Kühn-Institute in Dahnsdorf has been conducting a long-term field trial to investigate the effects of non-inversion tillage. The field is located in the federal state of Brandenburg, in the natural region of Hoher Fläming. An early summer drought is very common in this region. In two different pesticides strategies, inversion and minimum soil tillage was compared. One result is that loose silky-bentgrass (*Apera spica-venti*) has higher emergence rates in plots with minimum soil tillage. This is true for both pesticide strategies. In the case of dicotyledonous weeds the higher emergence rates occur after some time also depending on the pesticide strategy.

Keywords: *Apera spica-venti*, dicotyledonous weeds, long-term field trial, loose silky-bentgrass, non-inversion tillage, plough

Einleitung

Eine reduzierte Bodenbearbeitung kann einige Vorteile gegenüber einer intensiven Bodenbearbeitung bieten. Die intensive Bodenbearbeitung erfolgt meistens wendend, also mittels Pflug. Beim Verzicht auf den Pflug im Ökolandbau fanden MOOS et al. (2017) im Rahmen einer Meta-Studie eine Förderung der Abundanz und der Biomasse von Regenwürmern. Ein weiterer Vorteil einer reduzierten Bodenbearbeitung ist die Reduzierung des Energieverbrauchs bei der Durchführung der Bodenbearbeitung. SCHWARZ (2013) zeigte unter Brandenburger Verhältnissen im Mittel mehrerer Jahre eine Reduktion des Energieeinsatzes um ca. 50 %, von 1.045 MJ/ha auf 510 MJ/ha. Durch geringeren Kraftstoffverbrauch werden zudem CO_2 und andere treibhauswirksame

Gase eingespart. Weitere Vorteilswirkungen der reduzierten, pfluglosen Bodenbearbeitung sind verminderte Erosionsgefahr, bessere Befahrbarkeit der Ackerflächen und in vielen Fällen auch eine Einsparung an Kosten (ROSNER und KLIK, 2005).

Auf ca. 40 % der Ackerfläche in Deutschland wird die nichtwendende Bodenbearbeitung, also pfluglose Bodenbearbeitung durchgeführt, einbezogen sind hierbei auch, mit ca. 1 %, Direkt-Saatflächen (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2011).

Wie immer stehen den Vorteilen eines Verfahrens auch Nachteile gegenüber. Als ein Nachteil können Schwierigkeiten mit Mäusen und Schnecken auftreten. Ein weiterer, gravierender Nachteil der pfluglosen Bodenbearbeitung kann die Zunahme der Verunkrautung sein (SCHWARZ und PALLUTT, 2014). Hierbei wird oft die Zunahme von monokotylen Unkräutern beschrieben (AMANN, 1991; DITTMANN, 2012; SCHWARZ und PALLUTT, 2016a). Zudem geht die pfluglose Bodenbearbeitung vielfach mit einem stärkeren Einsatz von Pflanzenschutzmitteln einher. Besonders der Einsatz des Wirkstoffs Glyphosat wird bei der pfluglosen Bodenbearbeitung als kritisch thematisiert (STEINMANN, 2013). Im Rahmen eines Dauerfeldversuchs werden die Auswirkungen der pfluglosen Bodenbearbeitung in Verbindung mit unterschiedlichen Herbizidaufwandmengen auf den Unkrautauflauf überprüft.

Material und Methoden

Die hier präsentierten Ergebnisse resultieren aus einem Dauerfeldversuch des Julius Kühn-Instituts in Dahnsdorf. Dahnsdorf befindet sich im südlichen Brandenburg, nahe der Stadt Bad Belzig im Naturraum „Hoher Fläming" (Koordinaten: 52.108494 N, 12.636338 E). Der lehmige Sandboden besteht aus 57,9 % Sand, 37,5 % Schluff und 4,6 % Ton. Die Bodenwertzahl beträgt im Mittel 48 Punkte. Das Dahnsdorfer Versuchsfeld besitzt eine eigene Wetterstation, deren Messungen im Zeitraum von 1997 bis 2018 eine mittlere Jahrestemperatur von 9,5 °C und einen mittleren Jahresniederschlags von 583 mm ergaben. Hervorzuheben ist das Jahr 2018 mit lediglich 275 mm Niederschlag. Vorsommertrockenheit ist für die Region charakteristisch.

Im Herbst 2007, also zum Erntejahr 2008, wurde die Bodenbearbeitung als Prüffaktor in den Dauerfeldversuch integriert. Dies ging einher mit einer Anpassung der Pflanzenschutzstrategien, der Pflanzenschutzmittelstufen und der Fruchtfolge.

Bei der seit 2007 angewandten Pflanzenschutzstrategie „Gute fachliche Praxis (GfP)" erfolgt die Auswahl der Pflanzenschutzmittel praxisüblich, unter Einbeziehung der Hinweise des amtlichen Pflanzenschutzdienstes. Bei der Pflanzenschutzstrategie „Integrierter Pflanzenschutz (IPS)" werden Schwellenwerte stärker berücksichtigt, es erfolgt eine situationsbezogene Dosierung und die ein- bzw. mehrfache Anwendung reduzierter Aufwandmengen (Splitting). Aufgrund der Einführung der Verbindlichkeit der allgemeinen Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes zum 01.01.2014 mussten auch die beiden Pflanzenschutzstrategien angepasst werden. Ab dem Erntejahr 2014 entsprechen die „Allgemeinen Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (GfP)" der ehemaligen Strategie „Gute fachliche Praxis (GfP)". Die „Sektor- und Kulturartspezifischen Leitlinien des Integrierten Pflanzenschutzes (IPS)" entstanden aus der Strategie „Integrierter Pflanzenschutz (IPS)". In der Strategie IPS wird angestrebt, den Behandlungsindex (BI) im Mittel der Jahre etwas geringer als den BI der Strategie GfP zu halten. Seit 2014 werden in den Kulturen Raps, Weizen und Roggen Sorten mit verschiedenen Resistenzeigenschaften in den beiden Strategien GfP und IPS angebaut. Die aktuelle Fruchtfolge besteht aus Winterraps – Winterweizen – Winterroggen – Silomais – Erbse und Triticale. Details zur weiteren Genese der Fruchtfolge finden sich bei SCHWARZ und PALLUTT (2016b).

Bei der Bodenbearbeitung werden die beiden Stufen (1) Bodenbearbeitung mit Pflug und (2) Bodenbearbeitung ohne Pflug geprüft. Bei der pfluglosen, nicht-wendenden Bodenbearbeitung erfolgt bei Bedarf der Einsatz von Glyphosat auf der Stoppel. Die Aufwandmengen werden den Gegebenheiten angepasst. Im Winterraps, der auf die Triticale folgt, wird zumeist eine Bekämpfung des Getreidedurchwuchses mittels eines Graminizids durchgeführt.

Für die Auswertung der Effekte der Bodenbearbeitung werden die beiden Pflanzenschutzstrategien vergleichend dargestellt. Dabei werden die Pflanzenschutzmittelstufen Stufen „H" und „HF" gemeinsam ausgewertet. Diese beiden Stufen sind seit Versuchsbeginn 1995 unverändert. In der Stufe „H" werden Herbizide, jedoch keine Fungizide im Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen eingesetzt. In der Stufe „HF" werden seit Versuchsbeginn Herbizide und Fungizide im Getreide bzw. Insektizide in Raps/Erbsen eingesetzt. Vor jeder geplanten Herbizidbehandlung wird der Unkrautauflauf in den Versuchsparzellen nach Art und Anzahl erfasst. Dies erfolgt an vier Zählstellen mit jeweils 0,25 m^2 Größe, in der Summe also 1 m^2. Die Zählungen in Winterroggen und Triticale erfolgen in der Regel im Herbst, bei Weizen überwiegend im Frühjahr.

Anzahl und Art des Unkrautauflaufs wurde bei der Auswahl der Herbizide berücksichtigt. Grundlage dafür waren die jährlichen Unkrautzählungen. Die Entscheidung über den Einsatz von Glyphosat auf der Stoppel in den pfluglosen Varianten wurde ebenfalls jährlich für jede Kulturart getroffen. Im Jahr 2010 erfolgte keine Anwendung von Glyphosat in den nicht-wendenden Parzellen.

Im Winterraps musste immer, außer im Jahr 2011, eine Behandlung gegen Durchwuchsgetreide in den pfluglosen Varianten erfolgen.

Im Folgenden werden die Unkrautzählungen der Kulturen Winterweizen, Winterroggen und Triticale betrachtet. Die Vorfrüchte der betrachteten Kulturen waren dabei seit 2008 konstant, vor Winterweizen stand Winterraps, vor Winterroggen der Winterweizen und vor Triticale waren Erbsen die Vorfrucht.

Ergebnisse und Diskussion

Die Tabelle 1 stellt den mittleren Behandlungsindex (BI) der Herbizide für die Kulturarten Triticale, Winterroggen und Winterweizen getrennt nach wendender und nicht-wendender Bodenbearbeitung dar.

Tab. 1 Mittlerer Behandlungsindex der Herbizide in den Pflanzenschutzstrategien GfP und IPS, unterteilt nach Art der Bodenbearbeitung (2008 - 2019).

Tab. 1 *Mean treatment frequency index of herbicides for the plant protection strategies GfP and IPS subdivided according to type of soil cultivation (2008 - 2019).*

Kultur	Pflanzenschutzstrategie	Bodenbearbeitung	Behandlungsindex Herbizide
Triticale	GfP	wendend	0,9
		nicht- wendend	1,4
	IPS	wendend	0,7
		nicht- wendend	1,2
Winterroggen	GfP	wendend	1,0
		nicht- wendend	1,2
	IPS	wendend	0,8
		nicht- wendend	1,1
Winterweizen	GfP	wendend	1,1
		nicht- wendend	1,6
	IPS	wendend	0,9
		nicht- wendend	1,6

Die nicht-wendende Bodenbearbeitung zeigt in diesem Dauerfeldversuch im Mittel einen höheren Herbizid-BI. Die Strategie IPS weist, außer bei Winterweizen nicht-wendend, einen geringeren BI auf als die Strategie GfP. Die BIs sind, im Vergleich zur Praxis, als eher niedrig zu bewerten, ein Grund kann das sehr intensive und zeitaufwändige Monitoring der Flächen sein. Aber auch die zeitgerechte Herbizidapplikation trägt zu einem niedrigen BI bei.

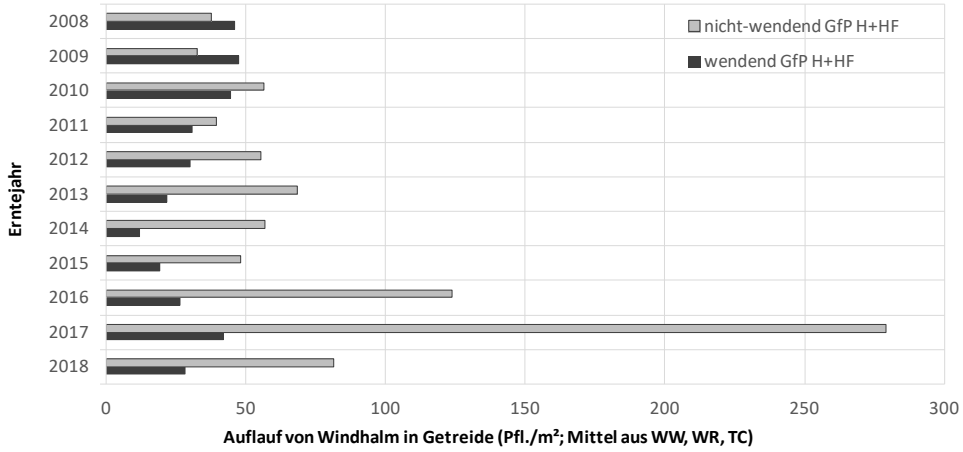


Abb. 1 Auflauf von Windhalm (*Apera spica-venti*) als Mittel der Getreide (Winterweizen, Winterroggen und Triticale) in der Strategie GfP untergliedert nach Art der Bodenbearbeitung.

Fig. 1 *Emergence of loose silky-bentgrass (Apera spica-venti) listed as mean of the cereals (winter wheat, winter rye and triticale) for the GfP strategy subdivided according to the type of soil cultivation.*

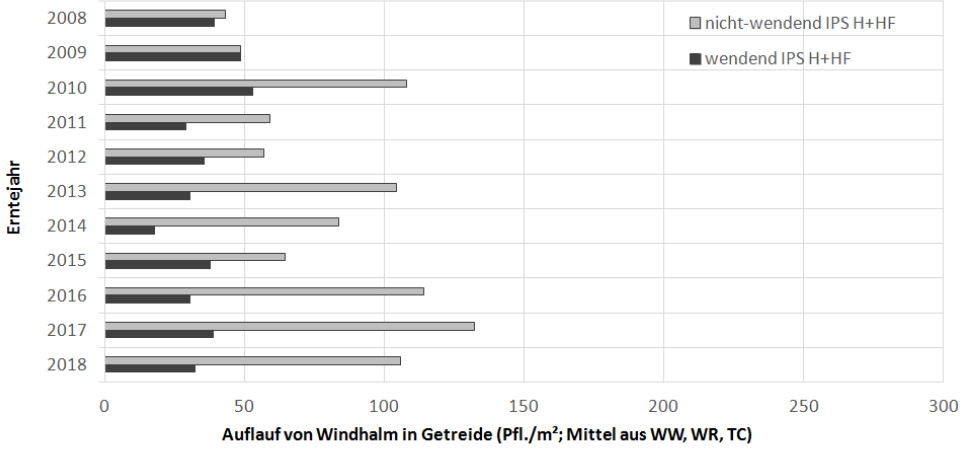


Abb. 2 Auflauf von Windhalm (*Apera spica-venti*) als Mittel der Getreide (Winterweizen, Winterroggen und Triticale) in der Strategie IPS untergliedert nach Art der Bodenbearbeitung.

Fig. 2 *Emergence of loose silky-bentgrass (Apera spica-venti) listed as mean of the cereals (winter wheat, winter rye and triticale) for the IPS strategy subdivided according to the type of soil cultivation.*

In Abbildung 1 und 2 wird der Auflauf des Windhalms, welche die dominierende monokotyle Unkrautart in Dahnsdorf ist, dargestellt. Der hellere Balken stellt in den Abbildungen die nicht-wendende, pfluglose Bodenbearbeitung dar, der dunklere Balken die wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Auf die Einbeziehung des Jahres 2019 wurde, aufgrund der extremen Trockenheit und des dadurch sehr untypischen Unkrautauflaufs, verzichtet.

Vergleicht man Abbildung 1 und 2 so wird ersichtlich, dass der Windhalmauflauf in der Strategie GfP geringer ist als in der Strategie IPS. In den ersten beiden Jahren (2008 und 2009) nach

Versuchsumstellung war der Auflauf von Windhalm in den wendenden Parzellen der Strategie GfP im Vergleich zu den nicht-wendenden Parzellen derselben Strategie noch höher. Ansonsten sind aber in jedem Jahr und in beiden Strategien die Auflaufzahlen des Windhalms in den nicht-wendenden Varianten immer höher als in den wendenden. Das Jahr 2017 sticht besonders hervor, hier wurden im Durchschnitt Auflaufzahlen von 280 Windhalmpflanzen je m^2 in der Strategie GfP nicht-wendend gefunden. Diese hohe Anzahl rührt aus dem hohen Windhalmauflauf in der Kulturart Triticale mit über 600 Pflanzen je m^2 her. Im Durchschnitt über die Jahre laufen seit 2010 in den nicht-wendenden Parzellen im Vergleich zu den wendenden Parzellen ca. dreimal so viele Windhalmpflanzen auf. Beim Windhalm spielt die Bodenfeuchte eine große Rolle, da er aus einer geringen Tiefe aufläuft (PIEPER, 1912). In einem trockenen Herbst, wie im Jahr 2014, läuft daher nicht so viel Windhalm auf (Abb. 1 und 2., Erntejahr 2015).

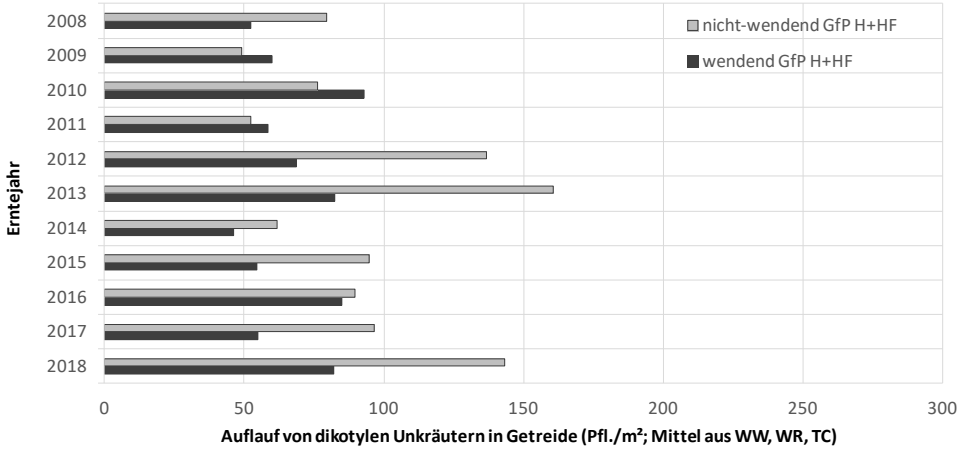


Abb. 3 Auflauf dikotyler Unkräuter als Mittel der Getreide (Winterweizen, Winterroggen und Triticale) in der Strategie GfP untergliedert nach Art der Bodenbearbeitung.

Fig. 3 *Emergence of dicotyledonous weeds listed as mean of the cereals (winter wheat, winter rye and triticale) for the GfP strategy subdivided according to the type of soil cultivation.*

In Abbildung 3 und 4 wird der Auflauf der dikotylen Unkräuter gezeigt. Auch hier stellt der hellere Balken in den Abbildungen die nicht-wendende, pfluglose Bodenbearbeitung dar, der dunklere Balken die wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Auch hier wurde auf die Einbeziehung des Jahres 2019 verzichtet. Bei den dikotylen Unkräutern fällt auf (Abb. 3), dass sich die Auswirkungen der nicht-wendenden Bodenbearbeitung in der Strategie GfP erst ab 2012 deutlich abzeichnen, in den vorherigen vier Jahren kann noch kein eindeutiger Trend abgelesen werden. In der Strategie IPS ist der Trend schon etwas früher eindeutiger. Lediglich im Jahr 2009 ist der Auflauf in den wendenden Varianten mit 106,4 dikotylen Unkräutern im Vergleich zu 104,3 dikotylen Unkräutern in den nicht-wendenden Varianten höher.

Im Durchschnitt über die Jahre (seit 2012) laufen in den nicht-wendenden Parzellen ca. doppelt so viele dikotyle Unkräuter als in den wendenden Parzellen auf. Die Auflaufzahlen in der Strategie IPS sind, bedingt durch den geringeren BI (Tab. 1), in den jeweils gleichen Bodenbearbeitungssystemen höher als die in der Strategie GfP. In der Kombination nicht-wendende Bodenbearbeitung mit der Strategie IPS zeigen sich die Grenzen reduzierter Aufwandmengen der Herbizide. Dies bestätigen auch Untersuchungen von PALLUTT (2010) am Standort Glaubitz. Dort war bei pflugloser Bodenbearbeitung, getreidebetonten Fruchtfolgen und verringerten Herbizidaufwandmengen eine Zunahme der Verunkrautung zu beobachten. DITTMANN (2012) zeigte beim Verzicht auf den Pflug im ökologischen Landbau ähnliche Ergebnisse.

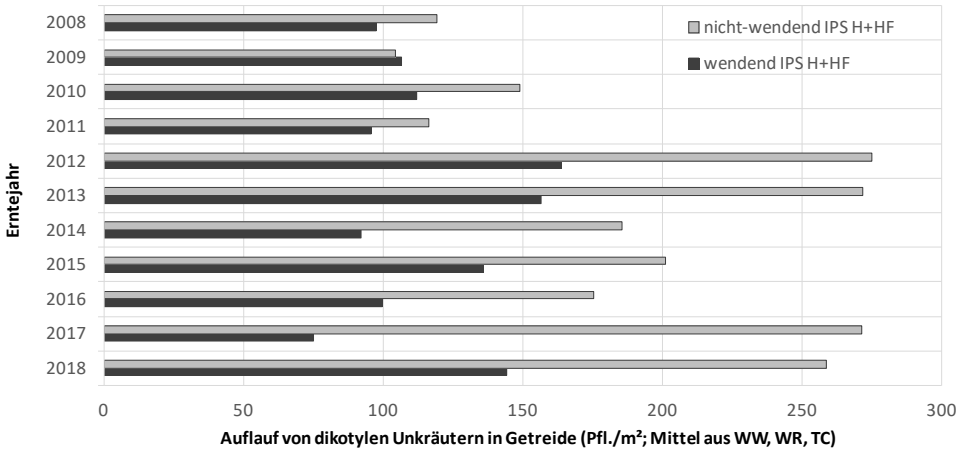


Abb. 4 Auflauf dikotyler Unkräuter als Mittel der Getreide (Winterweizen, Winterroggen und Triticale) in der Strategie IPS untergliedert nach Art der Bodenbearbeitung.

Fig. 4 *Emergence of dicotyledonous weeds listed as mean of the cereals (winter wheat, winter rye and triticale) for the IPS strategy subdivided according to the type of soil cultivation.*

Literatur

Moos, J.H., S. Schrader, H.M. Paulsen, 2017: Reduced tillage enhances earthworm abundance and biomass in organic farming: A meta-analysis. Landbauforsch Appl Agric Forestry Res **67(3-4)**, 123-128.

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.

Pallutt, B., 2010: 30 Jahre Dauerfeldversuche zum Pflanzenschutz. Journal für Kulturpflanzen **62**, 230-237.

Pieper, H., 1912: Der Windhalm (*Apera spica venti*). Arbeiten der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft H. 236, Berlin.

Rosner, J., A. Klik, 2005: Konservierende Bodenbearbeitungssysteme. Gesunde Pflanzen **57**, 179-186.

Schwarz, J., 2013: Energetische Betrachtung zum Einsatz von Herbiziden und Bodenbearbeitung. Gesunde Pflanzen **65**, 33-37.

Schwarz, J., B. Pallutt, 2014: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Entwicklung der Verunkrautung in einem Dauerfeldversuch. Julius-Kühn-Archiv **443**, 141-148.

Schwarz, J., B. Pallutt, 2016a: Auswirkung reduzierter Herbizidaufwandmengen bei pflugloser Bodenbearbeitung auf den Unkrautauflauf. Julius-Kühn-Archiv **452**, 194-200.

Schwarz, J., B. Pallutt, 2016b: Unkrautauflauf auf langjährig nicht mit Herbiziden behandelten Ackerflächen - Dauer der Nachwirkung. Julius-Kühn-Archiv **452**, 130-135.

Statistisches Bundesamt, 2011: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Bodenbearbeitung, Bewässerung, Landschaftselemente. Erhebung über landwirtschaftliche Produktionsmethoden (ELPM). Fachserie 3, Heft **5**.

Steinmann, H.-H., 2013: Glyphosat – ein Herbizid in der Diskussion und die Suche nach dem „Notwendigen Maß". Gesunde Pflanzen **65**, 47-56.

Einfluss des Zwischenfruchtanbaus und der Verunkrautung auf die Epidemiologie und Pathogenität von *Plasmodiophora brassicae*

Influence of cover crops and weeds on the epidemiology and pathogenicity of Plasmodiophora brassicae

Nazanin Zamani-Noor*, Sinja Brand, Hans-Peter Söchting

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig
*Korrespondierende Autorin, nazanin.zamani-noor@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.014

Zusammenfassung

Seit einigen Jahren wird in Deutschland eine stetige Zunahme der Kohlhernie in Rapsbeständen beobachtet. Der Erreger der Krankheit, *Plasmodiophora brassicae*, dringt dabei in die Wurzelhaare und Wurzelrinden der Pflanze ein. Im weiteren Verlauf der Krankheit kommt es zu Gewebewucherungen und es bilden sich die typischen Wurzelgallen.

Der bodenbürtige Pilz bildet Dauersporen, die bis zu 20 Jahre im Boden überlebensfähig sind. Enggestellte Fruchtfolgen mit Kreuzblütlern bieten gute Voraussetzungen für Infektionen. Eine direkte Bekämpfung der Krankheit ist nicht möglich, so dass vorbeugenden Maßnahmen im Vordergrund stehen.

Dazu gehören die Auswahl nicht Kohlhernie-anfälliger Zwischenfrüchte und die rechtzeitige Bekämpfung von diversen Unkräutern, die als Wirtspflanzen in Frage kommen können. In einem Gewächshausversuch am Julius Kühn-Institut in Braunschweig wurden Unkräuter und Zwischenfrüchte aus unterschiedlichen Pflanzenfamilien hinsichtlich ihrer Anfälligkeit gegenüber der Kohlhernie untersucht. Dazu wurden die Pflanzen im Keimblattstadium in Hochbeete pikiert und mit einer Sporensuspension von *P. brassicae* - Typ P1 inokuliert. Eine visuelle Bonitur der Wurzeln hinsichtlich der für die Krankheit typischen Gallen erfolgte 35 Tage nach der Inokulation.

Stichwörter: Befallsstärke-Index, *Brassica napus*, Kohlhernie, *Plasmodiophora brassicae*, Raps, Unkräuter, Zwischenfrüchte

Abstract

Club-root disease has increased significantly in oilseed rape cultivations in recent years in Germany. The pathogen of the disease, *Plasmodiophora brassicae*, penetrates the root hairs and root bark of the plant. In the course of the disease, the tissue proliferates and the typical root gall forms.

The soil-borne fungus forms permanent resting spores that can survive for up to 20 years. Short crop rotations with cruciferous plants provide good conditions for propagation of the pathogen. A direct control of the disease is not possible; therefore club-root prevention strategies are essential for minimizing disease losses.

This includes the selection of crops that are not susceptible to club-root and the timely control of various weeds that could be host plants. In a greenhouse experiment at the Julius Kühn-Institut in Braunschweig, weeds and cover crops from different plant families were evaluated with regard to their susceptibility to the club-root. The seedling plants were pricked into raised beds and inoculated with a spore suspension of *P. brassicae* - type P1. Thirty five days after inoculation, a visual disease assessment of the roots was made with regard to the typical disease symptoms.

Keywords: *Brassica napus,* clubroot, cover crops, disease severity index, oilseed rape, *Plasmodiophora brassicae*, weeds

Einleitung

Der bodenbürtige Erreger *Plasmodiophora brassicae* hat sowohl in Deutschland als auch weltweit zunehmend an Bedeutung gewonnen (Dixon, 2009; Hwang et al., 2012; Zamani-Noor, 2017). Die Krankheit führt zu Welke, Kümmerwuchs und zum Absterben der befallenen Pflanzen. Beim Raps äußert sich der Befall mit deutlichen Ertragseinbußen, geringerem Ölgehalt und geringerer Winterhärte.

Der Erreger der Kohlhernie befällt Kreuzblütler wie Raps, Kohl-Arten, Senf, Rübsen oder Rettich aber auch Unkräuter wie Acker-Hellerkraut oder Gemeines Hirtentäschelkraut werden als Zwischenwirt

in der Literatur beschrieben (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). Diese Arten begünstigen die Vermehrung von *P. brassicae*, so dass es auf den betroffenen Flächen zu einem starken Kohlhernie-Befall an Winterraps kommen kann. Der Pilz lebt im Boden und bildet Dauersporen, die bis zu 20 Jahre überleben können. Daher ist eine frühzeitige und effektive Beseitigung von kreuzblütigen Unkräutern in allen Fruchtfolgegliedern aus phytosanitären Gesichtspunkten notwendig (ZAMANI-NOOR und RODEMANN, 2018).

Zwischenfrüchte und Untersaat nehmen bedingt durch neue Greening-Anforderungen im Rahmen der Umsetzung der EU-Agrarpolitik ständig an Bedeutung zu. Der Anbau von Zwischenfrüchten ist die am häufigsten angemeldete Maßnahme, um ökologische Vorrangflächen zu schaffen. Allerdings können durch den vermehrten Zwischenfruchtanbau, wenn dieser nicht an die betriebsübliche Fruchtfolge angepasst wird, Probleme entstehen, da bestimmte Krankheiten und Schädlinge noch mehr gefördert werden. So sollten in Rapsfruchtfolgen grundsätzlich keine weiteren kreuzblütigen Arten mehr angebaut werden, um bodenbürtige Krankheiten wie Kohlhernie nicht zu fördern.

Um mehr Informationen und ein besseres Verständnis für den Erreger *P. brassicae* sowie die zahlreichen Wirtspflanzen zu erlangen, wurde eine entsprechende Untersuchung mit einer Auswahl verschiedenen Pflanzenarten aus diversen Pflanzenfamilien am Julius Kühn-Institut (JKI) in Braunschweig durchgeführt.

Material und Methoden

In dem Gewächshausversuch wurden in vier Pflanzbeeten jeweils 15 Pflanzenarten in zweifacher Wiederholung hinsichtlich der Anfälligkeit gegenüber der Kohlhernie untersucht. Die Pflanzenarten gliederten sich in vier Gruppen:

1. Kreuzblütige Unkrautarten
2. Monokotyle Pflanzen-Arten (Ungräser und Getreide)
3. Zwischenfrüchte (einschließlich kreuzblütige Arten)
4. Sonstige Unkräuter (aus verschiedenen Pflanzenfamilien)

Eine komplette Übersicht der Arten findet sich in den Tabellen 1 bis 4. Bei den monokotylen Arten wurden Unkräuter sowie auch Kulturarten untersucht, um ein möglichst breites Spektrum abzudecken. Daher sind auch in der vierten Gruppe „Sonstige Unkräuter" möglichst viele verschiedene Pflanzenfamilien untersucht worden. Die Nomenklatur der deutschen sowie der wissenschaftlichen Pflanzennamen erfolgte über die EPPO Global Database und über die Webseite http://www.floraweb.de/.

Tab. 1 Übersicht der Pflanzen der Gruppe 1 „Kreuzblütige Unkrautarten".

Tab. 1 *Overview of plants of category 1 „Cross-flowered weed species".*

Unkrautart	Wissenschaftlicher Name	EPPO-Code	Familie
Echtes Barbarakraut	*Barbarea vulgaris*	BARVU	Brassicaceae
Schwarzer Senf	*Brassica nigra*	BRSNI	Brassicaceae
Rübsen	*Brassica rapa*	BRSRA	Brassicaceae
Orientalische Zackenschote	*Bunias orientalis*	BUNOR	Brassicaceae
Gewöhnliches Hirtentäschel	*Capsella bursa–pastoris*	CAPBP	Brassicaceae
Gewöhnliche Besenrauke	*Descurainia sophia*	DESSO	Brassicaceae
Französische Hundsrauke	*Erucastrum gallicum*	ERWGA	Brassicaceae
Hederich	*Raphanus raphanistrum*	RAPRA	Brassicaceae
Schnabelsenf	*Coincya monensis*	RYNCH	Brassicaceae
Weißer Senf	*Sinapis alba*	SINAL	Brassicaceae
Acker-Senf	*Sinapis arvensis*	SINAR	Brassicaceae
Hohe Rauke	*Sisymbrium altissimum*	SSYAL	Brassicaceae
Loesel-Rauke	*Sisymbrium loeselii*	SSYLO	Brassicaceae
Wege-Rauke	*Sisymbrium officinale*	SYSOF	Brassicaceae
Acker-Hellerkraut	*Thlaspi arvense*	THLAR	Brassicaceae

Tab. 2 Übersicht der Pflanzen der Gruppe 2 „Monokotyle Arten".

Tab. 2 *Overview of plants of category 2 „Monocotyledonous species".*

Unkrautart	Wissenschaftlicher Name	EPPO-Code	Familie
Acker-Fuchsschwanz	*Alopecurus myosuroides*	ALOMY	Poaceae
Gemeiner Windhalm	*Apera spica-venti*	APESV	Poaceae
Flug-Hafer	*Avena fatua*	AVEFA	Poaceae
Saat-Hafer	*Avena sativa*	AVESA	Poaceae
Sand-Hafer	*Avena strigosa*	AVESG	Poaceae
Tauber Hafer	*Avena sterilis*	AVEST	Poaceae
Blutrote Fingerhirse	*Digitaria sanguinalis*	DIGSA	Poaceae
Gewöhnliche Hühnerhirse	*Echinochloa crus-galli*	ECHCG	Poaceae
Wintergerste	*Hordeum vulgare*	HORVW	Poaceae
Vielblütiges Weidelgras	*Lolium multiflorum*	LOLMU	Poaceae
Einjähriges Rispengras	*Poa annua*	POAAN	Poaceae
Winterroggen	*Secale cereale*	SECCW	Poaceae
Grüne Borstenhirse	*Setaria viridis*	SETVI	Poaceae
Winterweizen	*Triticum aestivum*	TRZAW	Poaceae

Tab. 3 Übersicht der Pflanzen der Gruppe 3 „Zwischenfrüchte".

Tab. 3 *Overview of plants of category 3 „Catch crops".*

Unkrautart	Wissenschaftlicher Name	EPPO-Code	Familie
Abessinisches Ramtillkraut	*Guizotia abyssinica*	GUIAB	Asteraceae
Gewöhnliche Sonnenblume	*Helianthus annuus*	HELAN	Asteraceae
Rainfarn-Phacelie	*Phacelia tanacetifolia*	PHCTA	Boraginaceae
Saat-Leindotter	*Camelina sativa*	CMASA	Brassicaceae
Garten-Rettich	*Raphanus sativus*	RAPSR	Brassicaceae
Garten-Erbse	*Pisum sativum*	PIBSA	Fabaceae
Schweden-Klee	*Trifolium hybridum*	TRFHY	Fabaceae
Persischer Klee	*Trifolium resupinatum*	TRFRS	Fabaceae
Sparriger Klee	*Trifolium squarrosum*	TRFSR	Fabaceae
Zottel-Wicke	*Vicia villosa*	VICVI	Fabaceae
Saat-Lein	*Linum usitatissimum*	LIUUT	Linaceae
Sudangras	*Sorghum sudanense*	SORSU	Poaceae

Tab. 4 Übersicht der Pflanzen der Gruppe 4 „Sonstige Unkräuter".

Tab. 4 *Overview of plants in category 4 „Other weeds".*

Unkrautart	Wissenschaftlicher Name	EPPO-Code	Familie
Korn-Flockenblume	*Centaurea cyanus*	CENCY	Asteraceae
Raue Gänsedistel	*Sonchus asper*	SONAS	Asteraceae
Einjähriges Bingelkraut	*Mercurialis annua*	MERAN	Euphorbiaceae
Weiß-Klee	*Trifolium repens*	TRFRE	Fabaceae
Zottel-Wicke	*Vicia villosa*	VICVI	Fabaceae
Stängelumfassende Taubnessel	*Lamium amplexicaule*	LAMAM	Lamiaceae
Saat-Mohn	*Papaver dubium*	PAPDU	Papaveraceae
Klatsch-Mohn	*Papaver rhoeas*	PAPRH	Papaveraceae
Persischer Ehrenpreis	*Veronica persica*	VERPE	Scrophulariaceae
Gemeiner Windenknöterich	*Fallopia convolvulus*	POLCO	Polygonaceae
Floh-Knöterich	*Persicaria maculosa*	POLPE	Polygonaceae
Krauser Ampfer	*Rumex crispus*	RUMCR	Polygonaceae
Gewöhnlicher Ackerfrauenmantel	*Aphanes arvensis*	APHAR	Rosaceae
Weißer Stechapfel	*Datura stramonium*	DATST	Solanaceae
Feld-Stiefmütterchen	*Viola arvensis*	VIOAR	Violaceae

Die Versuchspflanzen wurden in kleinen Plastikschalen in Einheitserde gesät und im Gewächshaus vorgezogen (je nach Art ca. 1-3 Wochen vor dem Pikieren). Im Zweiblattstadium erfolgte das Pikieren in zweifacher Wiederholung in die Pflanzbeete. Je Wiederholung wurden 10 Pflanzen im Abstand von 8 cm in einer Reihe gepflanzt. Neben dem oben aufgeführten Artenspektrum wurde

als Kontroll- und Vergleichspflanze die Kohlhernie-anfällige Winterrapssorte „Visby" in jedes Pflanzbeet direkt eingesät (7 Tage vor dem Pikieren). Die Pflanzen wurden unter Gewächshausbedingungen bei 20/16 °C mit 16/8 Tag/Nacht-Rhythmus und einer 70 %igen relativen Luftfeuchtigkeit gehalten.

Drei Tage nach dem Pikieren wurden die Versuchspflanzen mit einer Sporensuspension (107 Sporen/mL-1) des Erregers P. brassicae-P1 (Herkunft Schleswig-Holstein – Hoisdorf) an zwei Stellen in der Nähe der Wurzelzone der Pflanze in ca. 2 cm Tiefe inokuliert. Die Kontrollpflanzen wurden mit der gleichen Menge Wasser ohne Sporeninhalt scheininokuliert. Unmittelbar vor der Inokulation wurden die Pflanzen intensiv bewässert, um ein Auswaschen der Erregersporen aus dem Wurzelbereich zu vermeiden. Weiterhin wurden sie 72 Stunden nach der Inokulation nicht bewässert und bei einer Temperatur von 24 °C, die eine Infektion begünstigt, weiter inkubiert.

Die Ernte der Pflanzen erfolgte 35 Tage nach der Inokulation (dpi). Dabei wurden die Pflanzen hinsichtlich der Ausbildung von Wurzelgallen untersucht. Bei der Bonitur wurde der Infektionsgrad anhand einer 0 - 3 Skala visuell bestimmt (0 = gesund, 1 = kleine Gallen an den Seitenwurzeln, 2 = mittelgroße Gallen an den Seitenwurzeln und/oder an der Hauptwurzel und 3 = Hauptwurzel besteht aus einer großen Galle (ZAMANI-NOOR, 2017).

Aus diesem Infektionsgrad wurde mit Hilfe der folgenden Formeln die Befallshäufigkeit (disease incidence (DI)) und der Befallsstärke-Index (disease severity index (DSI)) ermittelt. Dies ist ein prozentualer Index, der den Infektionsgrad abbildet.

$$\mathrm{DI}\ (\%) = \frac{\sum(\mathrm{n}_1 + \mathrm{n}_2 + \mathrm{n}_3)}{\mathrm{N}} \cdot 100$$

$$\mathrm{DSI}\ (\%) = \frac{\sum(\mathrm{n}_0 \cdot 0 + \mathrm{n}_1 \cdot 1 + \mathrm{n}_2 \cdot 2 + \mathrm{n}_3 \cdot 3)}{\mathrm{N} \cdot 3} \cdot 100$$

Die Zahlen 0, 1, 2, und 3 geben den unterschiedlichen Infektionsgrad an. N ist die Gesamtzahl der untersuchten Pflanzen, und n0, n1, n2 und n3 sind die jeweilige Anzahl der Pflanzen mit dem entsprechenden Infektionsgrad.

Ergebnisse und Diskussion

Erwartungsgemäß zeigten fast alle kreuzblütigen Unkräuter und Zwischenfrüchte die für die Krankheit typischen Symptome. Bei allen anderen Arten konnten visuell keine Krankheitsmerkmale festgestellt werden. Unter den kreuzblütigen Unkrautarten selbst waren allerdings erhebliche Unterschiede bezüglich Befallshäufigkeit und der Symptomausprägung festzustellen (Abb. 1).

Die Pflanzengruppe „Kreuzblütige Unkräuter" ist, bis auf zwei Ausnahmen in der Gruppe „Zwischenfrüchte", die einzige Pflanzengruppe in der Krankheitssymptome bonitiert wurden. Aus der Gruppe „Kreuzblütige Unkräuter" zeigten die Arten Echtes Barbarakraut (*Barbarea vulgaris*, BARVU), Hederich (*Raphanus raphanistrum*, RAPRA) und Orientalische Zackenschote (*Bunias orientalis*, BUNOR) keine Symptome. Sehr geringe Symptome (DI ≤ 30 %) wurden bei den Arten Französische Hundsrauke (*Erucastrum gallicum*, ERWGA) (15,0 % DI und 10,0 % DSI) und Garten-Rettich (*Raphanus sativus*, RAPSR) (20,0 % DI und 18,3 % DSI), letzterer aus der Gruppe „Zwischenfrüchte", bonitiert. Mäßige Symptome (30 % ≥ DI ≤ 70 %) wurden bei den Arten Schwarzer Senf (*Brassica nigra*, BRSNI) (45,0 % DI und 31,6 % DSI), Gewöhnliche Besenrauke (*Descurainia sophia*, DESSO) (65,0 % DI und 41,6 % DSI) und Acker-Hellerkraut (*Thlaspi arvense*, THLAR) (65,0 % DI und 58,3 % DSI) aufgenommen. Aus der Gruppe „Zwischenfrüchte" zeigte die Art Saat-Leindotter (*Camelina sativa*, CMASA) (60,0 % DI und 60,0 % DSI) mäßige Symptome. Die Arten Schnabelsenf (*Coincya monensis*, RYNCH) (85,0 % DI und 58,3 % DSI), Loesel-Rauke (*Sisymbrium loeselii*, SSYLO) (85,0 % DI und 81,3 % DSI) und Gewöhnliches Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*, CAPBP) (95,0 % DI und 83,3 % DSI) zeigten

starke Symptome (DI ≥ 70 %). Eine Befallshäufigkeit von 100 % zeigten die Arten Weg-Rauke (*Sisymbrium officinale*, SYSOF) (43,3 % DSI), Hohe Rauke (*Sisymbrium altissimum*, SSYAL) (93,3 % DSI),

und Weißer Senf (*Sinapis alba*, SINAL) (95,0 % DSI). Die beiden Arten Rübsen (*Brassica rapa*, BRSRA) und Acker-Senf (*Sinapis arvensis*, SINAR) wiesen sowohl eine 100 %ige Befallshäufigkeit als auch einen 100 %igen Befallsstärke-Index auf. Die Kontrollpflanze Winterraps „Visby" (*Brassica napus*, BRSNW) zeigte eine Befallshäufigkeit (DI) von 100 % und einen Befallsstärke-Index (DSI) von 93,3 % auf. Die unterschiedliche Intensität des Befalls der kreuzblütigen Pflanzen kann auf eine natürliche oder bei den Nutzpflanzen auf eine züchterisch eingebrachte Resistenz zurückgeführt werden.

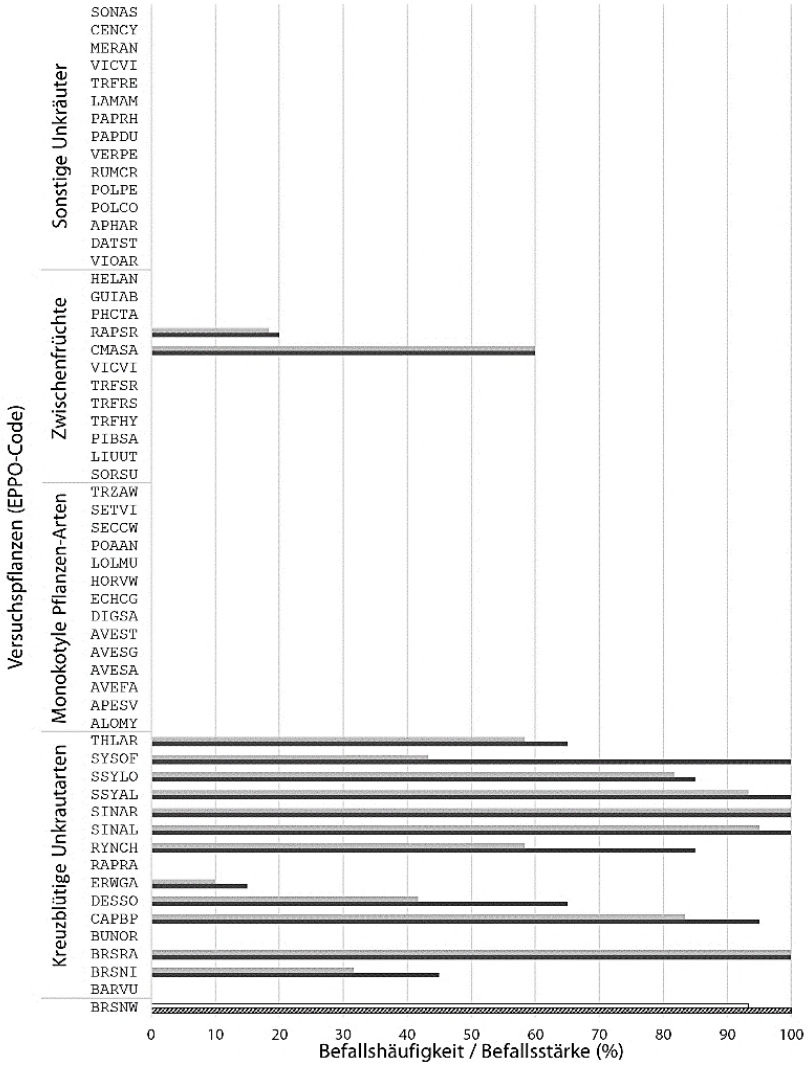


Abb. 1 Befallshäufigkeit (disease incidence (DI)) und Befallsstärke-Index (disease severity index (DSI)) der Versuchspflanzen, die mit dem *Plasmodiophora brassicae*-Pathotyp1 inokuliert wurden. Die Werte der Kontrollpflanze Winterraps „Visby" (*Brassica napus*) wurden schraffiert (DI) bzw. weiß (DSI) hervorgehoben.

Fig. 1 *Disease incidence (DI) and disease severity index (DSI) of the experimental plants inoculated with the Plasmodiophora brassicae- pathotype 1. The values of the control plant winter oilseed rape „Visby" (Brassica napus) were hatched (DI) or set off in white (DSI).*

Aus den Ergebnissen wird ersichtlich, dass die Auswahl der Zwischenfruchtart bzw. der Mischungszusammensetzungen beim Greening sehr wichtig ist, um negative Effekte bei den

Kulturpflanzen zu vermeiden. Beim Anbau von Raps in der Fruchtfolge sollte gut überlegt werden, ob überhaupt noch kreuzblütige Arten verwendet werden.

Laut entsprechender Literaturangaben (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999) gehören zum Wirtspflanzenkreis von *Plasmodiophora brassicae* auch Nichtkruziferen (*Papaver, Lolium, Agrostis, Dactylis*), bei denen es zu primären Infektionen an den Wurzelhaaren kommt. Es werden Sporangien, aber keine Gallen erzeugt. Daher soll in weiteren Versuchen neben der visuellen Bonitur zusätzlich eine Überprüfung der Proben mit Hilfe von PCR zum Nachweis von pilzlicher DNA im Pflanzengewebe erfolgen. Es wird erwartet, dass die kreuzblütigen Arten, die die deutlichsten Symptome zeigten, auch auf molekularer Ebene den stärksten Befall aufweisen. Mit molekularen Diagnoseverfahren könnte auch ein Befall nachgewiesen werden, ohne dass visuell nachweisbare Symptomen gegeben sind.

Literatur

DIXON, G. R., 2009: The occurrence and impact of *Plasmodiophora brassicae* and clubroot disease. Plant Growth Regul. **28**, 194–202.

HOFFMANN, G.M., H. SCHMUTTERER, 1999: Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Stuttgart, Eugen-Ulmer-Verlag, 444-448.

HWANG, S.F., H.U AHMED, Q. ZHOU, A. RASHID, S.E. STRELKOV, B.D. GOSSEN, G. PENG, G.D. TURNBULL,.2012: Assessment of the impact of resistant and susceptible canola on *Plasmodiophora brassicae* inoculum potential. Plant Pathol. **61**, 945–52.

ZAMANI-NOOR, N., 2017: Variation in pathotypes and virulence of *Plasmodiophora brassicae* populations in Germany. Plant Pathol. **66**, 316–24.

ZAMANI-NOOR, N., B. RODEMANN, 2018: Reducing the build-up of *Plasmodiophora brassicae* inoculum by early management of oilseed rape volunteers. Plant Pathol. **67**, 426-32.

Temperatur-induzierte Inaktivierung von Samen aus der Familie der Süßgräser (Poaceae)

Temperature-induced inactivation of seeds of the Poaceae family

Friederike de Mol*, Julia Schulz, Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Satower Straße 48, 18051 Rostock
*Korrespondierende Autorin, friederike.de-mol@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.015

Zusammenfassung

Hinsichtlich der Unkrautsamen-Hygiene von Gärresten aus Biogasfermentern gibt es noch ungelöste Fragen. Die Fähigkeit von Samen, feucht-warme Bedingungen zu überleben, ist artspezifisch, und Prognosen für nicht getestete Arten abzugeben ist schwierig. In dieser Arbeit wird untersucht, ob die Herkunft der Art Rückschlüsse auf die Temperaturtoleranz ihrer Samen gibt. Hier wurden Samen von sechs Arten der Familie der Süßgräser getestet: *Alopecurus myosuroides*, *Cynodon dactylon*, *Echinochloa crus-galli*, *Panicum dichotomiflorum*, *Setaria viridis* und *Vulpia myuros*. Die Samen wurden bei 42°C in Wasserbädern bis zu 12 Tagen inkubiert. In regelmäßigen Zeitabständen wurden Samen entnommen und ihre Keim- und Lebensfähigkeit geprüft. Es wurden 4-parametrische Zeit-Wirkungskurven modelliert. Ein Vergleich der Arten und Biotypen anhand der mittleren Inaktivierungszeit (ET_{50}-Werte) zeigte, dass Samen von C_4-Gräsern, die aus wärmeren Florenzonen stammen, länger überlebten und besser keimten als Samen der C_3-Grasarten. Bei Gräsern, die auch in tropischen Regionen vorkommen, lag der ET_{50}-Wert bei über fünf Tagen. Die Studie zeigt, dass die evolutionären Bedingungen, die zur heutigen weltweiten Verbreitung der Gräser führten, für eine Abschätzung der Überlebensfähigkeit ihrer Samen genutzt werden können. Betreiber von Biogasanlagen sollten sich des Risikos bewusst sein, mit dem Gärrest Grassamen, insbesondere von Hirsen, zu verbreiten.

Stichwörter: Biogasreaktor, Keimung, Lebensfähigkeit, Samenüberleben, Temperaturtoleranz

Abstract

There are still unanswered questions regarding the weed seed hygiene of residues from biogas fermenters. The ability of seeds to survive in humid-warm conditions is species-specific. Predicting the behavior of untested species is difficult. This paper examines whether the origin of the species gives an indication of the temperature tolerance of its seeds. Seeds of six species of the *Poaceae* family were tested: *Alopecurus myosuroides*, *Cynodon dactylon*, *Echinochloa crus-galli*, *Panicum dichotomiflorum*, *Setaria viridis* and *Vulpia myuros*. Seeds were incubated at 42°C in water baths for up to 12 days. Seeds were taken from the water bath at regular intervals and their germination and viability were tested. 4-parametric time-response curves were modeled. A comparison of species based on mean inactivation time (ET_{50} values) showed that seeds of C_4 grasses originating from warm floral zones survived longer and germinated better than seeds of C_3 grasses. For species that also occur in tropical regions, the ET_{50} value exceeded five days. The study shows that the evolutionary conditions that led to their today's worldwide distribution can be used to estimate the survivability of their seeds. Farmers should be aware of the risk of spreading grass seeds, especially of C_4 grasses, with the fermentation residues.

Keywords: Biogas plant, germination, seed survival, temperature tolerance, viability

Einleitung

Im Jahr 2018 produzierten in Deutschland 9444 Biogasreaktoren Gas, Strom und Wärme. Die Anbaufläche für die Biomasseproduktion betrug knapp 1,5 Mio. ha, davon 88 % Ackerland, wovon wiederum 80 % mit Mais bebaut wurde (FACHVERBAND BIOGAS, 2019). Somit stellt Mais das häufigste Gärsubstrat dar. Mit den Biomassen gelangen auch Unkrautsamen in den Reaktor. Das birgt aus Sicht der Feldhygiene ein Risiko, falls die Samen in der Lage sind die Gärverhältnisse zu überleben und mit den Gärresten wieder auf den Acker zu gelangen.

In Biogasanlagen mit Betriebstemperaturen über 45 °C (thermophile Vergärung), sind Samen üblicherweise nicht überlebensfähig. Die meisten Biogasreaktoren in Deutschland sind mesophile Anlagen, die bei 20 °C - 42 °C vergären (HAHN et al., 2018). Im mesophilen Bereich liegt die Temperatur für die Samen vieler Arten wahrscheinlich am Kipppunkt (WESTERMAN et al., 2012c). Weiterhin ist die Dauer der Exposition für das Überleben der Samen entscheidend (WESTERMAN und GEROWITT, 2013; HAHN et al., 2016, 2018). Zudem gibt es artspezifische Unterschiede im Vermögen,

warm-feuchte Bedingungen zu überleben (ENGELI et al., 1993; KATOVICH et al., 2004; LEONHARDT et al., 2010; STRAUß et al., 2012; WESTERMAN et al., 2012b, 2012c; WESTERMAN und GEROWITT, 2013; HAHN et al., 2016, 2018).

Die ökophysiologischen Mechanismen, die zum Überleben von Samen in Biogasreaktoren führen, sind noch nicht umfänglich bekannt. Bei physikalisch dormanten Samen verhindert eine wasserundurchlässige Schicht in der Samenhülle („Hartschaligkeit") das Eindringen von Wasser, was zu einem gewissen Schutz vor thermischer Schädigung führt (WESTERMAN et al., 2012c). Auch Samen, die an Endozoochorie angepasst sind, überleben den Biogasprozess mit größerer Wahrscheinlichkeit (WESTERMAN et al., 2012c).

Man kann annehmen, dass sich bei Arten, die sich unter evolutionären Bedingungen mit warmem und feuchtem Klima verbreitet haben, ein Schutz der Samen vor eben diesen Bedingungen entwickelt hat. Deshalb kann die Hypothese aufgestellt werden, dass aus der Herkunft der Arten auf die Überlebensfähigkeit ihrer Samen geschlossen werden kann. In dieser Arbeit wird dieser Vermutung mit Wasserbad-Versuchen an sechs Arten der Familie *Poaceae* (Süßgräser) nachgegangen. Das Überleben von Samen in warmen Wasserbädern gilt als Proxy für das Überleben in Biogasfermentern. Dabei wird die Beeinträchtigung der Samen bei Abwesenheit von Mikroorganismen, organischen Säuren und Enzymen eher konservativ geschätzt (HAHN et al., 2016).

Unter den getesteten Arten sind vier Pflanzen mit C_4-Photosynthesestoffwechsel. Die Samen dieser Arten sind besonders bedeutsam für die Kontamination von Mais-Gärsubstrat, da sie auf Maisäckern stark vertreten sind. Auf der Hälfte der Maisäcker kommt *Echinochloa crus-galli*, die Hühnerhirse, vor. WESTERMAN und GEROWITT (2012a) zeigten, dass in Maissubstrat *E. crus-galli* den höchsten Grassameneintrag in Biogasanlagen lieferte. Auch *Setaria*-Arten, hier untersucht die Grüne Borstenhirse *Setaria viridis*, begleiten den Maisanbau in ganz Deutschland (DE MOL et al., 2015, VON REDWITZ und GEROWITT, 2018). *Panicum dichotomiflorum*, die Gabelästige Hirse, kommt in Deutschland im klimatisch eher warmen Rheintalgebiet und in Niedersachsen in einem der Haupt-Maisanbaugebiete vor (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2013). *Cynodon dactylon*, das Hundszahngras, wächst in Deutschland vor allem im Rheingebiet (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2013). Es ist ein C_4-Gras, jedoch keine Hirse. In Deutschland ist es wahrscheinlich mit dem Weinbau eingewandert und bildet durch oberirdische Ausläufer und unterirdische Rhizome Rasen. Aus Vorversuchen (LÜCK, 2012) und der Literatur (HAHN et al., 2018) war bekannt, dass *C. dactylon*-Samen relativ unempfindlich auf Wasserbad-Inkubation reagieren. Hirsen sind in Deutschland sommerannuelle Pflanzen, die erst im Frühsommer keimen, wenn sich der Boden ausreichend erwärmt hat. Der C_4-Metabolismus ist eine Anpassung an hohe Umgebungstemperaturen unter ariden Verhältnissen. In mehreren Regionen der Erde wurden in der Evolution Pflanzen mit C_4-Metabolismus selektiert (SAGE, 2004). C_4-Pflanzen dominieren die Ökosysteme der Grassavannen der Tropen, Subtropen und meridionalen Klimazonen (EDWARDS und SMITH, 2010). Jedoch sind auch die in temperaten Klimazonen überwiegenden Acker-Ungräser mit C_3-Metabolismus in der Lage, in Maisäckern zu wachsen und zur Samenreife zu gelangen. Hier wurden Samen von *Alopecurus myosuroides*, dem Ackerfuchsschwanz, untersucht, der in ganz Deutschland besonders auf schwereren Böden zu finden ist. Falls seine Samen mit dem Gärsubstrat in den Fermenter gelangen, steht weniger die Anzahl eingeschleuster Samen im Vordergrund als die Befürchtung, dass mit unzureichend fermentierten Samen bestehende Herbizidresistenzen weiterverbreitet werden könnten. Das zweite untersuchte C_3-Gras, *Vulpia myuros* (Mäuseschwanz-Federschwingel) ist im mediterranen-submediterranen Raum beheimatet und bis heute nur selten auf deutschen Maisschlägen zu finden.

Ausgehend von der Herkunft und Verbreitung der Arten stellen wir folgende Hypothesen auf:

Samen von Gräsern mit einem C_4-Stoffwechsel werden durch die Wärme in Biogasanlagen weniger beeinträchtigt als Samen von Grasarten mit einem C_3-Stoffwechsel. Das macht sich in höherer Lebensfähigkeit und Keimfähigkeit nach einer Inkubation in warmem Wasser bemerkbar.

Innerhalb der Gruppen der C_3- und C_4-Grasarten werden die Gräser, die in Deutschland flächendeckend wachsen, die Inkubation in warmem Wasser schlechter überstehen als Arten, die

Deutschland von Süden her zu besiedeln beginnen und vornehmlich im Rheintalgebiet verbreitet sind.

Material und Methoden

Untersucht wurden die Samen von sechs Grasarten: *Alopecurus myosuroides*, *Cynodon dactylon*, *Echinochloa crus-galli*, *Panicum dichotomiflorum*, *Setaria viridis* und *Vulpia myuros*. Die meisten Samen wurden 2016 in Norddeutschland geerntet, *Vulpia*-Samen stammten aus der Ernte 2017 und *Panicum*-Samen aus 2018. Für *Echinochloa* und *Vulpia* standen je zwei Biotypen zur Verfügung. Nach der Ernte wurden die Samen bei Zimmertemperatur getrocknet und bis zum Versuchsbeginn im November 2018 bei Zimmertemperatur trocken und dunkel gelagert. Es gab zwei Versuchsdurchläufe mit demselben Versuchsaufbau, die aber jeweils nur einen Teil der Arten untersuchten.

Die Fähigkeit der Samen feucht-warme Bedingungen, vergleichbar denen in Biogasanlagen, zu überleben wurde in Wasserbädern bei 42 °C (±0,1 °C) getestet (WB-6, witeg Labortechnik GmbH, Wertheim, Deutschland). Vierundzwanzig Stunden vor Beginn des Experiments wurden die Samen in Behältern wassergesättigter Luft ausgesetzt, um den Stoffwechsel der Samen anzuregen. Unter sterilen Bedingungen wurden die Samen anschließend mit 1 %-iger NaClO-Lösung zwei Minuten oberflächensterilisiert und dreimal mit destilliertem Wasser gespült. Je 50 Samen wurden in Tuben gezählt. Diese wurden mit 7 ml 0,5 M HEPES Puffer (pH 7) aufgefüllt. Die Samen wurden im Wasserbad 0, 1, 3, 6, 9 und 12 Tage (12 Tage nur im 2. Versuchsdurchlauf) inkubiert. Pro Versuchsreihe, Biotyp und Expositionszeit gab es drei Wiederholungen. Nach der Inkubation wurden die Samen erneut oberflächensterilisiert und gespült.

Die Keimfähigkeit der Samen wurde anschließend in Petrischalen auf Diasporen-Agar, dem Ampicillin und Streptomycin (Antibiotika), Benzimidazol (Fungizid) und Giberellinsäure zugesetzt war, getestet. Bei einem Temperaturregime von 20 °C/15 °C (Tag/Nacht) wurde die Keimung über drei Wochen verfolgt. Gekeimte Samen wurden gezählt und entnommen. Samen, die innerhalb der drei Wochen nicht gekeimt waren, wurden anschließend mit dem Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC) Test auf Lebensfähigkeit getestet. Die Samen wurden angeritzt und mit 1 %-iger TTC-Lösung bei 35 °C für 24 h inkubiert. Danach wurden die Samen angeschnitten und die Farbe der Embryonen begutachtet. Rot gefärbte Embryonen wurden als lebensfähig bewertet.

Aus den Anteilen gekeimter und lebensfähiger Samen wurden, in Abhängigkeit von der Expositionszeit, Wirkungskurven erstellt. Dazu wurde das Programmpaket „drc", Version 3.0-1 (Ritz et al., 2015) genutzt, das in der Statistiksoftware R bereitgestellt wird. Die Kurven wurden mit Hilfe des 4-parametrischen log-logistischen Modells für jede Versuchsreihe und Biotyp angepasst.

$$Anteil\ keim-bzw.lebensfähiger\ Samen = c + \frac{d-c}{\left(1+\exp\left(b(\log(Zeit)-\log(e))\right)\right)}$$

Dabei ist *b* ein Steigungsparameter, *c* und *d* sind die untere und die obere Asymptoten, und *e* ist der Wendepunkt der Kurve. Der Parameter *e* kann als ET_{50}-Wert interpretiert werden, d.h. diejenige Inkubationszeit, nach der die Hälfte vormals keimfähiger bzw. lebensfähiger Samen nicht mehr keimt bzw. nicht mehr lebt. Die Biotypen wurden anhand der ET_{50}-Werte auf einem Signifikanzniveau von $p \leq 0{,}05$ miteinander verglichen. Dazu wurden 95 %-Konfidenzintervalle mit der delta-Methode errechnet.

Ergebnisse

Innerhalb der neun bzw. zwölf Tage der Inkubationszeit kam es bei allen untersuchten Arten zu einem deutlichen Rückgang der Keim- und Lebensfähigkeit (Abb. 1). Allerdings starben nur von *A. myosuroides* und *S. viridis* alle Samen innerhalb der Versuchsperiode ab. Am 12. Tag waren noch 13 *E. crus-galli* und 15 *V. myuros*-Samen von jeweils 300 getesteten lebensfähig, und von 150 bis zum 12. Tag getesteten Samen von *C. dactylon* überlebten 69 (46 %) die Inkubation im Wasserbad.

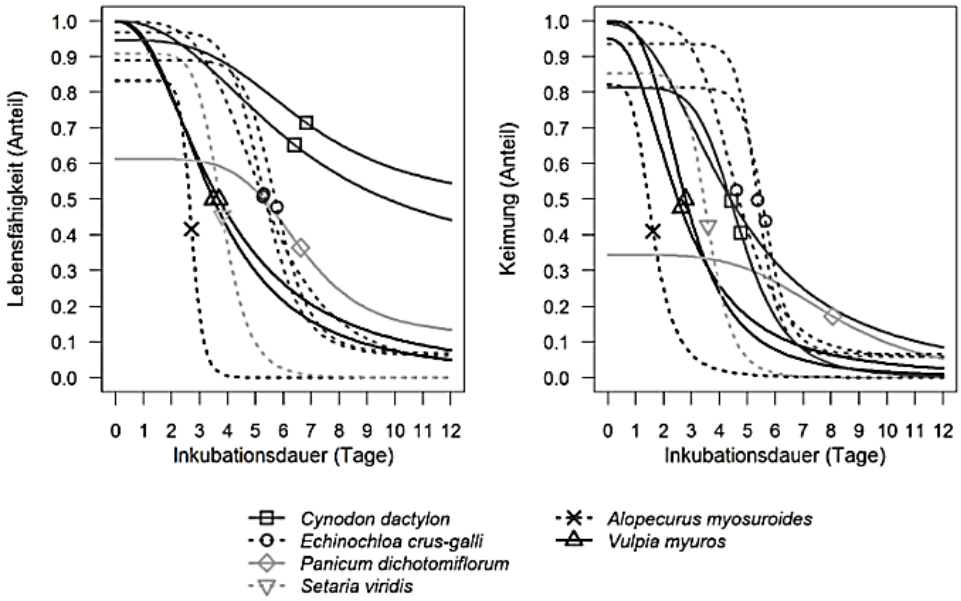


Abb. 1 Lebensfähigkeit (links) und Keimung (rechts) von Grassamen in Abhängigkeit von der Inkubationsdauer in einem Wasserbad bei 42 °C. Zeit-Wirkungskurven mit ET_{50}-Wert (Zeit, nach der 50 % der unbehandelten Samen einen Effekt zeigen) wurden mit dem vier-parametrischen log-logistischen Modell angepasst.

Fig. 1 *Viability (left) and germination (right) of grass seeds depending on the incubation period in a water bath at 42 °C. Time-response-curves and the ET_{50}-value (period after which 50% of untreated seeds are affected) were modeled by a four parameter log-logistic function.*

Die Wirkungskurven für die Lebensfähigkeit und die Keimung ähneln sich innerhalb der Arten, unabhängig von Biotyp und Versuchsreihe (Abb. 1). Sowohl hinsichtlich der Lebensfähigkeit als auch der Keimung wurde *A. myosuroides* am schnellsten beeinträchtigt (die Zeit-Wirkungskurve liegt am weitesten links), gefolgt von *V. myuros* und *S. viridis*. Während die Lebensfähigkeit von *C. dactylon* langsamer abfiel als von *E. crus-galli*, sank die Keimfähigkeit von *C. dactylon* geringfügig schneller. Die Wirkungskurven von *P. dichotomiflorum* unterscheiden sich insofern von denen der anderen Arten, als Keim- und Lebensfähigkeit der unbehandelten Kontrolle bereits gering waren (Abb. 1).

Die ET_{50}-Werte zur Charakterisierung der Biotypen für die Lebensfähigkeit waren für *A. myosuroides* mit 2,7 Tagen am niedrigsten und für *C. dactylon* mit 6,8 Tagen am höchsten (Tab. 1). Die ET_{50}-Werte lagen für die Keimung zwischen 1,6 Tagen (*A. myosuroides*) und 8,1 Tagen (*P. dichotomiflorum*). Innerhalb einer Art unterschieden sich ET_{50}-Werte nicht signifikant voneinander. Zwischen den Arten konnten homogene Untergruppen unterschieden werden. Insbesondere hatte *E. crus-galli* signifikant höhere ET_{50}-Werte für Keim- und Lebensfähigkeit als *A. myosuroides, V. myuros* und auch als *S. viridis*.

Tab. 1 Keimfähigkeit und Lebensfähigkeit. Zeit, ab der die Hälfte von Samen verschiedener Poaceen-Arten nach Inkubation in einem Wasserbad bei 42 °C nicht mehr keimte oder nicht mehr lebensfähig war (ET_{50}-Werte und Konfidenzintervalle). Buchstaben zeigen statistisch homogene Untergruppen ($p \leq 0,05$).

***Tab. 1** Germination and viability. Period, after which 50% of incubated seeds (water bath, 42°C) of different Poaceae species did not germinate and were not viable any more (ET_{50} values and confidence intervals). Letters indicate statistically homogeneous subgroups ($p \leq 0.05$).*

Art und Biotyp	Versuchs-reihe	Lebensfähigkeit ET_{50} (Tage)	95%-Konfidenz-intervall (Tage)		Keimfähigkeit ET_{50} (Tage)	95%-Konfidenz-intervall (Tage)	
			unteres	oberes		unteres	oberes
Alopecurus myosuroides 1	2	2,7 a	1,6	3,8	1,6 a	1,3	1,9
Vulpia myuros 1	2	3,5 ab	2,9	4,1	2,6 b	2,1	3,1
Vulpia myuros 2	2	3,7 ab	3,0	4,3	2,8 bc	2,4	3,2
Setaria viridis 1	1	3,8 ab	3,5	4,1	3,6 d	3,3	3,9
Echinochloa crus-galli 1	1	5,3 c	4,9	5,7	5,4 ef	4,0	6,7
Echinochloa crus-galli 1	2	5,3 c	4,8	5,7	4,6 e	4,3	4,9
Echinochloa crus-galli 2	2	5,8 c	5,5	6,1	5,6 f	4,9	6,4
Panicum dichotomiflorum 1	1	6,6 bc	3,9	9,4	(8,1*)	*)	*))
Cynodon dactylon 1	1	6,4 bc	3,5	9,3	4,4 cdef	3,8	5,1
Cynodon dactylon 1	2	6,8 bc	2,1	11,5	4,8 f	2,8	6,7

*) Für die Keimung von *P. dichotomiflorum* konnten mit dem log-logistischen Modell Konfidenzintervalle wegen großer Streuung nicht beschrieben werden.

Diskussion

Die Ergebnisse der Wirkungskurven und ET_{50}-Werte von Lebens- und Keimfähigkeit bestätigen die Hypothese, dass Samen von Grasarten mit einem C_3-Metabolismus an mesophile Bedingungen schlechter angepasst sind als Samen der C_4-Gräser. Dabei können die Überlebensfähigkeit der Samen und der C_4-Stoffwechsel völlig unabhängig voneinander Anpassungen an ein heißes Klima sein. Denn ein zugrunde liegender Mechanismus, der zu erhöhter Überlebensfähigkeit von C_4-Samen führt, ist uns nicht bekannt.

Zwischen den C_3-Gräsern entspricht die schnellere Deaktivierung des in Deutschland weit verbreiteten *A. myosuroides* im Vergleich zu *V. myuros* der aufgestellten Hypothese. Innerhalb der C_4-Grasarten ist das relativ schnelle Sinken der Lebensfähigkeit von *S. viridis* im Vergleich zu *E. crus-galli* überraschend. Zur Keimung hat *S. viridis* höhere Temperaturansprüche, so dass es im Maisanbau in Deutschland im Gegensatz zu *E. crus-galli* oft erst nach der ersten Herbizid-maßnahme aufläuft. Dieser Wärmebedarf ist offenbar nicht mit einer Wärmeverträglichkeit unter feuchten Bedingungen korreliert. Das zeigen weltweite Verbreitungskarten (CABI, 2019; POWO, 2019): in tropischen und subtropischen Regionen kommen *E. crus-galli* und auch *C. dactylon* häufig vor, während *S. viridis* erst außerhalb der tropischen und subtropischen Florenzonen zu finden ist (KLOTZ et al., 2002). *Cynodon dactylon*, dessen Samen das Wasserbad am längsten überlebten, toleriert wochenlange tiefe Überflutung (CABI, 2019), ist also nicht nur an warme, sondern auch an nasse Bedingungen bestens angepasst. Hinzu kommt, dass *C. dactylon* auch als Weidegras genutzt wird, d.h. die Art kann auch eine Selektion erfahren haben, den Verdauungstrakt von Warmblütern zu überstehen. Für *C. dactylon* fällt in den vorliegenden Versuchen die Diskrepanz zwischen der Abnahme der Lebensfähigkeit und der Keimung auf. Offenbar reichten zweijährige Lagerung, Wärmebehandlung im Wasser und Giberellinsäure nicht aus, die Keimung zu stimulieren.

Die Ergebnisse sind für den Umgang mit Gärresten aus Biogasanlagen relevant. Dabei ist für das Risiko der Samenkontamination von Gärresten die Lebensfähigkeit der Samen wichtiger als die aktuelle Keimfähigkeit. Nach dem TTC-Test als lebensfähig eingestufte Samen könnten zu einem späteren Zeitpunkt keimen, z. B. wenn Dormanz gebrochen wurde. Der ET_{50}-Wert aller hier getesteten Gräsersamen lag niedriger als der von *Chenopodium album* (10,8 °C, HAHN et al., 2018),

dessen Samen am häufigsten in Biogassubstrat gelangen (WESTERMAN und GEROWITT, 2012a). Er übertraf jedoch die mittlere Samen-Überlebenszeit von Malven, die deswegen als problematisch in Wildpflanzenmischungen für die Biogasproduktion gesehen werden (HAHN et al., 2018). Die meisten Biogasfermenter zählen zu den Durchflussanlagen, in denen die durchschnittliche Verweildauer des Substrats zwischen 20 und 40 Tagen liegt (WESTERMAN und GEROWITT, 2013). Ein Prozent des Substrats verlässt den Fermenter jedoch schon wieder nach einem Tag (BAIER et al., 2010), wenn ein Großteil der Gräsersamen noch lebensfähig ist. Das sollte bei der Ausbringung von Gärresten bedacht werden. Das Risiko der Unkrautverbreitung durch Gärreste wird relativiert, wenn die gesamte Biogasprozesskette mit vorhergehender Silierung betrachtet wird: abhängig von der Unkrautart, Silagedauer und Silageart, ist die Silierung für die meisten Grassamen tödlich (LÜCK, 2012; WESTERMAN et al., 2012c; SIMARD und LAMBERT-BEAUDET, 2016; PILTZ et al., 2017). Jedoch lebten bei Versuchen mit Luzernesilage nach einem Monat noch die Hälfte der eingebrachten *E. crus-galli*-Samen (SIMARD und LAMBERT-BEAUDET, 2016), und auch WESTERMAN et al. (2012c) zählten *E. crus-galli* zu den Arten mit relativ silier-resistenten Samen.

Während Arten spezifisch auf die Inkubation reagierten, wobei die Herkunft Hinweise auf die Überlebensfähigkeit der Samen gab, war innerartlich die Varianz zwischen verschiedenen Biotypen in unseren Versuchen gering. Die je zwei untersuchten Biotypen von *V. myuros* und *E. crus-galli* reagierten sehr ähnlich. Um zu erkennen, ob es innerhalb einer Art Adaptation an die Umgebung gibt, wäre es interessant, Samen von Biotypen einer Art zu untersuchen, die aus unterschiedlichen Florenzonen stammen.

Diese Studie liefert mit ihren Daten Bausteine dafür, die Verbreitung der Toleranz von Samen gegenüber feucht-warmen Bedingungen zu erfassen. Dabei ist die Herkunft und Verbreitung der Arten offenbar ein wichtiger Schlüssel. Um weitere allgemeine Gesetzmäßigkeiten ableiten zu können, ist es in einem nächsten Schritt wichtig, sich mit den Mechanismen der Temperaturtoleranz zu befassen.

Literatur

BAIER, U., R. WARTHMANN, K. SCHLEISS, 2010: Fermentation and composting plants as hygiene barriers (in German). Report. Zürich. https://www.biomassesuisse.ch/files/biomasse_temp/data/Das_bieten_wir/FE_Bericht_Hygienebarrieren_end3.pdf. Zugriff am 13.05.2019.

BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN), 2013: Verbreitung der Farn- und Blütenpflanzen in Deutschland. Datenbank FlorKart (BfN) aus Deutschlandflora 1.0 (NetPhyD). http://www.floraweb.de. Zugriff am 15.10.2019.

CABI, 2019: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. www.cabi.org/isc. Zugriff am 14.10.2019.

EDWARDS, E.J., S.A. SMITH, 2010: Phylogenetic analyses reveal the shady history of C4 grasses. Proceedings of the National Academy of Sciences **107**, 2532–2537.

ENGELI, H., W. EDELMANN, J. FUCHS, K. ROTTERMANN, 1993: Survival of plant pathogens and weed seeds during anaerobic digestion. Water Science and Technology **27**, 69–76.

FACHVERBAND BIOGAS, 2019: Branchenzahlen 2018 und Prognose der Branchenentwicklung 2019, https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/de_branchenzahlen, Zugriff am 5.10.2019.

HAHN, J., D. PARZYCH, P.R. WESTERMAN, M. HEIERMANN, B. GEROWITT, 2016: The importance of temperature in the inactivation of seeds in biogas reactors (in German). Julius Kühn Archiv **452**, 123–129.

HAHN, J., D. PARZYCH, J. SCHULZ, P.R. WESTERMAN, B. GEROWITT, 2018: Wildflower seeds in the biogas reactor: screening the risk of survival of different species. Julius Kühn Archiv **458**, 41–46.

KLOTZ, S., I. KÜHN, W. DURKA, [Hrsg.], 2002: BIOLFLOR - Eine Datenbank zu biologisch-ökologischen Merkmalen der Gefäßpflanzen in Deutschland. - Schriftenreihe für Vegetationskunde **38**. Bonn: Bundesamt für Naturschutz.

KATOVICH, E.J., R.L. BECKER, J. DOLL, 2004: Weed seed survival in anaerobic digesters. The Minnesota Project, St. Paul, US.

LEONHARDT, C., M. WEINHAPPEL, M. GANSBERGER, A. BRANDSTETTER, H. SCHALLY, E. PFUNDTNER, 2010: Untersuchungen zur Verbreitungsgefahr von samenübertragbaren Krankheiten, Unkräutern und austriebsfähigen Pflanzenteilen mit Fermentationsendprodukten aus Biogasanlagen. Endbericht zum Forschungsprojekt 100296/2. https://www.ages.at/fileadmin/_migrated/content_uploads/100296_Endbericht_biogas_dafne_letztfassung.pdf. Zugriff am 10.01.2019.

LÜCK, C., 2012: Überlebensfähigkeit von Gräsersamen in der Biogasprozesskette. Masterthesis. Universität Rostock, Deutschland.

PILTZ, J.W., R.A. STANTON, H. WU, 2017: Effect of ensiling and in sacco digestion on the viability of seeds of selected weed species. Weed Research **57**, 382–389.

POWO, 2019: Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. http://www.plantsoftheworldonline.org. Zugriff am 15.10.2019.

RITZ, C., F. BATY, J.C. STREIBIG, D. GERHARD, 2015: Dose-Response Analysis Using R. PLoS ONE 10 (12) e0146021.

SAAGE, R.W., 2004: The evolution of C4 photosynthesis. New Phytologist **161**, 341–370.

SIMARD, M.-J., C. LAMBERT-BEAUDET, 2016: Weed seed survival in experimental mini-silos of corn and alfalfa. Canadian Journal of Plant Science **96,** 448–454.

WESTERMAN, P.R., B. GEROWITT, 2012a: The probability of maize biomass contamination with weed seeds. Journal of Plant Diseases and Protection **119**, 68–73.

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

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

WESTERMAN, P.R., B. GEROWITT, 2013: Weed seed survival during anaerobic digestion in biogas plant. The Botanical Review **79**, 281–316.

Efficacy of herbicides against yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) plants originating from seeds

*Wirksamkeit von Herbiziden gegen aus Samen angezogene Erdmandelgraspflanzen (*Cyperus esculentus*)*

Martina Keller*, Jürgen Krauss, René Total, Reto Neuweiler

Agroscope, Müller-Thurgau-Strasse 29, 8820 Wädenswil, Switzerland
*Corresponding author, martina.keller@agroscope.admin.ch

DOI 10.5073/jka.2020.464.016

Abstract

Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) is a troublesome weed. It reproduces and spreads mainly via tubers, but also viable seeds are produced. The seeds are very small and have little resources stored. The seedlings are very fragile and look like grasses (poaceae). We hypothesized that *C. esculentus* plants originating from seeds are more susceptible to herbicides than plants originating from tubers.

Cyperus esculentus plants grown from seeds in the greenhouse were treated with glyphosate, bentazone, bromoxynil, pelargonic acid and clethodim. Herbicide efficacy was rated and produced tubers were counted.

None of the treatments achieved full control. Four weeks after application a growth reduction of 84% was observed in the glyphosate treatment, whereas bentazone reduced growth by 34% compared to the control. In the other treatments, growth reduction was < 15%. In the glyphosate and bentazone treatment, considerably fewer tubers were produced than in the control.

Concluding, we could not confirm our hypothesis. Already 6 weeks after germination seedlings were well developed, tolerant to the sprayed herbicides, except for glyphosate and bentazone, and produced tubers. This implies, that already after a short time *Cyperus esculentus* stands originating from seeds pose the same problems as the ones originating from tubers.

Keyword: Bentazone, bromoxynil, chemical control, clethodim, glyphosate, pelargonic acid

Zusammenfassung

Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) ist ein gefürchtetes Unkraut. Es vermehrt und breitet sich hauptsächlich über Knöllchen aus. Es werden aber auch keimfähige Samen gebildet. Die Samen sind klein und verfügen dementsprechend über wenig Speicherstoffe. Erdmandelgrassämlinge sind zart gebaut und ähneln Süßgräsern (Poaceae). Daher vermuteten wir, dass Erdmandelgrassämlingspflanzen sensibler auf Herbizide reagieren als aus Knöllchen gekeimte Pflanzen.

Im Gewächshaus wurden Erdmandelgraspflanzen aus Samen angezogen und mit Glyphosat, Bentazon, Bromoxynil, Pelargonsäure und Clethodim behandelt. Die Herbizidwirksamkeit wurde geschätzt und die Anzahl gebildeter Knöllchen bestimmt.

Kein Verfahren zeigte eine volle Wirkung. 4 Wochen nach Behandlung konnte eine Wuchsreduktion um 84 % und 34 % in den Verfahren Glyphosat resp. Bentazon im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle beobachtet werden. Bei den anderen Verfahren lag die Wuchsreduktion unter 15 %. In den Verfahren Glyphosat und Bentazon wurden deutlich weniger Knöllchen gebildet als in der unbehandelten Kontrolle.

Zusammenfassend konnten wir unsere Hypothese nicht bestätigen. Bereits 6 Wochen nach Keimung waren die Sämlinge robust, vergleichsweise tolerant gegenüber den applizierten Herbiziden mit Ausnahme von Glyphosat und Bentazon und bildeten Knöllchen. Das bedeutet, dass bereits nach sehr kurzer Zeit aus Samen entstandene Erdmandelgrasnester die gleichen Probleme verursachen wie aus Knöllchen entstandene.

Keywords: Bentazon, Bromoxynil, chemische Bekämpfung, Clethodim, Glyphosat, Pelargonsäure

Introduction

Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) is a troublesome weed (HOLM et al., 1991). The weed is difficult to control and it can cause high yield losses especially in vegetables (e.g. KEELEY, 1987; TOTAL et al., 2018). Yellow nutsedge reproduces and spreads via tubers in the soil; but also seeds, giving rise to viable seedlings, are produced under Swiss conditions (SCHMITT, 1995; KELLER et al., 2015). *Cyperus esculentus* seeds are rather small (1.1 to 1.6 mm long and 0.3 to 0.8 mm wide) (TUCKER et al., 2002,

cited in FOLLAK et al., 2016). Thus, they are even more easily spread than tubers e.g. with straw and hay being transported over large distances (LINGENFELTER and CURRAN, 2017).

There are many studies covering the efficacy of herbicides on *Cyperus esculentus* plants originating from tubers (FOLLAK et al., 2016). However, little is known about the sensitivity of *Cyperus esculentus* plants originating from seeds (BELL et al., 1962). As mentioned above, the seeds are very small and have little resources stored compared to the tubers (WEBSTER, 2003). Further, seedlings lack the typical robust yellow nutsedge habitus: They are very fragile and the leaves are tender and not waxy. Thus, at early growth stage the seedlings look like true grasses (poaceae) (KELLER et al., 2015). We hypothesized that *C. esculentus* plants originating from seeds are more susceptible to herbicides than plants originating from tubers.

In a greenhouse experiment, we determined the efficacy of different foliar active herbicides against *Cyperus esculentus* plants originating from seeds. Herbicides registered for use in vegetable crops or fallows in Switzerland were chosen (BLW, 2019). Of the tested herbicides, two herbicides are effective against "ordinary" *Cyperus esculentus* plants. In addition, a typical graminicide, a foliar active herbicide against broadleaved weeds and a natural non-selective herbicide were included in the experiment.

Materials and Methods

Cyperus esculentus seeds collected in 2016 in Southern Switzerland were sown in the greenhouse in a shallow tray (0.28 m x 0.46 m x 0.7 m) in 2018. The substrate was a mixture of a sterilized arable sandy soil and Floradur A substrate (1:1). Sowing depth was 2 to 5 mm. After germination (2 weeks after sowing) 5 seedlings were transplanted to each pot (pot diameter 0.12 m, volume: 620 cm^3) containing Floradur A substrate. Average temperature in the greenhouse was 19 °C and relative humidity was 45%. If natural light conditions were below 15 kLux artificial light was provided.

The plants were treated 6 weeks after germination. Herbicide treatment was carried out with a precision application chamber (AVIKO Praha, Czech Republic) using a flat-fan band nozzle (Hypro E80 01). Spray amount was 400 l ha^{-1}. The following herbicide treatments were carried out:

- 1.1 kg ha^{-1} Basagran SG (Leu + Gygax, SG, bentazone 870 g kg^{-1})
- 2.5 L ha^{-1} Roundup Max (Stähler, SL, glyphosate 450 g L^{-1})
- 1 L ha^{-1} Select (Stähler, EC, clethodim 240 g L^{-1}) with 2 L ha^{-1} Zofal D (Stähler, EC, paraffin oil 830 g L^{-1})
- 16 L ha^{-1} Natrel (Stähler, EC, pelargonic acid 680 g L^{-1})
- 1 L ha^{-1} Xinca (Omya, SC, bromoxynil 402 g L^{-1}).

Thereafter, the treatments are referred to with the corresponding active substance name. An untreated control was included in the experiment. Per treatment, there were 9 pots (i.e. replicates). At the day of application, plants had on average 8 leaves, plant height was 0.14 m and secondary/daughter plants were present and even onset of tuber production was observed.

Efficacy was rated 2 and 4 weeks after application. Leaf necrosis (0 to 100%; 0%: no necrosis and 100%: leaves completely damaged *i.e.* dead) was estimated and general growth reduction was determined compared to the untreated control (0 to 100%; 0%: no effect, same size as untreated control and 100%: plant dead). Six weeks after application tubers were counted.

Statistical analysis was carried out in R studio (R version 3.5.3, 2019-03-11). A standard ANOVA and a Tukey HSD test were carried out for each rating day separately. Model assumptions were checked by diagnostic plots.

Results

None of the treatments achieved full control (Tab. 1). Two weeks after application, some necrotic spots were also observed in the untreated control due to an unknown source of stress. 4 weeks after application no necrosis was observed anymore as many new leaves had developed. At the same time, a growth reduction of 84% was observed in the glyphosate treatment. Bentazone reduced

growth by 34% as compared to the untreated control. The herbicide effect of bromoxynil, clethodim, pelargonic acid was transient and the plants had almost recovered 4 weeks after application (growth reduction < 15%). Consequently, the number of produced tubers was not significantly affected by these treatments as compared to the untreated control. There was considerable variability between pots within treatments (Tab. 2). For the bentazone treatment, the Tukey HSD test (p-value = 0.07) indicated a tendency towards less tuber production (6 tubers per pot) compared to the untreated control. Only in the glyphosate treatment, significantly less tubers were produced (1 tuber per pot) than in the untreated control (16 tubers per pot).

Tab. 1 Herbicide efficacy 2 and 4 weeks after application against *C. esculentus*. At the day of application, plants were in the 8-leaf stage. Within columns, means followed by the same letter are not significantly different (p < 0.05) by Tukey HSD test. Significance: *** p-value < 0.001.

***Tab. 1** Herbizidwirksamkeit 2 und 4 Wochen nach der Applikation gegen C. esculentus. Am Tag der Applikation waren die Pflanzen im 8-Blattstadium. Mittelwerte innerhalb einer Kolonne mit demselben Buchstaben sind nicht signifikant verschieden (p-Wert < 0,05) ermittelt anhand des Tukey HSD Test. Signifikanz: *** p-Wert < 0,001.*

	2 weeks after application		**4 weeks after application**	
	necrosis	**growth reduction**	**necrosis**	**growth reduction**
	---------- in % ----------			
untreated	10	0 d	0 c	0 c
bentazone	24	52 bc	21 ab	34 b
glyphosate	14	82 a	24 a	84 a
clethodim	15	65 ab	10 abc	11 c
pelargonic acid	14	43 c	9 abc	10 c
bromoxynil	13	44 c	5 bc	0 c
significance	n.s	***	***	***

Tab. 2 Newly produced tubers 6 weeks after application per pot. Per pot 5 *Cyperus esculentus* plants had been transplanted (mother plants). Within columns, means followed by the same letter are not significantly different (p < 0.05) by Tukey HSD test. Significance: *** p-value < 0.001. Min and max values are reported as a measure of variability.

***Tab. 2** Anzahl neu gebildeter Knöllchen 6 Wochen nach der Behandlung. Pro Topf waren 5 Erdmandelgraspflanzen pikiert worden (Mutterpflanzen). Mittelwerte innerhalb einer Kolonne mit demselben Buchstaben sind nicht signifikant verschieden. Signifikanz: *** p-Wert < 0,001. Die Min- und Max-Werte sind dargestellt, um die Variabilität innerhalb der Verfahren aufzuzeigen.*

	produced tubers per pot		
	average	**min**	**max**
untreated	16 ab	4	32
bentazone	6 bc	3	11
glyphosate	1 c	0	5
clethodim	20 a	7	38
pelargonic acid	23 a	8	37
bromoxynil	25 a	16	37
significance	***		

Discussion

Cyperus esculentus seeds have been described as an important mean to invade new areas and as a mean to adapt to the local environment (e.g. HOLM et al., 1991; TER BORG and SCHIPPERS, 1992; SCHMITT, 1995; WEBSTER, 2003). However, it is more often generally stated, that this pathway of dispersal is not important, negligible or not relevant (e.g. MULLIGAN and JUNKINS, 1976; STOLLER, 1981; STOLLER and SWEET 1987, SCHMITT and SAHLI, 1992; DODET et al., 2008; RIEMENS et al., 2008, FOLLAK, 2014). "Not relevant" in this context means, "it rarely occurs" (low probability). However, with large infested areas and high density *Cyperus esculentus* stands, even events with low probability such as seed germination and plant establishment will occur more often and thus, they become relevant.

In previous experiments, we could show that Swiss *Cyperus esculentus* seeds sown in spring germinated under field conditions if they were irrigated and did not experience competition. Within one season, new tubers were produced (KELLER et al., 2018). Such conditions (humid and bare soil) often occur in vegetable fields and there is no reason, why *Cyperus esculentus* seeds should not germinate and form new plant stands. In another experiment, seeds were sown in autumn. Several seeds germinated and plants established the following year and new tubers were produced (unpublished data).

Due to the aforementioned morphological differences, we assumed that young *Cyperus esculentus* plants originating from seeds would be more prone to herbicides commonly applied in vegetable crops or vegetable fallows. However, only glyphosate showed a rather good efficacy, whereas the efficacy of bentazone was intermediate. In both treatments, considerably fewer tubers were produced than in the untreated control. Both active substances are known to be effective against *Cyperus esculentus* plants originating from tubers (e.g. WEBSTER et al., 2008; ANONYMOUS, 2019). The poor efficacy of bromoxynil, clethodim and pelargonic acid found in the experiment was consistent with the efficacy reported for the 3 active substances against *C. esculentus* (WEBBER et al., 2014; ANONYMOUS, 2019). Hence, we could not confirm our hypothesis. Already 6 weeks after germination, seedlings were tolerant to 3 of the 5 applied herbicides. For the tested herbicides, the efficacy against *C. esculentus* plants originating from seeds was comparable to the reported efficacy against *C. esculentus* plants originating from tubers.

A next step would be to repeat this experiment with different seed batches. Different herbicide sensitivities of *C. esculentus* clones have been already reported (e.g. DE CAUVER et al., 2017). In our experiment, the efficacy of only a few herbicides was tested on one *C. esculentus* seed batch. Nevertheless our findings imply, that already after a short period *C. esculentus* stands originating from seeds pose the same problems as the ones originating from tubers. In addition, each *C. esculentus* plant originating from a seed is in itself a new clone with new gene combinations, and thus potentially more vigorous or more tolerant to herbicides than its parents.

References

ANONYMOUS, 2019: Weed control guide for field crops. Michigan State University Extension. https://www.canr.msu.edu/weeds/extension/2019-weed-control-guide (last visited 01.10.2019).

BELL, R.S., W.H. LACHMAN, E.M. RAHN, R.D. SWEET, 1962: Life history studies as related to weed control in the Northeast 1 – Nutgrass. Bulletin 364. Northeast Regional Publicatin, Agricultural Experiment Station University of Rhode Island.

BLW – Bundesamt für Landwirtschaft, 2019: Pflanzenschutzmittelverzeichnis https://www.psm.admin.ch (visited 09.10.2019).

DE CAUWER, B., S.D. RYCK, S. CLAERHOUT, N. BIESEMANS, D. REHEUL, 2017: Differences in growth and herbicide sensitivity among Cyperus esculentus clones found in Belgian maize fields. Weed Research **57**,1-13., https://doi.org/10.1111/wre.12252

DODET, M., R.J. PETIT, J. GASQUEZ, 2008: Local spread of the invasive *Cyperus esculentus* (Cyperaceae) inferred using molecular genetic markers. Weed Res. **48**, 19–27.

FOLLAK, S., 2014: Das Erdmandelgras wird ein zunehmendes Problem [Yellow nutsedge becoming more and more a problem]. Der Pflanzenarzt, 22-23.

FOLLAK, S., R. BELZ, C. BOHREN, O. DE CASTRO O., E. DEL GUACCHIO, N. PASCUAL-SEVA, M. SCHWARZ, F. VERLOOVE, F. ESSL, 2016: Biological flora of Central Europe: *Cyperus esculentus* L. Perspect Plant Ecol Syst **23**, 33-51.

HOLM, L.G., D.L. PLUCKNETT, J.V. PANCHO, 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 Technol. **1**, 74-81.

KELLER, M., L. EPPLER, L. COLLET, R. TOTAL, 2015: Beim Erdmandelgras auf Nummer sicher gehen: auch Blütenbildung und Abblühen verhindern! [To be on the safe side: Prevent inflorences and seed production of *Cyperus esculentus*]. Gemüsebau Info **22**, 7-9.

KELLER, M., C. TOTAL, R. MORISOLI, C. BOHREN, R. TOTAL, 2018: Should we be concerned about *Cyperus esculentus* spread via seeds in Switzerland? Book of Abstracts — 18th European Weed Research Society Symposium ,17-21 June 2018, Ljubljana, Slovenia.

MULLIGAN, G.A., B.E. JUNKINS, 1976: The Biology of Canadian weeds. 17. *Cyperus esculentus* L. Can J Plant SCI **56**, 339-350.

LINGENFELTER, D.D., W.S. CURRAN, 2009: Controlling Yellow Nutsedge in Agronomic Crops (An Integrated Approach). Agronomy Facts 47. Penn State extension: http://extension.psu.edu/pests/weeds/control/controlling-yellow-nutsedge-in-agronomic-crops-an-integrated-approach (last visited 23.09.2019).

RIEMENS, M.M., R.Y. VAN DER WEIDE, W.T. RUNIA, 2008: Nutsedge Biology and Control of *Cyperus rotundus* and *Cyperus esculentus*, review of a literature survey. Plant Research International B.V., Wageningen PPO report 3250100200, PRI report 3310307708.

SCHMITT, R., A. SAHLI, 1992: Eine in der Schweiz als Unkraut neu auftretende Unterart des *Cyperus esculentus* L [A newly introduced weed to Switzerland – *Cyperus esculentus*]. Landwirtschaft Schweiz Band **5**, 273-278.

SCHMITT, R., 1995: Die «neuen» Unkräuter Knöllchen-Zypergras und Aleppo-Hirse. Agrarforschung [The „new" weeds *Cyperus esculentus* and *Sorghum halepense*] **2** (7), 276-278.

STOLLER, E.W., 1981: Yellow Nutsedge: A Menace in the Corn Belt. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1642. 16 p.

STOLLER, E.W., R.D. SWEET, 1987: Biology and life cycle of purple and yellow nutsedges (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*). Weed Technol. **1**, 66-73.

TER BORG, S.J., P. SCHIPPERS, 1992: Distribution of varieties of *Cyperus esculentus* L. (Yellow nutsedge) and their possible migration in Europe.. Proc. 9ème Coll. Int. Biologie des mauvaises herbes. Dijon (1992) 417-425.

TOTAL, R., L. COLLET, J. HEYER, M. KELLER, 2018: Yield losses in vegetable and arable crops caused by yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) in farmers' fields in Switzerland. 28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig, Germany. Julius-Kühn-Archiv **458**, 472-476.

WEBBER, C.L., M.J. TAYLOR, J.W. SCHREFLER, 2014: Weed Control in Yellow Squash using sequential postdirected applications of pelargonic acid. HortTechnology **24**, 25-29.

WEBSTER, T.M., 2003: Nutsedge (*Cyperus* spp.) eradi[c]ation: impossible dream? In: Riley L.E., Dumroese R.K., Landis T.D., technical coordinators. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations - 2002. Ogden, UT, USA: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Proceedings RMRS-P-28: 21-25.

WEBSTER, T.M., T.L. GREY, J.W. DAVIS, A.S. CULPEPPER, 2008: Glyphosate hinders purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) and Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus*) tuber production. Weed Sci. **56**, 735-742.

Know your enemy: Are biochemical substances the secret weapon of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in the fierce competition with crops and native weeds?

*Kenne den Feind: Nutzt das Beifußblättrige Traubenkraut (*Ambrosia artemisiifolia *L.) im Konkurrenzkampf mit Kulturpflanzen und heimischen Unkrautarten biochemische Geheimwaffen?*

Rea Maria Hall[1, 3*], Harry Bein[2], Bettina Bein-Lobmaier[2], Gerhard Karrer[1], Hans-Peter Kaul[3], Johannes Novak[2]

[1]Department of Integrative Biology and Biodiversity Research; University of Natural Resources and Life Science, Vienna
[2]Institute of Animal Nutrition and Functional Plant Compounds, University of Veterinary Medicine Vienna
[3]Department of Crop Science; University of Natural Resources and Life Science, Vienna
[*]Corresponding author, rea.hall@boku.ac.at

DOI 10.5073/jka.2020.464.017

Abstract

Following the "novel weapon hypothesis", the invasiveness of non-native species like common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) can result from a loss of natural competitors due to the production of chemical compounds by the non-native species that unfavorably affect native communities. In this case, native plants may not be able to tolerate compounds released by a non-native plant that has not co-evolved in the same environment. Particularly the genus *Ambrosia* produces several types of organic compounds, which have a broad spectrum of biological activities and which could be major drivers in the successful invasion and competition process of common ragweed. To 1) asses the chemical profile of the aboveground biomass of common ragweed four different extracts (H_2O, hexane extract, methanol extract and essential oil) were prepared and analysed for their content substances. In the next step a laboratory experiment was implemented to 2) determine the effects of different concentrations of these substances on germination and seedling development of three different crops (soybean, wheat, and rapeseed), native weedy species (*Chenopodium album*, *Senecio vulgaris* and *Arabidopsis thaliana*) and on common ragweed itself. Results showed that germination as well as seedling development was significantly influenced by the chemical compounds in the extracts. Even though the extracts did not affect the germination capacity of crops, severe reduction in root and shoot growth were observed with all three tested crops. The highest inhibitory effect on germination of native weedy species as well as common ragweed was observed with essential oil and the aqueous extract.

Keywords: Enemy release hypothesis, invasive alien species, novel weapon hypothesis, plant extracts

Zusammenfassung

Entsprechend der „Novel Weapon"-Hypothese, kann der Invasionserfolg von nicht-heimischen Arten wie Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) auf einen Verlust von natürlichen Konkurrenten zurückzuführen sein. Grund für diesen Verlust sind chemische Verbindungen, die die gebietsfremde Art erzeugt und die heimische Arten aufgrund fehlender Koevolution negativ beeinträchtigen. Studien haben gezeigt, dass die Gattung *Ambrosia* unterschiedliche organische Verbindungen produziert, von denen sehr viele ein breites Spektrum an biologischer Aktivität zeigen, weshalb diese chemischen Verbindungen ein wichtiger Grund für den Invasionserfolg und die Konkurrenzkraft der Pflanze sein können. Um 1) das chemische Profil der oberirdischen Biomasse offenzulegen, wurden vier verschiedene Extrakte (wässriger Extrakt, Hexan-Extrakt, Methanol-Extrakt und ätherisches Öl) hergestellt und auf ihre Inhaltsstoffe analysiert. Im nächsten Schritt wurde ein Laborexperiment durchgeführt, dass Aufschluss darüber geben sollte 2) welche Effekte unterschiedliche Konzentrationen dieser Extrakte auf Keimung und Jungpflanzenentwicklung von drei verschiedenen Kulturpflanzen (Sojabohne, Weizen und Raps), drei heimischen Unkrautarten (*Chenopodium album*, *Senecio vulgaris* und *Arabidopsis thaliana*) sowie auf Ragweed selbst, haben. Die Ergebnisse zeigten, eine deutliche Beeinträchtigung von Keimung und Entwicklung aller getesteten Pflanzenarten. Obwohl keiner der Extrakte eine direkte Wirkung auf die Keimfähigkeit der Kulturpflanzen hatte, konnte eine deutliche Wachstumsreduktion von Wurzel und Spross bei allen Nutzpflanzen festgestellt werden. Im Gegensatz dazu, konnte man bei den heimischen Unkrautarten und Ragweed selbst eine deutlich verminderte Keimfähigkeit sowie Wachstumshemmung speziell bei der Behandlung mit ätherischem Öl und dem wässrigen Extrakt beobachten.

Stichwörter: Enemy release-Hypothese, invasives Unkraut, Novel weapon-Hypothese, Pflanzenextrakte

Introduction

Plants release volatile organic compounds (VOCs) into the surrounding environment from organs such as leaves, flowers and roots. This concept of "allelopathy" was first raised by MOLISCH (1937). Since then, more than 1.700 VOC have been identified, most of them having the ability to inhibit or stimulate growth of other plants. During their evolution, plants have developed different ecological means to adapt their development, physiology and life history to various biotic and abiotic factors (NINKOVIC, 2002). Chemical messages play an important role in these behavioral mechanisms. Following the „enemy release hypothesis" (KEANE and CRAWLEY, 2002) and the "novel weapon theory" (CALLAWAY and RIDENOUR, 2004) particularly the invasiveness of non-native species like common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) can result from a loss of natural enemies due to the production of toxic compounds (growth inhibitors etc.) by the non-native species that unfavorably affect native communities (VIVANCO et al., 2004; BALEZENTIENE, 2012). In this case, the native plants may be unable to tolerate compounds released by a non-native plant that has not co-evolved in the same environment (THORPE et al., 2009).

Particularly the genus *Ambrosia* produces several types of secondary metabolites including the sesquiterpene ambrosic acid, phenols, thiarubrines and thiopenes (BLOSZYK et al., 1992). These compounds have a broad spectrum of biological activities. Some of them are allelochemicals inhibiting the growth of other plants (WATANABE et al., 1981; PAJEVIĆ et al., 2010). Aqueous extracts of *A. artemisiifolia* and *A. palmeri* inhibit the growth of several plants or soil algae (FISHER and QUIJANO, 1984; BRÜCKNER et al., 2003). Volatile oils of *A. trifida* act against crop plants (WANG et al., 2005). Accordingly, allelopathy seems to be an important factor for the successful competition of *Ambrosia* species.

Not only living plants but also dead plant residues can release allelopathic substances. As shown by VIDOTTO et al. (2013) with their study on allelopathic effects of *A. artemisiifolia* (common ragweed) the amount of *A. artemisiifolia* residues in soil significantly affected seed emergence and seedling growth of different indicator crops and other weedy species. This was also confirmed by MUTCH et al. (2003) showing that the presence of ragweed after winter wheat or barley cultivation inhibited germination and growth of the succeeding crops due to an accumulation of dead ragweed biomass and root exudates.

However, information on the active chemical compounds in the ragweed plant and how they affect germination and/or growth of other plant species is very low. Thereby it has to be taken into account that different extracts have different chemical compounds, depending on the polarity of the solvent.

Therefore the aim of the study which started in summer 2019 and will go on until winter 2020 was 1) to assess the chemical profile of the aboveground and belowground biomass of common ragweed in four different extracts (aqueous extract, hexane extract, methanol extract and essential oil), 2) to determine the effects of different concentrations of these extracts on germination and seedling development of three different crops (rapeseed, wheat, and soybean) of three native weedy species (*Chenopodium album*, *Senecio jacobaea* and *Arabidopsis thaliana*) and of common ragweed itself.

Materials and Methods

Ragweed extracts and chemical profiling

For extraction we used aboveground biomass of common ragweed (stems and leaves) harvested before flowering end of July 2019. For the preparation of the aqueous extract ragweed biomass was dried 48 hours at 40 °C. For the initial extract we stirred 1000 g of the dried biomass in 1000 mL distilled water. Beside this pure extract we diluted this stock solution to a 1% and 10% solution (Tab. 1).

Methanol and n-hexane extracts were also obtained from dried ragweed biomass. Thereby 100 g of plant material was extracted with 100 mL solvent on an orbital shaker (120 rpm) for 24 hours at room temperature. Essential oil was produced following the protocol of LUKAS et al. (2009). The stock solution was diluted to a 0.5% and 1% solution. For the control variant normal tab water was used. Analysation of the compounds was performed at University of Veterinary Medicine Vienna following protocol SOP_3.05 via gas-chromatography/mass-spectroscopy (GC-MS).

Tab. 1 Overview of the various extracts and different concentrations used in the trial, including the abbreviations used in the graphs.

Tab. 1 *Überblick über die verschiedenen Extrakte und Konzentrationen inklusive der dazugehörigen Abkürzungen, die in den Grafiken verwendet werden.*

EXTRACT	Concentration	Abbreviations
Tap Water (H_2O)	--	Control
Aqueous extract	1% diluted	Aqua 1%
	10% solution	Aqua 10%
	100% undiluted	Aqua pure
Methanol	pure methanol without ragweed	MeOH 0
	150 µl of methanol extract	MeOH 150
	300 µl of methanol extract	MeOH 300
n-hexane	pure n-hexane without ragweed	Hexane
	150 µl of n-hexane extract	Hexane 150
	300 µl of n-hexane extract	Hexane 300
Essential oil	0.5% solution	EO 0.5%
	1% solution	EO 1%

Germination and seedling development – laboratory trial

The potential effects of the various ragweed extracts was studied by assessing its impact on indicator species' seed germination as well as radicle and hypocotyl elongation. As crop species we chose soybean, which is usually highly affected by ragweed competition in the field, as well as wheat and rapeseed. These two crops can be severely affected by ragweed due to their sowing date in autumn. If the preceding crop was heavily infested with common ragweed, the probability of high amounts of ragweed residues in the soil at the time of sowing and germination of wheat and rapeseed is very high and thus, can lead to a negative impairment of the crops development. Weedy indicator species were goosefoot (*Chenopodium album*) which is the most widespread and frequent weedy species in many agricultural areas in Austria, common ragwort (*Senecio vulgaris*) a toxic plant having high economic impact in the production of medicinal and aromatic plants, thale cress (*Arabidopsis thalina*) which is most common model plant in various fields of plant science and common ragweed itself. The experiment was conducted on filter paper in petri dishes. 100 seeds per extract and concentration as well as a control group in pure H2O were tested for germinability (Tab. 1). In addition, we measured the length of the radicle and hypocotyl of 50 seedlings, if available.

First results

The germination percentage of wheat, rapeseed and soybean was not significantly affected by ragweed extracts (Fig. 1 a-c). The significantly lowest germination rate of soybean was observed with pure methanol (MeOH 0) without any ragweed compounds. Despite that, ragweed essential oil significantly inhibited radicle and hypocotyl growth of all crops. The strongest effect was observed with wheat (Fig. 2) which had a 75.1% shorter radicle and 70.6% shorter shoot growth at 1% essential oil.

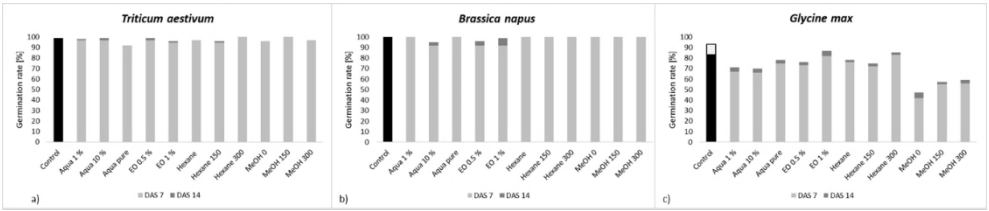


Fig. 1 a-c Germination rate (%) of a) wheat, b) rapeseed, and c) soybean as affected by four extracts of common ragweed in different concentrations (DAS = days after seeding, n = 100 seeds per species and variant).

Abb. 1 a-c *Keimung (%) von a) Weizen, b) Raps und c) Sojabohne in Abhängigkeit von vier verschiedenen Ragweed-Extrakten in unterschiedlicher Konzentration (DAS = Tage nach Ansaat, n = 100 Samen pro Art und Variante).*

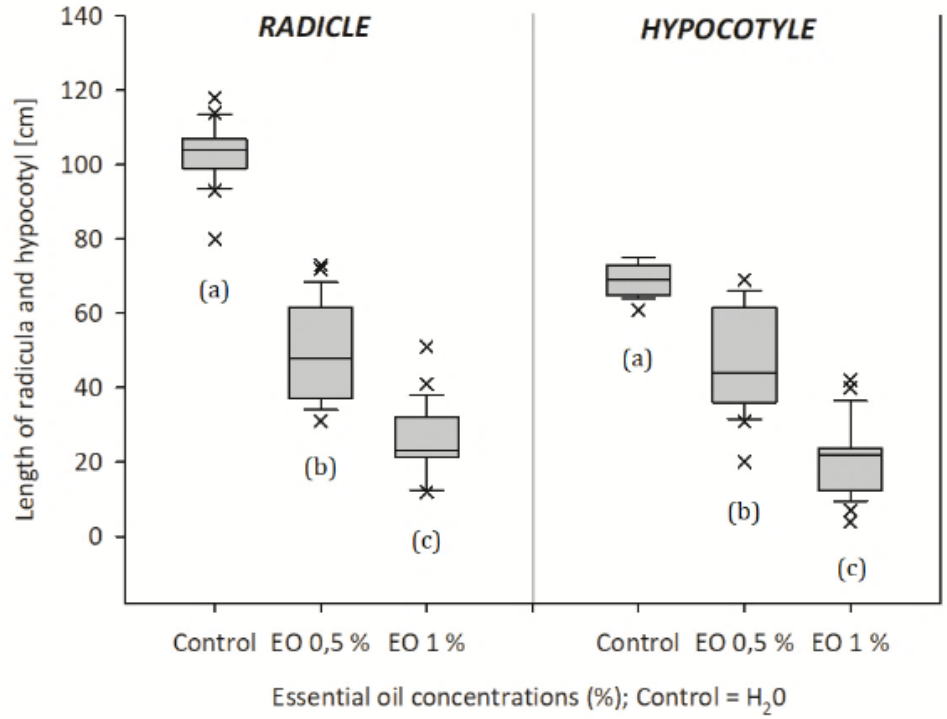


Fig. 2 Radicle and hypocotyl length of wheat after 14 days of exposure to ragweed essential oil extract in different concentrations (n = 50 seedling/variant; different letters indicate significant differences)

Abb. 2 *Radikula- und Hypokotyllänge von Weizen nach 14 Tagen Behandlung mit ätherischem Öl von Ragweed in unterschiedlichen Konzentrationen (n = 50 Keimlinge pro Variante; unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede.)*

Contrary to the crops germination of the weedy species was clearly affected by ragweed. The germination of common ragwort was significantly influenced when seeds were exposed to ragweed essential oil (Fig. 3 a). At a concentration of 0.5% germination rate decreased by 29.7%; when exposed to a 1% solution of ragweed essential oil germination rate of common ragwort dropped by 82.4%. As with ragwort, also the germination of goosefoot was significantly influenced by ragweed extracts, particularly by essential oil (Fig. 3 b). When seeds were exposed to a 1% essential oil extract the germination decreased by 72.3%. In contrast, the germination of thale cress was most affected by the presence of aqueous extract. Particularly seeds exposed to the pure aqueous extract (Fig. 3 c – Aqua pure), showed an 84.0% lower germination than the control group.

However, the strongest influence of the ragweed extracts was observed with ragweed itself. The pure aqueous extract (Aqua pure) decreased germination rate by 58.8%. The strongest inhibition of germination was observed with essential oil. A concentration of 0.5% (EO 0.5) was enough to reduce germination by 93.8% (Fig. 3 d). As with the crops, also radicle and hypocotyl growth of the weedy species were affected by the presence of ragweed extracts. A decreased growth was particularly monitored with the aqueous extracts and the essential oil.

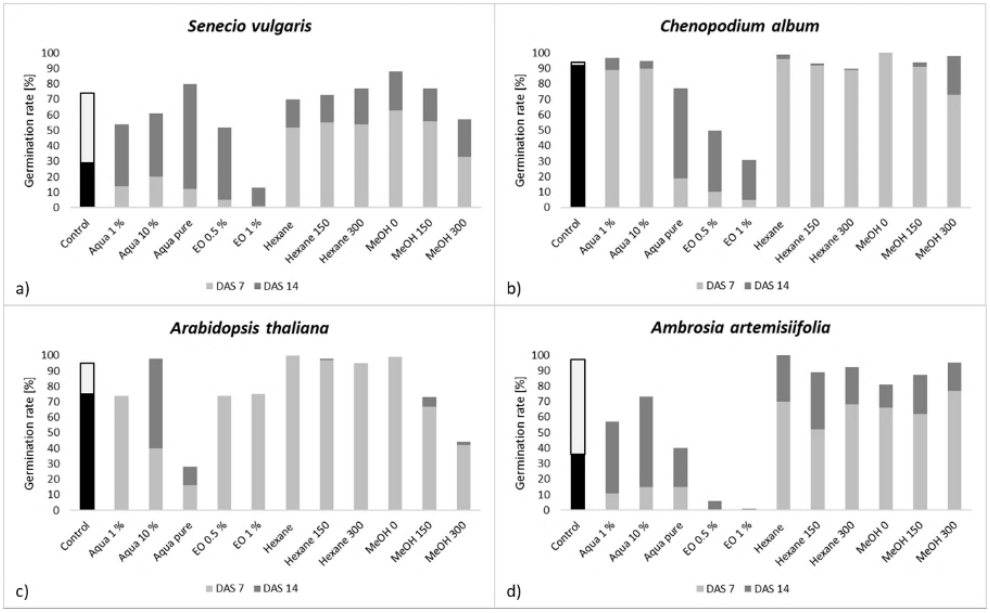


Fig. 3 a-d Germination (%) of a) common ragwort, b) goosefoot, c) thale cress, and d) common ragweed as affected by four extracts of common ragweed in different concentrations (DAS = days after seeding, n = 100 seeds per species and variant).

Abb. 3 a-d *Keimung (%) von a) Gewöhnlichem Greiskraut, b) Weißem Gänsefuß, c) Ackerschmalwand und d) Ragweed in Abhängigkeit von vier verschiedenen Ragweed-Extrakten in unterschiedlicher Konzentration (DAS = Tage nach Ansaat, n = 100 Samen pro Art und Variante).*

Outlook

Even though the germination of crops was not affected by the presence of ragweed compounds, we detected significant negative effects on the growth performance (radicle and hypocotyl) of crop seedlings. Contrary, the germination rate of native weeds was severely reduced, particularly by essential oil and aqueous extracts of ragweed. Thus, negative impacts of ragweed compounds on any neighbors, irrespective if crop or weed could be expected. Therefore, the third part of experiments should reveal interaction effects of different substrate types and the extracts. The aim is to test if various substrates retard or promote the effectiveness of the chemical compounds on germination and/or seedling growth of the same plant species used in the laboratory experiment.

Acknowledgement

This project is funded by the Austrian Academy of Science. We appreciate very much the help of Susanne Stickler, Michael Stickler, Bernhard Urban, Nora Durec, Lisa Sitavanc as well as the staff members of University of Veterinary Medicine, Vienna for helping us collecting plant material in the field and for their support and cooperation in the lab.

References

BALENZENTIENE, L., 2012: Inhibitory effects of invasive *Heracleum sosnowskyi* on rapeseed and ryegrass germination. Allelopathy Journal **30**, 197-208.

BLOSZYK, E., U. RYCHLEWSKA, B. SZCZEPANSKA, M. BUDESINSKY, B. DROZDZ, H. HOLUB, M., 1992: Sesquiterpene lactones of *Ambrosia artemisiifolia L*. and *Ambrosia trifida L*. species. Chemical Communications **57**, 1092–1102.

BRÜCKNER, D.J., A. LEPOSSA, Z. HERPAI, 2003: Inhibitory effect of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia L*.) inflorescence extract on the germination of *Amaranthus hypochondriacus L*. and growth of two soil algae. Chemosphere **52**, 525-519.

CALLAWAY, R.M., W.M. RIDENOUR, 2004: Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability. Frontiers in Ecology and the Environment **2**(8), 436-443.

FISHER, N.H., L. QUIJANO, 1984: Allelopathic agents from common weeds: *Ambrosia palmeri* and *Ambrosia artemisiifolia* and related weeds. ACS Symposium Series **268**, 133–147.

KEANE, R.M., M.J. CRAWLEY, 2002: Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis. Trends in Ecology and Evolution **17**, 164-170.

MOLISCH, H., 1937: Der Einfluss einer Pflanze auf die andere –Allelopathie. G. Fisher, Jena.

MUTCH, D.R., T.E. MARTIN, K.R. KOSOLA, 2003: Red clover (*Trifolium pratense*) suppression of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) in winter wheat (*Triticum aestivum*). Weed Technology **17**, 181-185.

NINKOVIC, V., 2002: Volatile communication between barley plants affects biomass allocation. Journal of Experimental Botany **54**, 1931-1939.

PAJEVIĆ, S., M. BORIŠEV, D. ORČIĆ, P. BOŽA, N. NIKOLIĆ, 2010: Photosynthetic and Biochemical Characteristics of Invasive Species (*Ambrosia artemisiifolia L., Ambrosia trifida L. and Iva xanthifolia Nutt.)* depending on soil humidity and phenological phase. Russion Journal of Ecology **41**(6), 498-505.

THORPE, A.S., G.C. THELEN, A. DIACONU, R.M. CALLAWAY, 2009: Root exudate is allelopathic in invaded community but not in native community: field evidence for the novel weapons hypothesis. Journal of Ecology **97**, 641-645.

VIDOTTO, F., F. TESIO, A. FERRERO, 2013: Allelopathic effects of *Ambrosia artemisiifolia L*. in the invasive process. Crop Protection **54**, 161-167.

VIVANCO, J.M., H.P. BAIS, F.R. STERMITZ, G.C. THELEN, R.M. CALLAWAY, 2004: Biogeographical variation in community response to root allelochemistry: novel weapons and exotic invasion. Ecology Letters **7**, 285-292.

WANG, P., W.J. LIANG, C.H. KONG, Y. JIANG, 2005: Allelopathic potentials of volatile allelochemicals of *Ambrosia trifida L*. on other plants. Allelopathy Journal **15**, 131-136.

WATANABE, S., A. KOBAYASHI, K. YAMASHITA, 1981: Growth and Germination Inhibitors in Hog-Weed. Agricultural and Biological Chemistry **45**(12), 2919-2920.

Sektion 3: Herbizid-Management
Session 3: Herbicide management

Bewertung von Metazachlor-haltigen Herbiziden zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in Winterraps

Evaluation of metazachlor-containing herbicides for control of blackgrass in winter oilseed rape

Alfons Schönhammer*, Joachim Freitag
BASF SE, Agrarzentrum Limburgerhof, 67117 Limburgerhof, Germany
*Korrespondierender Autor, alfons.schoenhammer@basf.com

DOI 10.5073/jka.2020.464.018

Zusammenfassung

Die Auswertung von Kleinparzellen-Versuchen der letzten 20 Jahre zeigt eine Abhängigkeit der Wirksamkeit Metazachlor-haltiger Herbizide gegen Acker-Fuchsschwanz von Anwendungstermin und Aufwandmenge. Die höchsten Wirkungsgrade mit der geringsten Streuung werden im Vorauflauf erzielt. Bei reinen Metazachlor-Produkten liegen diese bei 500 g/ha Metazachlor bei 75 % Wirkung und bei 750 g/ha Metazachlor bei etwas über 80 % Wirkung. Im Nachauflauf ist die Variabilität aufgrund unterschiedlicher Entwicklungsstadien höher und die Wirkungsgrade sind im Durchschnitt um häufig 5-10 % niedriger.

Auch Dimethenamid-P-haltige Herbizide ohne Metazachlor (z.B. Tanaris®) weisen eine Nebenwirkung gegen Acker-Fuchsschwanz auf. Diese liegt bei 500 g/ha Dimethenamid-P durchschnittlich bei 60-65 % und fällt im Nachauflauf weniger stark ab, verglichen mit Metazachlor.

Die Kombination aus 500 g/ha Dimethenamid-P und 500 g/ha Metazachlor, wie sie in den Produkten Butisan® Gold und Butisan® Kombi vorliegt, erzielt hinsichtlich Wirkungsgrad und Wirkungssicherheit dieselben Ergebnisse wie 750 g/ha Metazachlor solo. Die Rücknahme der Metazachlor-Aufwandmenge von 750 g/ha auf 500 g/ha wird somit durch die Ergänzung mit Dimethenamid-P bei der Acker-Fuchsschwanz-Wirkung vollständig kompensiert.

Idealerweise sollte Winterraps in der Fruchtfolge dafür genutzt werden, den Acker-Fuchsschwanz-Besatz durch Verhinderung von Samen-Neubildung zu reduzieren. Die dafür nötigen hohen Wirkungsgrade lassen sich erzielen mit Spritzfolgen bestehend aus Butisan® Gold/Butisan® Kombi gefolgt von Focus® Aktiv-Pack (sofern keine ACCase-Wirkort-Resistenz vorliegt) oder einem Propyzamid-Produkt.

Zusätzlich trägt die Reduzierung von Metazachlor zum Wirkstofferhalt bei. Eine Senkung der Aufwandmenge auf maximal 500 g/ha Metazachlor reduziert automatisch die Menge nicht relevanter Metaboliten und trägt dazu bei, das „Risiko" möglicher Versickerungen ins Grundwasser zu minimieren. Die Leistung der Kombi-Produkte ist bei der reduzierten Metazachlor-Menge gegenüber reinen Metazachlor-haltigen Produkten mit höherer Metazachlor-Menge gegen Acker-Fuchsschwanz gleichwertig, bei den meisten anderen Unkräutern überlegen.

Stichwörter: Acker-Fuchsschwanz, *Alopecurus myosuroides*, Butisan® Gold, Butisan® Kombi, Cycloxydim, Dimethenamid-P, Focus® Ultra, Metazachlor, Propyzamid, Winterraps

Abstract

The evaluation of small plot trials of the last 20 years shows a dependence of the efficacy of metazachlor-containing herbicides against blackgrass of application date and application rate. The highest control levels with the lowest variation are achieved in pre-emergence. In the case of metazachlor solo products, they are 75% control at 500 g / ha of metazachlor and slightly more than 80% control at 750 g / ha of metazachlor. In post-emergence variation is higher due to different growth stages and the efficacies are often 5-10% lower on average.

Dimethenamid-P-containing herbicides without metazachlor (e.g., Tanaris®) also have a side effect on blackgrass. At 500 g / ha of dimethenamid-P, it is on average 60-65% control and is not as much decreasing in post-emergence compared with metazachlor.

The combination of 500 g / ha dimethenamid-P and 500 g / ha metazachlor, as present in the products Butisan® Gold and Butisan® Kombi, achieves the same results in terms of efficacy and variation as 750 g / ha metazachlor

solo. The reduction of the metazachlor application rate from 750 g / ha to 500 g / ha is thus fully compensated for by the addition of dimethenamid-P in terms of blackgrass efficacy.

Ideally, winter rape should be used in crop rotation to reduce the blackgrass population by preventing seed production. The required high efficiencies can be achieved with spray sequences consisting of Butisan® Gold / Butisan® Kombi followed by Focus® Active Pack (if there is no ACCase target site resistance) or a propyzamide product.

In addition, the reduction of metazachlor contributes to the sustainable use of the active ingredient. Lowering the application rate to a maximum of 500 g / ha metazachlor automatically reduces the amount of non-relevant metabolites and helps to minimize the "risk" of possible infiltration into the groundwater. The performance of the combination-products with reduced metazachlor level is similar compared to metazachlor solo products with higher metazachlor rates against blackgrass and superior against most other weeds.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, Blackgrass, Butisan® Gold, Butisan® Kombi, Cycloxydim, Dimethenamid-P, Focus® Ultra, Metazachlor, Propyzamid, winter oilseed rape

Einleitung

Die Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Wintergetreide-Fruchtfolgen wird zunehmend schwieriger, da die Ausbreitung von Biotypen mit Resistenz gegen Getreideherbizide der Wirkstoffklassen HRAC A und HRAC B zunimmt. Dies wird den Landwirten immer stärker bewusst (Ulber, 2018). Deshalb sollte in der Fruchtfolge Winterraps dazu genutzt werden, den Acker-Fuchsschwanz-Besatz mit Herbiziden anderer Wirkstoffklassen, die nicht von Resistenz betroffen sind, soweit wie möglich abzubauen. Dafür stehen in erster Linie die Wirkstoffe Metazachlor (HRAC K3) und Propyzamid (HRAC K1) zur Verfügung.

Damit das Auftreten von Metazachlor-Metaboliten im Grundwasser nicht zu zunehmenden Anwendungsbeschränkungen führt, sollte die ausgebrachte Wirkstoffmenge innerhalb von drei Jahren 500 g/ha nicht überschreiten. Um mit dieser Menge möglichst hohe Acker-Fuchsschwanz-Wirkungen zu erzielen, ist es notwendig, den Anwendungstermin zu optimieren und wirkungsunterstützende Kombinationspartner zu verwenden. Als Metazachlor-haltige Fertigformulierungen werden seit mehreren Jahren Butisan® Gold und Butisan® Kombi vertrieben, bei denen ein Teil der früher üblichen Metazachlor-Menge durch den verwandten Wirkstoff Dimethenamid-P (HRAC K3) ersetzt wurde. Die Vorzüglichkeit dieser Kombination gegen zweikeimblättrige Unkräuter ist bekannt, hinsichtlich der kombinierten Leistung gegen Acker-Fuchsschwanz herrscht unter Fachleuten noch Uneinigkeit.

Anhand langjähriger Versuchsdaten werden im Folgenden die Acker-Fuchsschwanz-Wirkungen der Solowirkstoffe Metazachlor und Dimethenamid-P dargestellt. Dem werden anschließend Ergebnisse der Metazachlor- und Dimethenamid-P-haltigen Kombi-Herbizide bei unterschiedlichen Terminen gegenübergestellt. Neben dem Vergleich von Produkten und Aufwandmengen werden auch die Ergebnisse von Spritzfolgen mit Herbiziden anderer Wirkstoffklassen zur bestmöglichen Acker-Fuchsschwanz-Bekämpfung im System dargestellt.

Material und Methoden

Versuchsdurchführung und Standorte

Dargestellt werden Ergebnisse von Kleinparzellenversuchen auf Praxisschlägen, die in den letzten 20 Versuchsjahren in Deutschland und Nachbarländern zur herbiziden Wirksamkeit gemäß EPPO-Richtlinie PP 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 Winterraps durchgeführt wurden. Die Versuchsdurchführung oblag in den meisten Fällen Versuchstechnikern der BASF-Länderbereiche sowie in geringerem Umfang der Versuchstechnik verschiedener Landespflanzenschutzdienste sowie privater Kooperatoren. In der Regel waren die Versuche jeweils als Versuchsserie mit 3 Wiederholungen angelegt.

In allen Prüfjahren wurden die Bodenherbizide entweder im Vorauflauf oder im sehr frühen Nachauflauf (Keimblatt- bis 2 Laubblätter, BBCH 10-12) von Winterraps eingesetzt. Acker-

Fuchsschwanz befand sich zum Anwendungszeitpunkt ebenfalls vor dem Auflaufen bis maximal im 2-Blatt-Stadium. In den Versuchen mit Spritzfolgen erfolgte eine zusätzliche Applikation entweder mit Focus® Ultra + Dash® E.C. zum 4-6-Blatt-Stadium (BBCH 14-16) oder mit Kerb™ Flo nach Ende der Vegetationsperiode im 6-8-Blatt-Stadium (BBCH 16-18) von Raps.

Beschreibung der Herbizide

In den Versuchen wurden Produkte, deren Acker-Fuchsschwanzwirkung auf einem Wirkstoff, nämlich Metazachlor oder Dimethenamid-P, basiert, wie Butisan®, Spectrum® und Tanaris®, mit Kombinationsprodukten bestehend aus Metazachlor und Dimethenamid-P (DMTA-P), wie Butisan® Kombi und Butisan® Gold, verglichen. Der Wirkstoff Quinmerac, enthalten in Butisan® Gold und Tanaris®, hat keinerlei Wirkung gegen Acker-Fuchsschwanz und kann somit unberücksichtigt bleiben. Neben dem Vergleich von Herbiziden mit unterschiedlichen Metazachlor-Aufwandmengen wurden in einigen Versuchen Spritzfolgen mit den Graminiziden Focus® Ultra und Kerb™ Flo geprüft.

Tab. 1 Zusammensetzung der eingesetzten Herbizide.

Tab. 1 *Composition of the herbicides used.*

Handelsname	Wirkstoffe	Gehalt l/ha	Aufwandmenge (l/ha)	Wirkstoffmenge (g/ha)
Butisan®	Metazachlor	500	1,0-1,5	500-750
Spectrum®	Dimethenamid-P	720	0,7	500
Butisan® Kombi	Metazachlor	200	2,5	500
	Dimethenamid-P	200		500
Butisan® Gold	Metazachlor	200	2,5	500
	Dimethenamid-P	200		500
	Quinmerac	100		250
Tanaris®	Dimethenamid-P	333	1,5	500
	Quinmerac	167		250
Focus® Ultra	Cycloxydim	100	2,5	250
Kerb™ Flo	Propyzamid	400	1,875	750

Ergebnisse

Acker-Fuchsschwanz-Wirkung von Metazachlor und Dimethenamid-P als Soloprodukte

In Abbildung 1 sind alle Acker-Fuchsschwanz-Ergebnisse aus den vergangenen 20 Versuchsjahren (2000-2019), die mit den Soloprodukten Spectrum® und Butisan® ermittelt wurden, vergleichend dargestellt. Da für Spectrum®, das in keinem europäischen Land in Raps zugelassen ist, vor allem im Nachauflauf nur wenige Ergebnisse vorliegen, wurde auch Tanaris® dargestellt, das neben Dimethenamid-P das nicht Acker-Fuchsschwanz-wirksame Quinmerac enthält und somit stellvertretend für Spectrum® in Bezug auf Acker-Fuchsschwanz als Soloprodukt betrachtet werden kann. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass es sich um nicht-orthogonale Daten handelt, d.h. die Ergebnisse der einzelnen Produkte und Anwendungstermine kommen teilweise aus verschiedenen Versuchsjahren und von verschiedenen Versuchsstandorten. Dennoch lassen sich einige wichtige Trends erkennen:

- Im Vorauflauf sind die Wirkungsgrade höher als im Nachauflauf.
- Mit 750 g/ha Metazachlor ist die Wirkung höher als mit 500 g/ha Metazachlor
- Eine nachhaltige Acker-Fuchsschwanz-Bekämpfung mit Wirkungsgraden von >95 % wird nur in wenigen Fällen und am ehesten mit 750 g/ha Metazachlor im VA erreicht

- Dimethenamid-P ist bei gleicher Wirkstoffmenge pro Hektar (500 g) dem Metazachlor unterlegen, mit Wirkungsgraden von etwa 60 % ist die Acker-Fuchsschwanz-Leistung aber nennenswert.

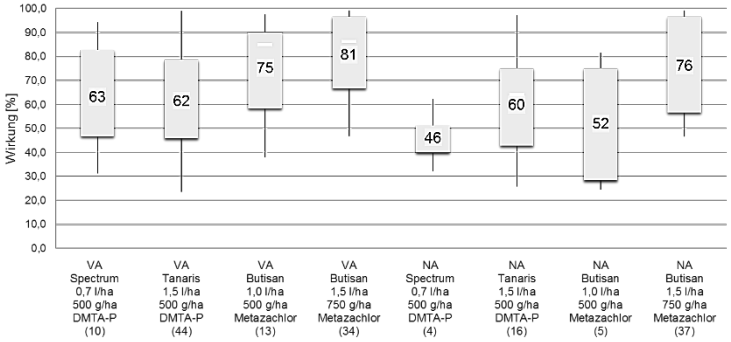


Abb. 1 Ergebnisse der Wirksamkeits-Boniturен von Dimethenamid-P- und Metazachlor-Soloprodukten gegen Acker-Fuchsschwanz in Winterraps im Vor- und Nachauflauf. Nicht-orthogonale Ergebnisse aus den Versuchsjahren 2000-2019.

Fig. 1 *Results of efficacy evaluations of applications of Dimethenamid-P and Metazachlor solo products against blackgrass at pre- and post-emergence of winter oilseed rape. Non orthogonal comparisons 2000-2019.*

Acker-Fuchsschwanz-Wirkung von Metazachlor und Dimethenamid-P bei kombinierter Anwendung

Butisan® Kombi mit 2,5 l/ha und Butisan® mit 1,5 l/ha können in 20 Versuchen im VA und 25 Versuchen im NA jeweils orthogonal miteinander verglichen werden (Abb. 2). Es zeigt sich, dass die durchschnittlichen Wirkungsgrade wie auch die Streuung der Einzelwerte bei beiden Produkten jeweils sehr ähnlich sind. In diesen Versuchen lagen die Wirkungsgrade gegen Acker-Fuchsschwanz auch im Nachauflauf im Durchschnitt kaum niedriger als im Vorauflauf. Allerdings ist die Streuung im Nachauflauf höher und damit die Wirkungssicherheit geringer.

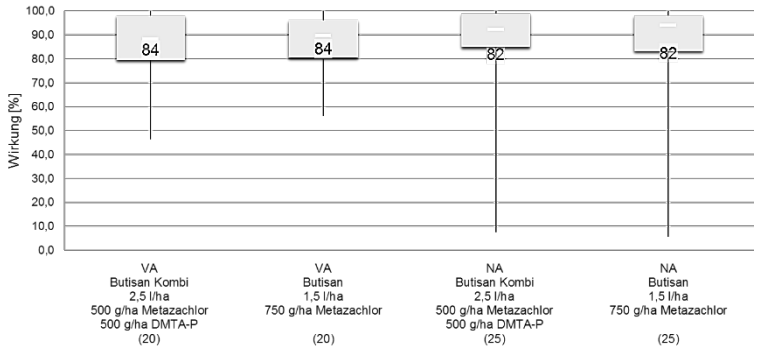


Abb. 2 Ergebnisse der Wirksamkeits-Boniturен von Butisan® Kombi und Butisan® gegen Acker-Fuchsschwanz in Winterraps. Im Vor- und Nachauflauf jeweils orthogonale Vergleiche. Versuchsjahre 2004-2015.

Fig. 2 *Results of efficacy evaluations of applications of Butisan® Kombi and Butisan® against blackgrass in winter oilseed rape. Orthogonal comparisons at pre- and post-emergence 2004-2015.*

Als wichtigstes Ergebnis kann man festhalten, dass die Verringerung der Metazachlor-Aufwandmenge von 750 g/ha (= 1,5 l/ha Butisan®) auf 500 g/ha durch die Zugabe von 500 g/ha Dimethenamid-P (= 2,5 l/ha Butisan® Kombi) hinsichtlich der Acker-Fuchsschwanz-Wirkung ohne Einbußen beim Wirkungsgrad und der Wirkungssicherheit kompensiert wird.

Lässt man dagegen Metazachlor ganz weg, so geht die Acker-Fuchsschwanz-Leistung deutlich zurück. Dies ist beim Vergleich von Butisan® Gold (2,5 l/ha) und Tanaris® (1,5 l/ha) erkennbar (Abb. 3). Der Wirkungsrückgang ist dabei mit nahezu 30 % im Vorauflauf höher als im Nachauflauf mit einem Minus von 20 %. Während man Butisan® Gold und Butisan® Kombi wie auch Butisan® insbesondere im Vorauflauf als Produkte mit Acker-Fuchsschwanz-Wirkung klassifizieren kann, weist Tanaris® nur eine Nebenwirkung gegen dieses Ungras auf. Allerdings ist diese mit jeweils etwa 60 % im Vor- und Nachauflauf nicht so stark vom Anwendungstermin abhängig wie bei reinen Metazachlor-Produkten.

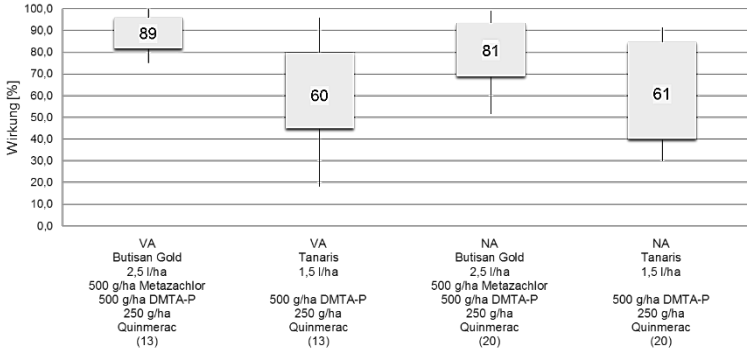


Abb. 3 Ergebnisse der Wirksamkeits-Bonituren von Butisan® Gold und Tanaris® gegen Acker-Fuchsschwanz in Winterraps. Im Vor- und Nachauflauf jeweils orthogonale Vergleiche. Versuchsjahre 2011-2017.

Fig. 3 *Results of efficacy evaluations of applications of Butisan® Gold and Tanaris® against blackgrass in winter oilseed rape. Orthogonal comparisons at pre- and post-emergence 2011-2017.*

Acker-Fuchsschwanz-Wirkung von Metazachlor-Herbiziden im System

Da alle Metazachlor-haltigen Rapsherbizide bei der Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz gewissen Schwankungen in Abhängigkeit von Jahr und Standort ausgesetzt sind, wurden auf Standorten mit besonders kritischen Anwendungsbedingungen, wie z.B. hoher Acker-Fuchsschwanzsamen-Vorrat, hoher Tongehalt der Böden, ausgetrocknete Böden, eine Versuchsserie mit Folgebehandlungen nach dem Einsatz von Butisan® Gold oder Butisan® Kombi angelegt. Abb. 4 zeigt, dass ausgehend von einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 76 % mit einem breiten Streubereich von ca. 50- 100 %, eine Nachbehandlung mit Focus® Aktiv-Pack (=Focus® Ultra + Dash® E.C.) eine Steigerung der Wirkung auf durchschnittlich 93% erreichen ließ, die sich aus 7 Ergebnissen im Bereich 98-100 % und einem Ergebnis mit 57 % zusammensetzt. Bei der Nachbehandlung mit Kerb™ Flo lagen alle Wirkungsgrade im Bereich 98-100 %, was einen Mittelwert von 99 % ergibt.

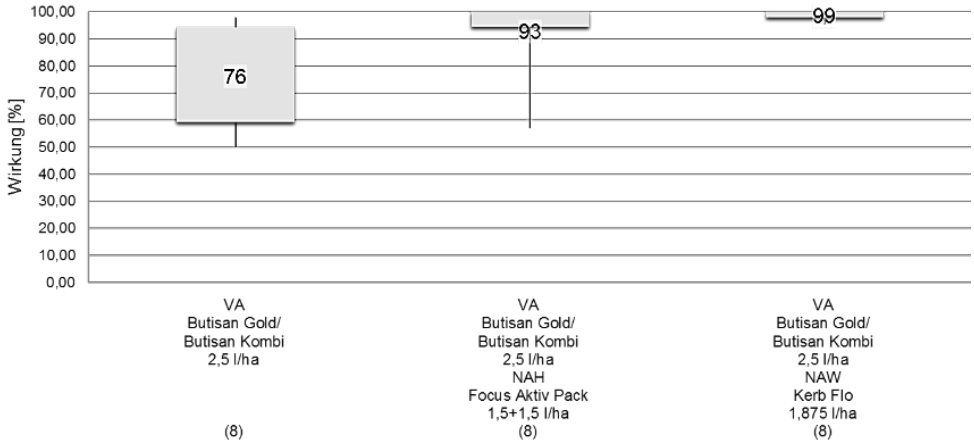


Abb. 4 Ergebnisse der Wirksamkeits-Bonituren von Spritzfolgen bestehend aus Butisan® Kombi bzw. Butisan® Gold im VA gefolgt von Focus® Aktiv-Pack oder Kerb™ Flo im Nachauflauf gegen Acker-Fuchsschwanz in Winterraps in den Versuchsjahren 2012-2014. Orthogonale Vergleiche.

Fig. 4 *Results of efficacy evaluations of spray sequences of Butisan® Kombi cv. Butisan® Gold followed by Focus® Aktiv-Pack or Kerb™ Flo. Orthogonal comparisons 2012-2014.*

Diskussion

Seit seiner Einführung Anfang der 1980er Jahre besitzt der Wirkstoff Metazachlor zur Unkrautbekämpfung in Winterraps einen sehr hohen Stellenwert. Neben einem breiten Spektrum zweikeimblättriger Unkräuter lassen sich mit Metazachlor auch Ungräser einschließlich Acker-Fuchsschwanz bekämpfen. Mit den in den Anfangsjahren zugelassenen Aufwandmengen von bis zu 1750 g/ha Metazachlor war eine zuverlässige Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz gegeben. Mit einer sukzessiven Rücknahme der maximal zulässigen Metazachlor-Aufwandmenge auf 1000 g/ha und inzwischen 750 g/ha und der freiwilligen Selbstbeschränkung auf 500 g/ha Metazachlor sowie der Zunahme des Acker-Fuchsschwanz-Besatzes auf vielen Flächen werden ausreichende Wirkungsgrade nur noch auf einem Teil der behandelten Flächen erzielt. Immer häufiger lassen sich Nachbehandlungen nicht umgehen.

Wie die Versuchsergebnisse aus den letzten 20 Jahren belegen, liegen die durchschnittlichen Wirkungsgrade gegen Acker-Fuchsschwanz bei Vorauflauf-Anwendung von 500 g/ha Metazachlor bei 75 % und von 750 g/ha bei etwas über 80 %. Im Nachauflauf sind die Wirkungsgrade geringer, insbesondere, wenn zum Anwendungszeitpunkt der Acker-Fuchsschwanz das Ein-Blatt-Stadium bereits erreicht oder gar überschritten hat. Dennoch gilt Metazachlor nach wie vor als der beste Wirkstoff zur frühen Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz. Alternativen Wirkstoffen zu Metazachlor aus der Wirkstoffklasse der Chloracetamide wird entweder gar keine oder nur eine deutlich geringere Wirksamkeit zugeschrieben. So wird die Nebenwirkung von Dimethenamid-P gegen Acker-Fuchsschwanz meist unterschätzt. Mit mindestens 60 % Wirkung sind 500 g/ha Dimethenamid-P im Handelsprodukt Tanaris® zwar schwächer als Metazachlor-Soloprodukte, dennoch kann dieser Wirkungsgrad als wertvoller Beitrag in Behandlungssystemen gegen Acker-Fuchsschwanz gewertet werden.

Der größte Nutzen von Dimethenamid-P bei der Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz lässt sich jedoch in Kombination mit reduzierten Metazachlor-Aufwandmengen erzielen, wie sie in den Produkten Butisan® Gold und Butisan® Kombi vertrieben werden. Wie die Ergebnisse zahlreicher Vergleichsversuche zeigen, liegt die Acker-Fuchsschwanz-Wirkung von Butisan® Gold und Butisan® Kombi im Vorauflauf nahezu immer im Bereich 80-100 %, im Nachauflauf im Durchschnitt etwas niedriger, je nach Entwicklungsstadium des Acker-Fuchsschwanzes zum Behandlungstermin. Die Kombination aus 500 g/ha Dimethenamid-P + 500 g/ha Metazachlor erwies sich hinsichtlich des

durchschnittlichen Wirkungsgrades und der Variabilität der Wirkung nahezu identisch zu Butisan® mit 750 g/ha Metazachlor. Oder anders ausgedrückt: Der Verlust an Wirksamkeit bei Rücknahme der Metazachlor-Aufwandmenge von 750 g/ha auf 500 g/ha wird bei der Acker-Fuchsschwanz-Bekämpfung durch die Kombination mit 500 g/ha Dimethenamid-P vollständig kompensiert.

Allerdings kann bei den meisten Anwendungen weder von 750 g/ha Metazachlor alleine noch von 500 g/ha Metazachlor + 500 g/ha Dimethenamid-P der Zielwert von 97-98 % Acker-Fuchsschwanz-Bekämpfung realisiert werden. Um den positiven Effekt von Winterraps als Vorfrucht zu Wintergetreide für die Verminderung des Acker-Fuchsschwanz-Besatzes zu nutzen, ist deshalb eine Nachbehandlung mit einem Graminizid erforderlich. Idealerweise erfolgt die Auswahl des Graminizids anhand des Resistenzstatus der Acker-Fuchsschwanz-Population (HENNE et al., 2018): Liegt keine Resistenz vor, wäre aufgrund der hohen Wirkungssicherheit ein FOP- oder DIM-Herbizid aus der Wirkstoff-Klasse der ACCase-Hemmer (HRAC-Gruppe A) die erste Wahl. Es empfiehlt sich allerdings, zur Acker-Fuchsschwanz-Bekämpfung im Raps generell auf FOP-Herbizide zu verzichten, um die im Getreide eingesetzten FOP- und DEN-Herbizide nicht durch eine Vorselektion metabolisch resistenter Biotypen in ihrer Wirksamkeit zu beeinträchtigen. Weist die Population metabolische Resistenz gegen ACCase-Hemmer auf, aber keine Wirkortresistenz, scheiden FOP-Herbizide ohnehin aus, DIM-Herbizide sind weiterhin wirksam. Wenn in der Population ACCase-Wirkort-Resistenz gefunden wurde, scheiden auch DIM-Herbizide aus und die Nachbehandlung muss ab Vegetationsende mit Propyzamid erfolgen. Ist der Resistenz-Status der Acker-Fuchsschwanz-Population nicht bekannt und wird keine Resistenz vermutet, kann zunächst ein DIM-Herbizid eingesetzt werden. Ist die Wirksamkeit nicht zufriedenstellend, kann dann mit Propyzamid nachbehandelt werden. In unseren Systemversuchen zeigte sich an einem der 8 Standorte eine Minderwirkung bei Focus® Aktiv-Pack von nur 57 %, während an den anderen 7 Standorten sehr hohe Wirkungsgrade erzielt wurden. Eine anschließend durchgeführte Resistenzanalyse ergab für den kritischen Standort tatsächlich eine ACCase-Wirkort-Resistenz. In der Praxis wäre hier eine Nachbehandlung mit Propyzamid erforderlich gewesen.

Die Verhinderung von Resistenzentwicklungen oder das Management bereits vorhandener Resistenzen ist das wichtigste Argument für den Einsatz von Chloracetamid-Herbiziden wie Butisan® Gold oder Butisan® Kombi gegen Acker-Fuchsschwanz im Winterraps. Liegen bereits Resistenzen gegen ACCase-Herbizide vor, steht nur noch Propyzamid zur Verfügung. Bedingt durch den späten Einsatztermin ist Propyzamid allerdings mit Acker-Fuchsschwanz, der sich bis zum Vegetationsende ungehemmt entwickeln konnte, überfordert. Auch die für Propyzamid benötigten Witterungskonstellationen (kalt, nass) treten nicht in jedem Herbst in gleicher Weise auf (AUGUSTIN und HÜSGEN, 2018). Die mit Butisan® Gold und Butisan® Top in den meisten Versuchen erzielten Wirkungsgrade von wenigstens 80-85 % bieten die Gewähr, dass die so ausgedünnten und geschwächten Acker-Fuchsschwanz-Populationen von den Folgebehandlungen, insbesondere wenn Propyzamid zum Einsatz kommen muss, so gut erfasst werden, dass eine Samenneubildung in der Kultur Winterraps weitestgehend unterbleibt.

Neben den bereits genannten Vorteilen trägt die Reduzierung der Metazachlor-Menge für den Wirkstofferhalt bei. Seit ca. 36 Jahren wird dieses Schlüsselherbizid in hohem Umfang in Raps eingesetzt mit der Konsequenz, dass gelegentlich nicht relevante Metaboliten im Grundwasser gefunden werden. Um regulatorische Einschränkungen im Einsatz zu vermeiden, erfordert es einen standortgerechten Einsatz von Metazachlor-haltigen Produkten. Eine Senkung der Aufwandmenge auf maximal 500 g/ha Metazachlor reduziert automatisch die Menge nicht relevanter Metaboliten und trägt dazu bei, das „Risiko" möglicher Versickerungen ins Grundwasser zu minimieren. Eine Anwendung nach dem 15. Oktober und keine Anwendung vor absehbaren/ angekündigten Starkniederschlagsereignissen helfen zusätzlich, die Gefahr von Funden im Drainagewasser und Oberflächengewässer deutlich zu senken. Bei zugelassener Aufwandmenge haben ältere Metazachlor-basierte Produkte 750 g/ha Metazachlor, in den Kombi-Produkten Butisan® Gold und Butisan® Kombi beträgt die Aufwandmenge maximal 500 g/ha Metazachlor. Das sind 34 % weniger Metazachlor pro Hektar. Die Leistung der Kombi-Produkte ist bei der reduzierten Metazachlor-

Menge gegenüber reinen Metazachlor-haltigen Produkten mit höherer Metazachlor-Menge gegen Acker-Fuchsschwanz gleichwertig, bei den meisten anderen Unkräutern überlegen.

Literatur

AUGUSTIN, B., K. HÜSGEN, 2018: Effektivität von Propyzamid als Maßnahme zur Minderung des Selektionsdruckes auf ACCase-Hemmer bei Acker-Fuchsschwanz im Winterraps. Julius-Kühn-Archiv **458**, 76-81.

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).

HENNE, U., M. LANDSCHREIBER, C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2018: Entwicklung nachhaltig wirkender Methoden zur Bekämpfung von Acker-FUCHSSCHWANZ (*Alopecurus myosuroides* Huds.). Julius-Kühn-Archiv **458**, 121-132.

ULBER, L., 2018: Herbizidresistenz auf deutschen Betrieben: Wie schätzen Landwirte das Resistenzrisiko und die Wirksamkeit von Anti-Resistenzstrategien ein? Julius-Kühn-Archiv **458**, 87-93.

COLZOR® UNO FLEX - Ein flexibler Baustein zur nachhaltigen Unkrautbekämpfung in Raps

COLZOR® UNO FLEX – A flexible element for sustainable weed control in oilseed rape

Martin Schulte*, Christoph Krato

Syngenta Agro GmbH, Am Technologiepark 1-5, 63477 Maintal, Deutschland
*Korrespondierender Autor, martin.schulte@syngenta.com

DOI 10.5073/jka.2020.464.019

Zusammenfassung

Zum Einsatz im Vor- oder sehr frühen Nachauflauf dominieren Residualwirkstoffe aus der Gruppe der Chloracetamide den Herbizideinsatz in Winterraps aufgrund ihrer Wirkungsbreite, Kulturverträglichkeit, Wirkungsdauer und Kombinationsfähigkeit. Dimethachlor als einer von vier in Raps zugelassenen Vertretern dieser Gruppe ist in Deutschland seit über 20 Jahren bekannt als Bestandteil von Kombinationspräparaten für den ausschließlichen Vorauflaufeinsatz. Mit einer zugelassenen Aufwandmenge von 1‘000 g/ha steht Dimethachlor als Alleinformulierung seit 2019 als COLZOR® UNO FLEX auch für den Einsatz im frühen Nachauflauf in Winterraps zur Verfügung. Dimethachlor erfasst viele wichtige Rapsunkräuter und einige einjährige Ungräser. Dimethachlor zeichnet sich durch eine vergleichsweise hohe Wasserlöslichkeit und einen raschen Wirkstoffabbau im Boden zu nicht-relevanten Metaboliten aus. Zum Schutz des Grundwassers wird eine Verringerung der Aufwandmenge auf 750 g/ha in Karstgebieten mit geringer Oberbodenauflage, auf grundwassernahen Standorten sowie auf leichten, durchlässigen Sandböden empfohlen. Wirkungsschwächen oder –inkonsistenzen beim Einsatz von weniger als 1000 g/ha Dimethachlor können mit Mischpartnern gegen spezifische Verunkrautung gezielt im Vor- oder Nachauflauf überwunden werden. COLZOR® UNO FLEX bietet auch die Möglichkeit eines Wirkstoffwechsels mit einer residualen Komponente bei der frühen Unkrautbekämpfung in Winterraps. Sein Einsatz ist insbesondere dort angebracht, wo Tankmischungen oder Spritzfolgen dem Einsatz von Komplettlösungen z. B. aufgrund von Abstandsauflagen oder dem Bedarf nach erweiterter zeitlicher Anwendungsflexibilität von Alternativwirkstoffen vorgezogen werden. Zur Ergänzung gegen Wirkungslücken oder -schwächen ist COLZOR® UNO FLEX mischbar mit allen für den frühen Einsatz geeigneten Partnern.

Stichwörter: Dimethachlor, Grundwasserschutz, Nachauflauf, Unkrautbekämpfung, Vorauflauf, Winterraps

Abstract

Residual active ingredients from the group of chloroacetamides for pre- or very early post-emergence use dominate herbicide usage in winter oilseed rape due to their weed spectrum, crop tolerance, duration of activity and tank mixture compatibility. Dimethachlor, one of four representatives of this group registered for use in winter oilseed rape, has been known in Germany for over 20 years as a component of premix formulations for pure pre-emergence application. With a registered use rate of 1’000 g/ha, dimethachlor as a single formulation is available in Germany since 2019 as COLZOR® UNO FLEX also for use in early post-emergence applications. Dimethachlor controls many important broad-leaved weeds and some annual grasses in winter oilseed rape. Dimethachlor is characterized by comparatively high water solubility and a rapid degradation in the soil to non-relevant metabolites. In order to protect groundwater, it is recommended to reduce the application rate to 750 g/ha in karst areas with shallow topsoil, on sites close to groundwater and on light, permeable sandy soils. Weaknesses or inconsistencies in the use of less than 1000 g/ha of dimethachlor can be overcome with mixing partners against specific weeds in pre- or post-emergence uses. COLZOR® UNO FLEX also offers the possibility of a change of active ingredients with a residual component in early weed control in winter oilseed rape. Its use is particularly appropriate where tank mixtures or spray sequences are preferred over complete solutions, e.g. due to buffer restrictions or to extend application timing-flexibility. For complementation of weed control gaps or weaknesses, COLZOR® UNO FLEX can be mixed with all suitable partners for early weed control in winter oilseed rape.

Key words: Dimethachlor, groundwater protection, weed control, winter oilseed rape

Einleitung

Die Unkrautbekämpfung im deutschen Winterrapsanbau erfolgte im zurückliegenden Erntejahr auf etwa 93 % der Anbaufläche mittels Herbiziden (KLEFFMANN Group, 2019). Innovationen kulturselektiver Wirkstoffe zur Unkraut- und Ungrasbekämpfung in Raps beschränkten sich in den vergangenen zwei Dekaden im Wesentlichen auf Komplementärwirkstoffe für Herbizidresistenzsysteme und Auxin-Agonisten gegen nach der Anwendung auflaufende Arten. Da

jeder der zugelassenen Wirkstoffe nur ein unvollkommenes Wirkungsspektrum erfasst, kann eine breit wirksame Bekämpfung der in Winterraps vorherrschenden Unkrautflora nur mittels Kombination verschiedener Wirkstoffe und/oder Anwendungstermine erfolgen. Tankmischungen und Spritzfolgen werden vom Anwender gegenüber Komplettlösungen deutlich bevorzugt (KLEFFMANN Group, 2019).

Aufgrund ihrer Wirkungsbreite, Kulturverträglichkeit und Kombinationsfähigkeit dominieren Chloracetamide im Vorauflauf oder sehr frühen Nachauflauf den Herbizideinsatz in Raps. Sie hemmen Elongase-Enzyme zur Synthese sehr langkettiger Fettsäuren (*very-long-chain fatty acids*, *VLCFA*), was sich in empfindlichen Unkräutern nach Störung der Bildung der Zellmembranen als Hemmung der Zellteilung äußert (Tab. 1). Aus dieser Gruppe ist Dimethachlor in Deutschland seit 20 Jahren bekannt als Bestandteil von BRASAN® und seit 2008 von COLZOR® TRIO. Seit der Herbstsaison 2019 steht es als Alleinformulierung COLZOR® UNO FLEX erstmalig mit einer zugelassenen Aufwandmenge von 2,0 l/ha auch in Deutschland zum Einsatz nicht nur im Vor-, sondern auch im frühen Nachauflauf in Winterraps zur Verfügung. Dimethachlor unterscheidet sich von anderen rapsselektiven Chloracetamiden in der Wasserlöslichkeit, zeichnet sich aber auch durch einen vergleichsweise raschen Wirkstoffabbau im Boden aus (Tab. 1).

Tab. 1 In Deutschland zugelassene Chloracetamide zur kulturselektiven Anwendung in Winterraps. (BVL; Pesticide Properties Database, http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm).

Tab. 1 *Chloroacetamide herbicides registered in Germany for crop-selective use in winter oilseed rape (BVL; Pesticide Properties Database, http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm).*

Wirkstoff	**Dimethachlor**	**Metazachlor**	**Pethoxamid**	**Dimethenamid-P**
Wirkungsmechanismus nach HRAC (2019)	Zellteilungs-hemmer K3	Zellteilungs-hemmer K3	Zellteilungs-hemmer K3	Zellteilungs-hemmer K3
Aufnahme	Keimblätter, Keimscheide, Keimwurzeln	Keimblätter, Keimscheide, Keimwurzeln	Keimblätter, Keimscheide, Keimwurzeln	Keimblätter, Keimscheide, Keimwurzeln
Dampfdruck @ 25 °C	0,64 mPa	0,093 mPa	0,34 mPa	2,5 mPa
Wasserlöslichkeit @ 20 °C	2300 mg/l	450 mg/l	400 mg/l	1450 mg/l
Log P_{ow} @ pH 7, 20 °C	2,17	2,49	2,96	1,89
Adsorptionskonstante K_{oc}	70 ml/g	134 ml/g	154 ml/g	139 ml/g
Halbwertszeit im Boden @ 20 °C	3,2 Tage Feld 7,3 Tage Labor	6,8 Tage Feld 15,6 Tage Labor	14,2 Tage Feld 6,1 Tage Labor	7 Tage Feld 23 Tage Labor
Auflagen zum Grundwasserschutz in Raps	Max. 1000 g/ha alle drei Jahre	Max. 750 g/ha alle drei Jahre	Max. 1200 g/ha alle drei Jahre. Nicht auf drainierten Flächen	-

Material und Methoden

Produkte

Das Rapsherbizid COLZOR UNO FLEX wurde als Emulsionskonzentrat mit 500 g Dimethachlor je Liter eingesetzt. Die zugelassene Aufwandmenge beträgt 2,0 l/ha, was einem Wirkstoffaufwand von 1000 g/ha entspricht. Als Vergleichspräparat diente Metazachlor formuliert als Suspensionskonzentrat mit 500 g/l und der zugelassenen Aufwandmenge 1,5 l/ha. Alle Herbizide wurden als formulierte Handelsware mit praxisüblichen Flachstrahl-Düsen in einem Wasseraufwand von 200 - 300 l/ha mit fahrbaren Kleinparzellen- oder Rückentragespritzen appliziert.

Feldversuche zur Wirksamkeit und Kulturverträglichkeit

Wirksamkeit und Kulturverträglichkeit von COLZOR UNO FLEX wurden in Rapsanbauländern der maritimen EPPO-Zone (Großbritannien, maritimes Frankreich, Deutschland, Österreich) in Feldversuchen in den Jahren 2007 bis 2011 im Rahmen der Zulassung (unter GEP-Bedingungen)

und 2017 bis 2018 zur Erarbeitung von Anwendungskonzepten im Vor- und Nachauflauf geprüft. Die Gesamtheit der Versuchsjahre umfasste einen repräsentativen Querschnitt der regionalen Schwankung von niederschlagsarmen bis hin zu niederschlagsreichen Einsatzbedingungen im Herbst, während das Versuchsjahr 2018 mit Fragestellungen zur kommerziellen Anwendung durch ungewöhnliche Trockenheit geprägt war. Alle Wirksamkeits- und Verträglichkeitsversuche wurden mit jeweils drei oder vier Wiederholungen und einer Parzellengröße von 12–25 m^2 im voll randomisierten Blockdesign angelegt. Die Applikation erfolgte entweder im Vorauflauf oder im frühen Nachauflauf von Raps und Unkräutern bis zum Raps-Stadium BBCH 14 (schwerpunktmäßig bis Unkraut-Stadium BBCH 10-12). Zur Erfassung der Wirkungsgrade wurden die Reduktion des Unkrautaufwuchses sowie die Rapsverträglichkeit als Gesamt-Phytotoxizität und Ausdünnung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle vor und nach der Vegetationsruhe visuell bonitiert.

Ergebnisse

Wirksamkeit im Vor- und frühen Nachauflauf

Aufgrund bestehender Zulassungen und langjähriger kommerzieller Anwendung von Dimethachlor-Präparaten im benachbarten europäischen Ausland liegt eine größere Anzahl von Ergebnissen zur Wirksamkeit im Vorauflauf vor, während die Anwendung im frühen Nachauflauf erst seit jüngerer Zeit Prüfgegenstand ist (Tab. 2). Unter den in Winterraps vorherrschenden Ungräsern werden Windhalm und Einjähriges Rispengras mit 1000 g/ha Dimethachlor zuverlässig im Vorauflauf erfasst, während gegen Ackerfuchsschwanz nur eine Teilwirkung erzielt wird. Unter den dikotylen Arten fällt die hohe Bekämpfungsleistung gegen Kamille-Arten, Hirtentäschelkraut, Vogel-Sternmiere und Ehrenpreis-Arten auf. Hervorzuheben ist trotz einer gewissen Variabilität auch die hohe bis ausreichende Wirksamkeit gegen Storchschnabel-Arten sowie eine beachtliche, wenngleich variable Teilwirkung gegen Rauke-Arten (*Sisymbrium* spp.) (Tab. 2, Tab. 5).

Verglichen mit den nach Vorauflaufanwendung erzielten Ergebnissen zeigt der Einsatz von COLZOR UNO FLEX im frühen Nachauflauf gegen einige Arten eine erhöhte Variabilität des Bekämpfungserfolges. Bei frühzeitiger Anwendung während der Auflaufphase ist unter Berücksichtigung des Aufnahme- und Wirkungsmechanismus jedoch keine grundsätzlich verschiedene Empfindlichkeit im Vergleich zum reinen Vorauflauf zu erkennen. Einjähriges Rispengras, Windhalm, Taubnessel, Ehrenpreis, Kamille-Arten und Vogel-Sternmiere gehören auch im frühen Nachauflauf zu den am empfindlichsten reagierenden Arten. Eine orthogonale Versuchsserie mit drei vom Vor- bis zum frühen Nachauflauf gestaffelten Anwendungsterminen (nicht dargestellt) ergab im geprüften Anwendungszeitraum mit zunehmender Verzögerung des Anwendungstermins einen Trend zu abnehmendem Bekämpfungserfolg.

Nachwinterbonituren vor Vegetationsbeginn im Frühjahr (nicht dargestellt) bestätigen, dass trotz vergleichsweise kurzer Halbwertszeit des Wirkstoffs im Boden in der Regel eine ausreichende Wirksamkeit bis zum Bestandesschluss des Rapses gegeben ist.

Kulturverträglichkeit im Vor- und frühen Nachauflauf

Die Kulturverträglichkeit von COLZOR UNO FLEX erwies sich im Vor- und frühen Nachauflauf als sehr gut (Tab. 3). Sowohl Phytotoxizitätsbonituren als auch Ertragsergebnisse (nicht dargestellt) bestätigen eine dem Vergleichsprodukt Metazachlor analoge gute Verträglichkeit (Tab. 4). Nach Vorauflaufanwendung traten in 27 von 29 Wirksamkeitsversuchen (verunkrautet)- sowie allen 9 Verträglichkeitsversuchen (unkrautfrei bzw. -arm) keinerlei deutlich sichtbare (≥ 5 %) Phytotoxizität auf. Lediglich ein Versuch im Val de Loire in Frankreich zeigte nach mehreren aufeinander folgenden Starkregenereignissen im Herbst 2006 bis Ende Oktober beobachtbare Aufhellungen und Wuchshemmungen, die jedoch beim Vergleichsstandard Metazachlor mit der geprüften Aufwandmenge von 750 g/ha noch etwas höher ausfielen.

Die ausgezeichnete Verträglichkeit von COLZOR UNO FLEX im Nachauflauf erklärt sich auch durch das Aufnahmeverhalten des Wirkstoffs: je weiter die Rapsentwicklung fortschreitet, umso weniger Wirkstoff wird über den Spross der Kulturpflanzen aufgenommen.

Tab. 2 Bekämpfungserfolge nach Vor- und früher Nachauflaufanwendung von COLZOR UNO FLEX in Winterraps (% visuelle Reduktion Biomasse). Deutschland, Österreich, Tschechien, maritimes Frankreich, Großbritannien, 2001, 2007-2010.

***Tab. 2** Weed control results after pre- and early post-emergence application of 2.0 l/ha Colzor Uno Flex in winter oilseed rape (% visual reduction of biomass). Germany, Austria, Czechia, maritime France, Great Britain, 2001, 2007-2010.*

	COLZOR UNO FLEX 2,0 l/ha im Vorauflauf Herbst-Bonitur			**COLZOR UNO FLEX 2,0 l/ha im frühen Nachauflauf Herbst-Bonitur**		
	Anzahl Ergebnisse	**Mittelwert**	**Streuung (Min.-Max.)**	**Anzahl Ergebnisse**	**Mittelwert**	**Streuung (Min.-Max.)**
Alopecurus myosuroides	3	65,2	50 - 94	2	60,2	49 – 72
Apera spica-venti	4	99,5	98 - 100	2	89,7	83 - 96
Poa annua	2	100	100 -100	1	99	
Anagallis arvensis	1	100				
Anthemis arvensis	1	99		1	91	
Capsella bursa-pastoris	10	94,1	73 - 100	3	63,3	33 - 80
Cardamine hirsuta	1	92				
Cerastium glomeratum	1	100				
Chenopodium album	4	84,4	70 - 100	1	90	
Cyanus segetum	1	90		1	87	
Fallopia convolvulus	2	92,2	84- 100			
Fumaria officinalis	1	98				
Galium aparine	3	77,1	53 - 98	2	64,2	53 - 75
Geranium spp.	5	92,0	68 - 100	2	77,5	62 - 93
Lamium spp.	9	93,5	77 - 100	2	100	100 - 100
Matricaria spp.	12	92,3	48 - 100	5	75.9	43 - 98
Mercurialis annua	1	97				
Myosotis arvensis	2	100	100 - 100			
Papaver rhoeas	6	71,5	30 – 97	1	33	
Rumex spp.	2	97,7	95 - 100			
Silybum marianum	1	70				
Sinapis arvensis	1	84				
Sisymbrium officinale	2	76,7	70 – 83	1	42	
Solanum nigrum	1	97				
Sonchus spp.	3	91,1	75 – 100	1	100	
Stellaria media	10	89,1	50 - 100	3	79,0	50 - 95
Veronica spp.	13	94,4	83 - 100	2	99,2	98 - 100
Viola arvensis	12	59,2	20 - 100	4	43,8	30 - 63

Wirkungsumfang mit Kombinationspartnern

In Winterraps häufig vorkommende Arten, die von COLZOR UNO FLEX nicht ausreichend oder unter der Vielfalt der Umweltbedingungen im Zeitraum von der Saat bis zum 4-Blatt-Stadium des Rapses nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit erfasst werden, erfordern den zusätzlichen Einsatz eines geeigneten Partnerherbizids in Tankmischung oder in einer Spritzfolge. Ergebnisse ausgewählter Tankmischungen aus der Herbstsaison 2018 finden sich in Tabelle 5. Die in mehreren Versuchsserien der Jahre 2016-2018 erzielten Ergebnisse zu Kombinationen auf Basis von COLZOR UNO FLEX und Partnerherbiziden sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tab. 3 Kulturverträglichkeit von COLZOR UNO FLEX nach Vor- und früher Nachauflaufanwendung der einfachen Aufwandmenge in Winterraps (Gesamtphytotoxizität in % visuelle Reduktion Biomasse); Vorauflauf, Deutschland, Österreich, maritimes Frankreich, Großbritannien, 2005-2009; Nachauflauf; Deutschland, Österreich, 2008.

Tab. 3 *Crop tolerance of COLZOR UNO FLEX after pre-emergence and early post-emergence application of 1x target rate in winter oilseed rape (general phytotoxicity in % visual biomass reduction); pre-emergence, Germany, Austria, maritime France, Great Britain, 2005-2009; post-emergence, Germany, Austria, 2008.*

	COLZOR UNO FLEX 2,0 l/ha Erste Herbstbonitur ca. 10-30 Tage nach 1. Applikation			**COLZOR UNO FLEX 2,0 l/ha letzte Herbstbonitur vor Vegetationsruhe**		
	Anzahl Ergebnisse	**Mittelwert**	**Streuung (Min.-Max.)**	**Anzahl Ergebnisse**	**Mittelwert**	**Streuung (Min.-Max.)**
Allgemeine Phytotoxizität nach Anwendung im Vorauflauf	38	1,59	0 – 23,3	38	2,78	0 - 70
Allgemeine Phytotoxizität nach Anwendung im frühen Nachauflauf	9	0,0	0	9	0,0	0 - 2

Tab. 4 Vergleichende Kulturverträglichkeit von COLZOR UNO FLEX in Winterraps nach Vor- und früher Nachauflaufanwendung (Gesamtphytotoxizität in % visuelle Reduktion Biomasse); Deutschland, Österreich, 2008.

Tab. 4 *Comparative crop tolerance of COLZOR UNO FLEX in winter oilseed rape after pre-emergence and early post-emergence application (general phytotoxicity in % visual biomass reduction); Germany, Austria, 2008.*

	COLZOR UNO FLEX 2,0 l/ha Erste Herbstbonitur ca. 13-24 Tage nach 1. Applikation			**Metazachlor 750 g/ha Erste Herbstbonitur ca. 13-24 Tage nach 1. Applikation**		
	Anzahl Ergeb-nisse	**Mittelwert**	**Streuung (Min.-Max.)**	**Anzahl ergebnisse**	**Mittelwert**	**Streuung (Min.-Max.)**
Allgemeine Phytotoxizität nach Anwendung im Vorauflauf	9	0,15	0 - 1	9	0,30	0 - 2
Allgemeine Phytotoxizität nach Anwendung im frühen Nachauflauf	9	0,0	0 - 0	9	0,0	0 - 0

Nachbau

Dimethachlor besitzt nur ein geringes Schädigungspotenzial an ackerbaulichen Nachbaukulturen in üblichen Rapsfruchtfolgen. Diese Eigenschaft in Verbindung mit dem vergleichsweise raschen Bodenabbau (Tab. 1) ermöglicht hohe Freiheitsgrade beim Nachbau. Nach vorzeitigem Umbruch behandelter Winterrapsflächen vor Wintereinbruch können mit vorgängiger tief mischender Bodenbearbeitung alle ackerbaulichen Kulturen nachgebaut werden. Dies schließt neben Wintergetreide auch eine erneute Ansaat von Winterraps noch in der gleichen Herbstsaison ein. Erfolgt ein vorzeitiger Umbruch behandelter Flächen im Frühjahr, ist der Nachbau von Sommergetreide oder Sommerraps, Futtergräsern, Sonnenblumen und Zuckerrüben nach tief wendender, der Nachbau von Erbsen, Ackerbohnen, Mais und Kartoffeln auch nach flacher Bodenbearbeitung möglich.

Tab. 5 Bekämpfungserfolge ausgewählter Tankmischungen mit COLZOR UNO FLEX zur Anwendung im Vor- und frühen Nachauflauf in Winterraps (% visuelle Reduktion Biomasse, Herbstbonitur; n = Anzahl Ergebnisse). Deutschland, 2018.

***Tab. 5** Weed control results of selected tankmixtures of COLZOR UNO FLEX for pre- and early post-emergence application in winter oilseed rape (% visual reduction of biomass, fall assessment; n = no. of results). Germany 2018.*

		COLZOR UNO FLEX 1,5 l/ha im Vorauflauf	**COLZOR UNO FLEX 1,5 l/ha + Clomazone + Pendimethalin 90 + 228 g/ha im Vorauflauf**	**COLZOR UNO FLEX 1,5 l/ha + Metazachlor + Quinmerac 563 g/ha + 188 g/ha im Vorauflauf**	**COLZOR UNO FLEX 1,5 l/ha + Aminopyralid + Picloram + Clopyralid 8 + 16 + 48 g/ha im frühen Nachauflauf**
	n	**Mittelwert**	**Mittelwert**	**Mittelwert**	**Mittelwert**
Capsella bursa-pastoris	4	80,75	91,0	92,7	76,3
Chenopodium album	2	94,7	95,3	98,7	98,8
Cyanus segetum	3	49,4	57,8	64,4	95,6
Fumaria officinalis	1	96	92	98	98
Lamium purpureum	3	74,5	75,0	96,1	75,6
Matricaria chamomilla	5	89,0	98,9	98,9	100
Papaver rhoeas	1	20	97	30	23
Sisymbrium officinale, S. sophia	2	91,7	96,7	94,1	88,3
Stellaria media	4	89,8	99,8	99,8	78,7
Veronica hederifolia	2	83,3	90,2	100	97,5
Viola arvensis	5	53,7	61,4	81,3	78,7
Ausfallweizen	5	32,7	33,3	39,0	31,0

Tab. 6 Unkrautprobleme, die mit Kombinationen aus COLZOR UNO FLEX und Partnerherbiziden bei unterschiedlichen Anwendungsterminen gelöst werden können.

***Tab. 6** Weed targets controlled by COLZOR UNO FLEX and partner herbicides at various application timings.*

Zielverunkrautung	**Vorauflauf, Tankmischung aus 1.5 l/ha COLZOR UNO FLEX und Mischpartner**	**Früher Nachauflauf, Tankmischung, aus 1.5 l/ha COLZOR UNO FLEX und Mischpartner**	**Spritzfolge, 1.5 l/ha COLZOR UNO FLEX im Vorauflauf, gefolgt von Partnerherbizid im Nachauflauf**
Ausfallgetreide, Ungräser			Graminizide vom Typ FOP, DIM
Rauke-Arten u. a. Kreuzblütler, Kletten-Labkraut	Clomazone		
Kamille, Mohn, Kornblume, Leguminosen, Stiefmütterchen		Aminopyralid, Clopyralid, Picloram	Aminopyralid, Clopyralid, Picloram
Ackerkrummhals, Ochsenzunge, Mohn		Pendimethalin	
Kletten-Labkraut, Schierling, Hunds-petersilie, -kerbel		Quinmerac	Quinmerac
Storch- und Reiherschnabel	Dimethenamid-P +/- Quinmerac	Dimethenamid-P +/- Quinmerac	
Mischverunkrautung in wassersensitiven Gebieten zur Vermeidung „lokaler Wirkstoffübernutzung“	Dimethenamid-P +/- Quinmerac	Dimethenamid-P +/- Quinmerac	Dimethenamid-P +/- Quinmerac

Diskussion

Die Aufnahme von Dimethachlor vorwiegend über Hypokotyl und Keimspross in Verbindung mit nur geringer innerpflanzlicher Translokation erlaubt eine Anwendung vom Vor- bis zum sehr frühen Nachauflauf der Zielflora. Um eine ausreichende Wirkstoffaufnahme durch keimende Schadpflanzen aus dem Boden zu gewährleisten, sind Anwendungen jenseits des Vier-Blatt-Stadiums der Unkräuter (und des Rapses) nicht mehr sinnvoll. Der Vergleich des Wirkungsspektrums der Vorauflauf- und der Nachauflaufanwendung ergibt dementsprechend eine grundsätzliche Vergleichbarkeit der Empfindlichkeit wichtiger Arten, solange eine ausreichende Wirkstoffaufnahme der Keimlinge aus dem Boden erfolgen kann. Für die Kulturverträglichkeit des Wirkstoffs gilt Gleiches wie für die Wirksamkeit: nach Vorauflaufanwendung können Starkregenereignisse eine erhöhte Wirkstoffaufnahme über die Wurzel ermöglichen, die im Einzelfall zu vorübergehenden Wuchshemmungen und Aufhellungen führen kann. Mit fortschreitendem Wachstumsstadium der Kultur verringert sich die Blattaufnahme des Wirkstoffs, begleitet von entsprechend guter Kulturverträglichkeit.

Nach Absenkung der Aufwandmenge im Rahmen der Wiederaufnahme in Annex I der EU-Pflanzenschutzrichtlinie von ehemals 1500 g/ha auf 1000 g/ha eignet sich Dimethachlor unverändert als breit wirksame Basiskomponente mit Boden-Dauerwirkung für die Bekämpfung wichtiger Ungräser und Unkräuter im Winterrapsanbau. Die Neuzulassung zum Einsatz auch für den frühen Nachauflauf erweitert dabei die zeitliche Anwendungsflexibilität deutlich. Dies gilt nicht nur für den infrage kommenden Anwendungszeitraum, sondern viel mehr noch für die Kombination mit Partner-Herbiziden, indem statt der bisherigen Spritzfolgen im Vor- und Nachauflauf nun auch Tankmischungen mit nur einmaliger Überfahrt im frühen Nachauflauf möglich sind.

Aufgrund der überwiegenden Aufnahme von Dimethachlor aus dem Boden kann die hohe Variation von Umweltfaktoren wie Bodenart, Bodenfeuchte, Wirkstoffadsorption und Keimtiefe der Zielunkräuter die Wirksamkeit stark beeinflussen. Daher ermöglichen hohe Aufwandmengen eines residual wirksamen Herbizids auch eine höhere Wirkungssicherheit. Die mit der Wiederaufnahme in Annex I der EU-Pflanzenschutzrichtlinie verbundene Einschränkung, Dimethachlor mit maximal 1000 g/ha nur alle drei Jahre auf der gleichen Fläche einzusetzen, schränkt zwar das Wirkungsspektrum nur unwesentlich ein, führt aber zu einer höheren Variabilität der Wirkungsgrade. Eine Anwendung mit ausreichend hoher Wasseraufwandmenge auf feuchten und feinkrümeligen Boden gezielt in die Keim- und Auflaufphase der Unkräuter kann jedoch unverändert hohe Bekämpfungsergebnisse auf ein breites Unkrautspektrum erreichen. Zur Wirkungsabsicherung unter ungünstigeren Umweltbedingungen sowie gegen nicht ausreichend bekämpfbare Arten empfehlen sich Kombinationen mit Partnerherbiziden (Tab. 6).

Eine Verringerung der zugelassenen Dimethachlor-Aufwandmenge von 1000 auf 750 g/ha wird von Syngenta in Karstgebieten mit geringer Oberbodenauflage, auf grundwassernahen Standorten mit weniger als 3 m Flurabstand zum Grundwasser sowie auf leichten, durchlässigen Sandböden empfohlen, um das Eintragspotenzial von Dimethachlor und Metaboliten in Grundwasser so gering wie möglich zu halten. In solchen Situationen sind Mischpartner unerlässlich, um weniger empfindliche Arten mit ausreichenden Wirkungsgraden zu erfassen und die Wirkungssicherheit auf Arten mit hoher Variation der Bekämpfbarkeit zu steigern. Tankmischversuche ergaben eine gute Kombinierbarkeit von 1,5 l/ha COLZOR UNO FLEX mit allen geeigneten Partnern zur Bekämpfung einer spezifischen Zielverunkrautung in Winterraps.

COLZOR UNO FLEX bietet damit die Möglichkeit eines Wirkstoffwechsels unter Beibehaltung der residualen Wirkungskomponente bei der frühen Unkrautbekämpfung in Winterraps. Sein Einsatz empfiehlt sich insbesondere dort, wo an lokale Gegebenheiten angepasste Tankmischungen und Spritzfolgen dem Einsatz von Komplettlösungen z. B. aufgrund ungünstiger Anwendungsauflagen oder erweiterter zeitlicher Anwendungsflexibilität bis zum Nachauflauf vorgezogen werden. Bei der frühen Unkrautbekämpfung in Winterraps mit boden- oder blattwirksamen Herbiziden ermöglicht die Ergänzung mit COLZOR UNO FLEX eine Absicherung gegen Wirkungsschwächen oder -lücken mit einer Wirkungsdauer bis über das Vegetationsende hinaus.

Literatur

HRAC, 2019: Herbicide Resistance Action Committee: The World of Herbicides, http://www.hracglobal.com; letzter Aufruf 2. Oktober 2019.
KLEFFMANN GROUP, 2019: AMIS® Crop Protection Report Oil Seed Rape, Panel Erntejahr 2019. Kleffmann Marktforschung, Lüdinghausen.

Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben ohne die Wirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham

Weed control in sugar beet without the active substances desmedipham and phenmedipham

Daniel Laufer*, Erwin Ladewig

Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstraße 77, 37079 Göttingen
*Korrespondierender Autor, Laufer@ifz-goettingen.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.020

Zusammenfassung

Desmedipham und Phenmedipham sind seit vielen Jahren bewährte und wichtige herbizide Wirkstoffe im Zuckerrübenanbau. Im Rahmen der regulären Wirkstofferneuerung wurde für Desmedipham entschieden, die Genehmigung als Wirkstoff in Pflanzenschutzmitteln nicht zu erneuern. Für Phenmedipham ist das Ergebnis der Bewertung zum gegenwärtigen Zeitpunkt offen.

Um die Wirksamkeit von Herbizidapplikationen ohne Desmedipham und Phenmedipham zu prüfen, wurden in den Jahren 2018 und 2019 Feldversuche an insgesamt 22 Standorten in Deutschland durchgeführt. Dabei wurden vier Versuchsglieder zweijährig und acht weitere einjährig geprüft.

Die Ergebnisse zeigen in beiden Jahren, dass ohne Desmedipham und Phenmedipham Wirkungslücken bei der Bekämpfung von Weißem Gänsefuß (*Chenopodium album*) und Windenknöterich (*Polygonum convolvulus*) entstehen können. Weitere zugelassene Produkte mit blattaktiven Wirkstoffen in der Tankmischung konnten diese Lücke nicht vollständig kompensieren. Zudem ist ohne Desmedipham und Phenmedipham von einem zunehmenden Risiko für die Entstehung von metamitronresistenten Biotypen des Weißen Gänsefußes auszugehen. Zur Beurteilung der herbiziden Wirkung gegenüber anderen in Zuckerrüben bedeutenden Unkrautarten sind weitere Versuche erforderlich.

Stichwörter: *Chenopodium album*, Feldversuch, *Polygonum convolvulus*, Wirksamkeit

Abstract

Desmedipham and phenmedipham are proven and important herbicides in sugar beet cultivation since many years. The regular renewal of active ingredients was not approved for desmedipham as an active ingredient in crop protection products. For phenmedipham, the result of the renewal is currently open.

To determine the efficacy of herbicide applications without desmedipham and phenmedipham, field trials were conducted in 2018 and 2019 at a total of 22 sites in Germany. Four treatments were tested in both years and eight others in one year.

The results showed in both years that gaps in the control of fat hen (*Chenopodium album*) and black bindweed (*Polygonum convolvulus*) can arise without desmedipham and phenmedipham. Other authorized foliar active ingredients in the tank mix were unable to fully compensate for this gap. Moreover, without these two active ingredients there is an increased risk for the development of metamitron-resistent biotypes of fat hen. Further trials are required to evaluate the herbicidal efficacy against others weeds in sugar beet.

Keywords: *Chenopodium album*, efficacy, field trial, *Polygonum convolvulus*

Einleitung

Bedingt durch den Anbau in Reihen, die langsame Jugendentwicklung der Zuckerrübe und die damit verbundene lange Zeit bis zum Reihenschluss hat die Unkrautbekämpfung sehr große Bedeutung für die Ertragssicherung und ist essentiell für die Wirtschaftlichkeit der gesamten Kultur. Bei ausbleibender Unkrautkontrolle sind Ertragsverluste von bis zu 90 % oder gar ein Totalausfall durch unwirtschaftliche Erntebedingungen möglich (Jursík et al., 2008).

Meist erfolgt die Bekämpfung der Unkräuter durch drei Nachauflaufbehandlungen im Keimblattstadium der Unkräuter (Hauer-Jákli et al., 2017). Dabei wurden bisher in über 90 % der Fälle bodenwirksame metamitronhaltige Produkte in Kombination mit blattaktiven Präparaten mit den Wirkstoffen Desmedipham und Phenmedipham eingesetzt (Ladewig et al., 2018).

Für beide Wirkstoffe muss im Rahmen der regulären Wirkstofferneuerung auf EU-Ebene eine Bewertung erfolgen. Für Desmedipham wurde bereits entschieden die Genehmigung als Wirkstoff

in Pflanzenschutzmitteln nicht zu erneuern (BVL, 2019). Für Phenmedipham ist das Ergebnis der Bewertung zum gegenwärtigen Zeitpunkt offen. Die Nicht-Erneuerung der Zulassung beider Wirkstoffe hätte gravierende Folgen für die bisher praktizierten Herbizidstrategien im Zuckerrübenanbau, da wichtige, bisher flächendeckend eingesetzte blattaktive Wirkstoffe zur Bekämpfung von Unkräutern damit nicht mehr zur Verfügung stünden.

In dieser Feldversuchsserie wurde die Wirkung von Herbizidapplikationen ohne Phenmedipham und Desmedipham gegenüber den natürlich vorkommenden Unkrautarten in Zuckerrüben unter verschiedenen Umweltbedingungen 2018 und 2019 überprüft.

Material und Methoden

Die Feldversuche wurden in charakteristischen Rübenanbauregionen Deutschlands durch regionale Arbeitsgemeinschaften durchgeführt. Bei der Standortwahl wurde nicht zwischen verschiedenen Verunkrautungen differenziert. Das Unkrautspektrum war durch Weißen Gänsefuß und Windenknöterich geprägt. Die Versuche waren vollrandomisiert als lateinisches Rechteck mit vier Wiederholungen angelegt. Die geprüften Varianten sind vorrangig systematische Kombinationen von Produkten ohne die beiden blattaktiven Wirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham. Der Wirkungsgrad der Herbizide wurde 10 bis 14 Tage nach der dritten Nachauflaufbehandlung bonitiert.

Im Jahr 2019 wurden an 10 Standorten insgesamt 14 Varianten geprüft (Tab. 1). In vier Varianten wurden neu zugelassene und in der Zulassung befindliche Produkte geprüft (Var. 4, 5, 10, 14) geprüft. In drei Varianten wurden reduzierte Aufwandmengen untersucht (Var. 8, 9, 14). Davon hat Variante 8 in der Tankmischung identische Produkte wie Variante 2 mit 28-50 % geringeren Aufwandmengen. Variante 9 war mit 28-50 % geringeren Aufwandmengen an Variante 4 ausgerichtet. Bei Variante 13 war eine zusätzliche Applikation im Vorauflauf vorgesehen. Die Wirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham wurden zur Vergleichbarkeit in der Tankmischung der Variante 11 geprüft, Phenmedipham in der Tankmischung der Variante 12. Die Varianten 1-11 waren orthogonal angelegt. Die Varianten 12-14 waren fakultativ an einer abweichenden Standortzahl angelegt, weswegen bei der Interpretation der Ergebnisse nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit zu den orthogonalen Varianten gegeben ist.

Im Jahr 2018 wurden an 12 Standorten die Varianten 1, 6, 7 und 11 geprüft, sodass für diese Varianten zweijährige orthogonale Ergebnisse von insgesamt 22 Standorten vorliegen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass 2018 in den Varianten 6 und 7 abweichend von 2019 zusätzlich der Zusatzstoff Hasten mit 0,5 L/ha eingesetzt wurde.

Tab. 1 Herbizidvarianten (VA = Vorauflauf; NAK = Nachauflauf im Keimblatt der Unkräuter).

Tab. 1 *Herbicide treatments (VA = pre-emergence; NAK = post-emergence).*

Variante	Produkt	VA [kg bzw. L/ha]	NAK 1 [kg bzw. L/ha]	NAK 2 [kg bzw. L/ha]	NAK 3 [kg bzw. L/ha]
1	unbehandelte Kontrolle	-	-	-	-
2	Goltix Titan	-	2,00	2,00	2,00
	Tramat 500	-	0,66	0,66	0,66
	Debut	-	0,030	0,030	0,030
	Trend	-	0,25	0,25	0,25
3	Goltix Titan	-	2,00	2,00	2,00
	Tramat 500	-	0,66	0,66	0,66
	Lontrel 600	-	-	0,10	0,10
	Hasten	-	0,50	0,50	0,50
4	Goltix Gold	-	1,50	1,50	1,50
	Tanaris	-	0,30	0,60	0,60
	Tramat 500	-	0,66	0,66	0,66
	Debut	-	0,030	0,030	0,030
	Trend	-	0,25	0,25	0,25
5	Goltix Titan	-	2,00	2,00	2,00
	Tramat 500	-	0,66	0,66	0,66
	R3D76	-	0,160	0,210	0,210
	Trend	-	0,25	0,25	0,25
6	Goltix Gold	-	1,50	1,50	2,00
	Tanaris	-	0,30	0,60	0,60
	R3D76	-	0,160	0,210	0,210
	Trend	-	0,25	0,25	0,25
7	Goltix Super	-	2,00	2,00	2,00
	Goltix Titan	-	1,00	1,00	1,00
	Lontrel 600	-	-	0,10	0,10
	R3D76	-	0,16	0,21	0,21
	Trend	-	0,25	0,25	0,25
8	Goltix Titan	-	2,00	1,00	1,00
	Tramat 500	-	0,33	0,33	0,33
	Debut	-	0,015	0,025	0,025
	Trend	-	0,25	0,25	0,25
9	Goltix Gold	-	1,00	1,00	1,00
	Tanaris	-	0,20	0,40	0,40
	Tramat 500	-	0,33	0,33	0,33
	Debut	-	0,015	0,025	0,025
	Trend	-	0,25	0,25	0,25
10	Goltix Titan	-	2,00	2,00	2,00
	SYD 11040 H	-	0,25	0,50	0,50
	Tramat 500	-	0,66	0,66	0,66
	Debut	-	0,030	0,030	0,030
	Trend	-	0,25	0,25	0,25
11	Betanal maxxPro	-	1,25	1,25	1,25
	Goltix Titan	-	1,50	1,50	1,50
12	Goltix Titan	-	2,00	1,00	1,00
	Betasana SC	-	1,50	1,50	1,50
	Tramat 500	-	0,33	0,33	0,33
	Debut	-	0,015	0,025	0,025
	Trend	-	0,25	0,25	0,25
13	Goltix Titan	3,00	1,00	1,00	1,00
	Tramat 500	-	0,66	0,66	0,66
	Debut	-	0,030	0,030	0,030
	Trend	-	0,25	0,25	0,25
14	Kezuro	-	0,90	1,30	1,30
	Tramat 500	-	0,33	0,33	0,33
	Debut	-	0,015	0,025	0,025
	Trend	-	0,25	0,25	0,25

Die in den einzelnen Produkten enthaltenen Wirkstoffe und deren Gehalte können der Tabelle 2 entnommen werden.

Tab. 2 Herbizidprodukte und enthaltende Wirkstoffe.

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

Produkt	**Wirkstoff**	**Wirkstoffgehalt [g ai/L bzw. kg]**
Betanal maxxPro	Phenmedipham	60
	Lenacil	27
	Ethofumesat	75
	Desmedipham	47
Betasana SC	Phenmedipham	160
Debut	Triflusulfuron-methyl	500
Goltix Gold	Metamitron	700
Goltix Super	Metamitron	350
	Ethofumesat	100
Goltix Titan	Metamitron	525
	Quinmerac	40
Hasten	Öl/Zusatzstoff	-
Kezuro	Metamitron	571
	Quinmerac	71
Lontrel 600	Clopyralid	600
R3D76	codiertes Prüfmittel	-
SYD 11040 H	codiertes Prüfmittel	-
Tanaris	Dimethenamid-P	333
	Quinmerac	167
Tramat 500	Ethofumesat	500
Trend	Formulierungshilfsstoff	

Ergebnisse

Einjährige Auswertung 2019

Der Gesamtunkrautdeckungsgrad in der unbehandelten Kontrolle betrug im Mittel der Standorte 43,7 % (Abb. 1). Die Varianten 2, 3 und 6 hatten einen Gesamtwirkungsgrad zwischen 96,1 und 97,5 %. Die Varianten 4, 5, 7 und 10 zeigten einen Gesamtwirkungsgrad von mehr als 98,2 %. Die Wirkung dieser Varianten lag auf dem Niveau der Desmedipham/Phenmedipham-haltigen Variante 11. Auch die Phenmedipham-haltige Variante 12 erreichte einen ähnlichen Gesamtwirkungsgrad. Varianten mit reduzierten Aufwandmengen (Var. 8, 9, 14) sowie der teilweisen Wirkstoffapplikation im Vorauflauf (Var. 13) hatten einen geringeren Gesamtwirkungsgrad von unter 95,0 %.

Weißer Gänsefuß hatte in der unbehandelten Kontrolle im Mittel der Standorte einen Unkrautdeckungsgrad von 32,2 % (Abb. 2). Die Desmedipham/Phenmedipham-freien Varianten 4, 5, 7 sowie 10 hatten einen Wirkungsgrad von über 99,0 % und waren im Wirkungsgrad mit der Desmedipham/Phenmedipham-haltigen Variante 11 vergleichbar. Der Wirkungsgrad der Varianten 2, 3, 6 und 12 lag mit 97,4-98,2 % leicht darunter. Bei Varianten mit reduzierten Aufwandmengen (Var. 8, 9, 14) sowie der teilweisen Wirkstoffapplikation im Vorauflauf (Var. 13) lag der Wirkungsgrad unter 95,0 %.

Die Wirkung gegenüber Windenknöterich konnte an sechs Standorten erfasst werden. Der Unkrautdeckungsgrad in der unbehandelten Kontrolle lag im Mittel der Standorte bei 5,8 % (Abb. 3). Von den Desmedipham/Phenmedipham-freien Varianten hatte Variante 7 mit 98,3 % den höchsten Wirkungsgrad und war mit der Desmedipham/Phenmedipham-haltigen Variante 11 bzw. der Phenmedipham-haltigen Variante 12 vergleichbar. Die Varianten 3, 5, 6 sowie 10 erreichten Wirkungsgrade zwischen 95,1 und 96,8 %. Die

Varianten 2 und 4 sowie die Varianten mit reduzierten Aufwandmengen (Var. 8, 9, 14) und der Vorauflaufapplikation (Var. 13) hatten Wirkungsgrade unter 95,0 %.

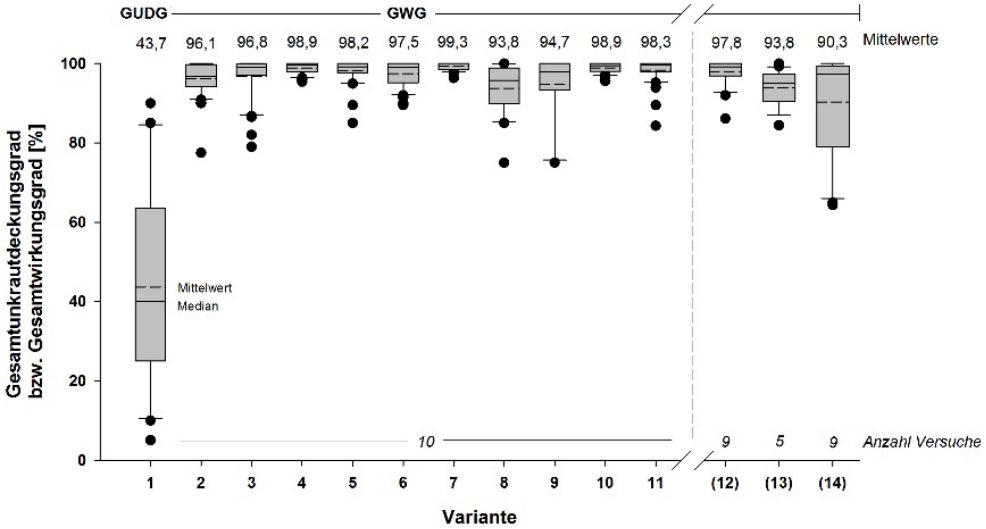


Abb. 1 Gesamtunkrautdeckungsgrad (GUDG) von unterschiedlichen Unkräutern in der unbehandelten Kontrolle und Gesamtwirkungsgrad (GWG) verschiedener Herbizidapplikationen, 10 Feldversuche mit Zuckerrüben in Deutschland 2019. Varianten 12-14 nicht orthogonal geprüft.

Fig. 1 *Total weed cover (GUDG) of different weeds in the untreated control and total herbicide efficacy (GWG) of different herbicide treatments, 10 field trials with sugar beet in Germany 2019. Treatments 12-14 are not orthogonal tested.*

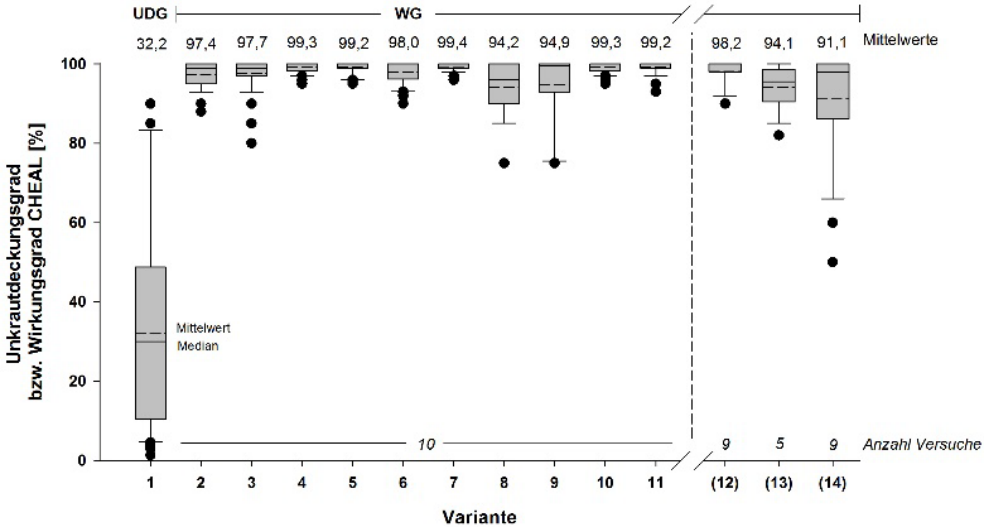


Abb. 2 Unkrautdeckungsgrad (UDG) von Weißem Gänsefuß (CHEAL) in der unbehandelten Kontrolle und Wirkungsgrad (WG) verschiedener Herbizidapplikationen. 10 Feldversuche mit Zuckerrüben in Deutschland 2019. Varianten 12-14 nicht orthogonal geprüft.

Fig. 2 *Weed cover (UDG) of Chenopodium album and herbicide efficacy (WG) of different herbicide treatments. 10 field trials with sugar beet in Germany 2019. Treatments 12-14 are not orthogonal tested.*

Zweijährige Auswertung 2018-2019

Der Gesamtunkrautdeckungsgrad in der unbehandelten Kontrolle lag im Mittel der Standorte bei 46,0 % (Abb. 4). Bei den Desmedipham/Phenmedipham-freien Varianten lag der Gesamtwirkungsgrad von Variante 6 leicht unter und von Variante 7 leicht über der Desmedipham/Phenmedipham-haltigen Variante 11.

Gegenüber Weißem Gänsefuß hatten die Desmedipham/Phenmedipham-freien Varianten 6 und 7 mit 98,5 bzw. 99,5 % einen ähnlichen Wirkungsgrad wie die Desmedipham/Phenmedipham-haltige Variante 11 mit 99,0 % (nicht gezeigt). Hingegen war bei Windenknöterich der Wirkungsgrad der Desmedipham/Phenmedipham-freien Varianten 6 (92,6 %) und 7 (97,8 %) zum Teil deutlich unter der Desmedipham/Phenmedipham-haltigen Variante 11 (98,3 %) (nicht gezeigt).

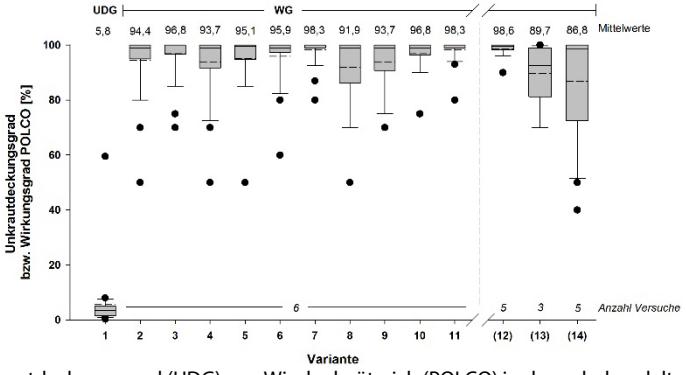


Abb. 3 Unkrautdeckungsgrad (UDG) von Windenknöterich (POLCO) in der unbehandelten Kontrolle und Wirkungsgrad (WG) verschiedener Herbizidapplikationen. 6 Feldversuche mit Zuckerrüben in Deutschland 2019. Varianten 12-14 nicht orthogonal geprüft.

Fig. 3 *Weed cover (UDG) of Polygonum convolvulus and herbicide efficacy (WG) of different herbicide treatments. 6 field trials with sugar beet in Germany 2019. Treatments 12-14 are not orthogonal tested.*

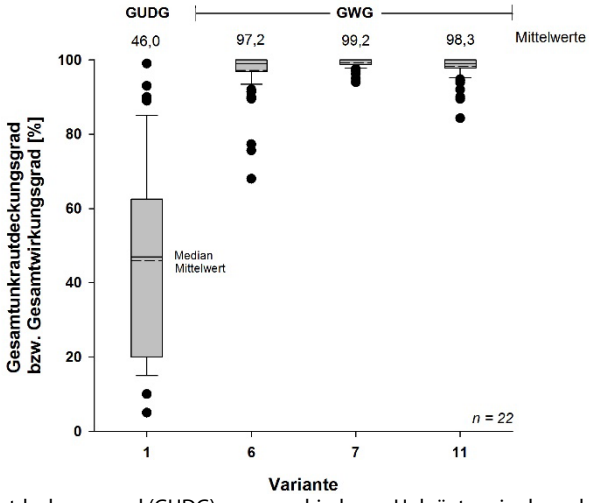


Abb. 4 Gesamtunkrautdeckungsgrad (GUDG) von verschiedenen Unkräutern in der unbehandelten Kontrolle und Gesamtwirkungsgrad (GWG) verschiedener Herbizidapplikationen. 22 Feldversuche mit Zuckerrüben, Deutschland 2018-2019.

Fig. 4 *Total weed cover (GUDG) of different weeds in the untreated control and total herbicide efficacy (GWG) of different herbicide treatments. 22 trials with sugar beet, Germany 2018-2019.*

Diskussion

Mit Tankmischungen ohne die beiden Wirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham konnte nur bedingt eine ausreichende herbizide Wirksamkeit erreicht werden. Die herbizide Wirkung gegenüber Weißem Gänsefuß war in Variante 4 sowie in Varianten mit in der Zulassung befindlichen Produkten (Var. 5, 6, 7, 10) auf dem Niveau der Desmedipham/Phenmedipham-haltigen Variante 11. Variante 4 enthielt im Vergleich zu Variante 2 noch den Wirkstoff Dimethenamid-P, der vermutlich eine Teilwirkung auf Weißen Gänsefuß ausübte. Gegenüber Windenknöterich konnte nur mit hohen Aufwandmengen des Wirkstoffs Clopyralid (Var. 3, 7) oder einem in der Zulassung befindlichen Produkt (Var. 10) eine ausreichende Wirkung erzielt werden. Reduzierte Aufwandmengen (Var. 8, 9, 14) hatten weder gegenüber Weißem Gänsefuß noch bei Windenknöterich einen ausreichenden Wirkungsgrad. Der geringe Gesamtwirkungsgrad einer zusätzlichen Behandlung im Vorauflauf bei Variante 13 wurde vermutlich durch trockene Bodenbedingungen und spät auflaufende Unkräuter verursacht, die durch die geringeren Wirkstoffmengen der NAKs nicht mehr ausreichend bekämpft wurden.

Neben Desmedipham und Phenmedipham stehen im blattaktiven Bereich gegenwärtig noch die Wirkstoffe Clopyralid und Triflusulfuron-methyl zur Verfügung. Produkte mit diesen Wirkstoffen haben andere Wirkungsspektren als Produkte mit den Wirkstoffen Desmedipham und Phenmedipham. Die daraus entstehenden Wirkungslücken bei Weißem Gänsefuß und Windenknöterich werden durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigt: Eine Erhöhung der Aufwandmengen der blatt- sowie vorrangig bodenaktiven Wirkstoffe Metamitron, Quinmerac und Ethofumesat konnte weder in Kombination mit Triflusulfuron-methyl (Var. 2) noch mit Clopyralid (Var. 3) die herbizide Wirkung der Desmedipham/Phenmedipham-haltigen Varianten 11 erreichen.

Vereinzelt treten bei Weißem Gänsefuß Resistenzen gegenüber dem Wirkstoff Metamitron auf (Thiel und Varrelmann, 2013). In Feldversuchen mit resistentem Weißen Gänsefuß zeigten die herbiziden Wirkstoffen Desmedipham und Phenmedipham jedoch eine hohe Wirksamkeit (IfZ, nicht veröffentlichte Daten). Ohne diese beiden Wirkstoffe könnte daher das Risiko für die Entstehung resistenter Biotypen steigen.

Wie gut weitere in Zuckerrüben bedeutende Unkrautarten ohne Desmedipham und Phenmedipham bekämpft werden können, kann noch nicht abschließend beurteilt werden. Hierzu sind weitere Versuche erforderlich.

Danksagung

Diese Untersuchungen wurden im Arbeitskreis Pflanzenschutz am Institut für Zuckerrübenforschung gemeinsam mit den Pflanzenschutzmittelunternehmen ADAMA, BASF, Bayer CropScience, Corteva Agriscience, FMC, Syngenta und UPL geplant und vorbereitet. Die Autoren danken allen Beteiligten für die gute Zusammenarbeit. Großer Dank gilt den regionalen Arbeitsgemeinschaften für die Durchführung der Feldversuche.

Literatur

BVL, 2019: EU-Genehmigung des Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffs Desmedipham nicht erneuert. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Online verfügbar unter https://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/06_Fachmeldungen/2019/2019_07_05_Fa_Nichtgenehmigung_Desmedipham.html?nn=1930198, zuletzt aktualisiert am 05.07.2019.

HAUER-JÁKLI, M., N. NAUSE, K. TRIMPLER, N. STOCKFISCH, B. MÄRLÄNDER, 2017: CONVISO® ONE - Ansätze für eine Systemanalyse der Herbizidstrategie. Sugar Ind. **142** (12), 704–712.

JURSÍK, M., J. HOLEC, J. SOUKUP, V. VENCLOVÁ, 2008: Competitive relationships between sugar beet and weeds in dependence on time of weed control. Plant Soil Environ. **54** (3), 108–116.

LADEWIG, E.; C. BUHRE, C. KENTER, N. STOCKFISCH, M. VARRELMANN, A.-K. MAHLEIN, 2018: Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau in Deutschland - Situationsanalyse 2018. Sugar Ind. **143** (12), 708–722.

THIEL, H.; M. VARRELMANN, 2013: Identification of a new PSII target site psbA mutation leading to D1 amino acid Leu218Val exchange in the Chenopodium album D1 protein and comparison to cross-resistance profiles of known modifications at positions 251 and 264. Pest Manag. Sci. **70** (2), 278-285.

Unkrautregulierung in Zuckerrüben (*Beta vulgaris*) auf Basis von Foramsulfuron und Thiencarbazone-methyl

*Weed control in sugar beets (*Beta vulgaris*) with foramsulfuron und thiencarbazone-methyl*

Klaus Gehring*, Stefan Thyssen, Thomas Festner

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

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

DOI 10.5073/jka.2020.464.021

Zusammenfassung

Der Bayerische Pflanzenschutzdienst führte von 2016 bis 2018 fünf Feldversuche zur Unkrautregulierung im Zuckerrübenanbau durch. Die Versuche dienten der Leistungsprüfung des neuen Herbizid-Resistenzsystems Conviso® Smart. Im Vergleich zu einer Standardbehandlung mit konventionellen Herbiziden wurden verschiedene Anwendungen mit Conviso® One (Foramsulfuron 50 g/l + Thiencarbazone-methyl 30 g/l) durchgeführt. Im spezifischen Vergleich zeigte die Anwendung von Conviso® One solo und in Kombination mit konventionellen Herbiziden tendenzielle und bei einzelnen Behandlungsvarianten signifikante Vorteile in der Unkrautbekämpfung. Gegenüber der Standardbehandlung konnten Anwendungen auf der Basis von Conviso® One verschiedene Leitunkräuter und schwieriger regulierbare Unkrautarten deutlich effektiver kontrollieren. Die Kulturverträglichkeit von Conviso® One in entsprechend ALS-resistenten Zuckerrübensorten kann als sicher eingestuft werden. Das Conviso® Smart System ermöglicht die Einsatzintensität und Anwendungshäufigkeit gegenüber bisherigen Herbizidbehandlungskonzepten deutlich zu reduzieren und dennoch eine sichere Unkrautregulierung im Zuckerrübenanbau zu gewährleisten.

Stichwörter: ALS-resistente Zuckerrüben, Conviso

Abstract

From 2016 to 2018, the Bavarian Plant Protection Service conducted five field trials on weed control in sugarbeet cultivation. The tests served to test the performance of the new herbicide resistance system Conviso® Smart. In comparison to a standard treatment with conventional herbicides, various applications were performed with Conviso® One (Foramsulfuron 50 g/L + Thiencarbazone-methyl 30 g/L). In a specific comparison, the use of Conviso® One alone and in combination with conventional herbicides showed qualified and in individual treatment variants significant advantages in weed control. Compared to the standard treatment, applications based on Conviso® One solo were able to control various common weeds and weed species that were more difficult to control much more effectively. The cultural compatibility of Conviso® One in ALS-resistant sugar beet varieties can be classified as safe. The Conviso® Smart System enables the intensity and frequency of the use of herbicides to be significantly reduced compared to previous herbicide treatment concepts, while still ensuring reliable weed control in sugar beet cultivation.

Keywords: ALS-inhibitor resistant sugar beet, Conviso

Einleitung

Die Unkrautregulierung ist im Rübenanbau eine essentielle produktionstechnische Maßnahme, um die Etablierung der Kultur zu ermöglichen, das standortspezifische Ertragspotenzial auszuschöpfen und die Erntequalität zu sichern. Aufgrund des relativ hohen Unkrautdrucks in der Reihenkultur, den hohen Anspruch an eine nachhaltige Unkrautregulierung und der begrenzten Leistungsfähigkeit einzelner Herbizide besteht die bisherige Praxis in der chemischen Unkrautregulierung im mehrfachen Einsatz von Tankmischungskombinationen aus regelmäßig zwei bis drei Herbiziden. Unter ungünstigen Bedingungen oder bei hohem Unkrautdruck werden in diesen Spritzfolgebehandlungen im Keimblattstadium der auflaufenden Unkräuter, sogenannte NAK-Spritzfolgen, auch deutlich mehr Komponenten eingesetzt, oder die üblichen drei Spritzfolgen um eine zusätzliche Behandlung erweitert. Die Entwicklung eines Herbizidresistenzsystems eröffnet Möglichkeiten die bisherige Behandlungsintensität hinsichtlich Herbizidaufwand und Anwendungshäufigkeit deutlich zu reduzieren. Das Conviso® Smart System besteht aus herbizidresistenten Rübensorten gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren (HRAC: B) und dem Komplementär-Herbizid Conviso® One mit den Wirkstoffkomponenten Foramsulfuron

und Thiencarbazone-methyl. Um die Leistungsfähigkeit und die Einsatzmöglichkeiten dieses Systems zu prüfen wurden vom Bayerischen Pflanzenschutzdienst Feldversuche mit unterschiedlichen Anwendungen von Conviso® One im Zeitraum von 2016 bis 2017 auf repräsentativen Standorten in den bayerischen Rübenanbaugebieten durchgeführt.

Material und Methoden

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit des Conviso® Smart Systems wurden fünf Feldversuche im Zeitraum von 2016 bis 2018 in Bayern durchgeführt. Für den Rübenanbau wurde eine komplementäre Rübensorte, die durch die Fa. KWS zur Verfügung gestellt wurde, verwendet. Neben der Anwendung von Conviso® One wurden konventionelle Rübenherbizide im Vergleich bzw. in Kombination mit Conviso® One eingesetzt (Tab. 1).

Tab. 1 In den Feldversuchen eingesetzte Herbizide.

Tab. 1 *Herbicides used in field trials.*

Herbizid Handelsname	Wirkstoffgehalt (g/l)
Belvedere Extra®	Ethofumesat 200 + Phenmedipham 150 + Desmedipham 50
Betanal MaxPro®	Ethofumesat 75 + Phenmedipham 60 + Desmedipham 47 + Lenacil 27
Conviso® One*	Foramsulfuron 50 + Thiencarbazone-methyl 30
Goltix Titan®	Metamitron 525 + Quinmerac 40
Kezuro®	Metamitron 571 + Quinmerac 71
Spectrum®	Dimethenamid-P 720

*) in Deutschland noch nicht zugelassen

Die Versuchsdurchführung erfolgte nach den EPPO Standard PP 1/52(3) als reine Wirkungsversuche. Auf die Erhebung von Erträgen wurde verzichtet. Die ermittelten Boniturdaten wurden durch eine nichtparametrische Rangvarianzanalyse nach Kruskal-Wallis (UNISTAT LTD., 2015) ausgewertet. Die im dreijährigen Vergleich durchgeführten Prüfvarianten sind in Tabelle 2 dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass das Präparat Conviso® (Foramsulfuron + Thiencarbazone-methyl) aktuell in Deutschland noch nicht zugelassen ist.

Ergebnisse

Die in den Feldversuchen aufgetretenen Leitunkräuter entsprachen dem Unkrautspektrum im Rübenanbau in Bayern. Neben Gänsefuß-Arten (CHESS), die an allen Versuchsstandorten vorhanden waren, traten Knöterich-Arten (POLSS), Schwarzer Nachtschatten (SOLNI), Acker-Kratzdistel (CIRAR) und Ehrenpreis-Arten (VERSS) relativ häufig aus. Die einzelnen Unkrautarten wurden im Mittel über alle Behandlungsvarianten mit Wirkungsgraden von >90 % ausreichend sicher kontrolliert. Schwer bekämpfbare Problemunkräuter traten keine auf.

Im Vergleich der Gesamt-Unkrautbekämpfungsleistung über alle Behandlungsvarianten konnten keine signifikanten Leistungsunterschiede festgestellt werden (Tab. 3). Ebenso unterschieden sich Kombinationen von Conviso® One und konventionellen Herbiziden (VG 7-13) gegenüber der Standardbehandlung mit konventionellen Herbiziden (VG-6) und die Soloanwendung von Conviso® One (VG 2-5) gegenüber Kombinationen von Conviso® One und konventionellen Herbiziden nicht signifikant. Beim spezifischen Vergleich verschiedener Behandlungskonzepte konnten Differenzierungen festgestellt werden. Die Soloanwendung von Conviso® One (VG 2-4) war tendenziell leistungsfähiger als die Standardbehandlung (VG-6). Die Spritzfolgebehandlung mit Conviso® One in Kombination mit einem Zusatzstoff (Mero®, 81 % Rapsölmethylester) erzielte eine signifikant höhere Gesamt-Unkrautwirkung im Vergleich zur Standardbehandlung. Im Vergleich war die Spritzfolgekombination mit Vorlage einer konventionellen Herbizidbehandlung und Nachbehandlung mit Conviso® One in VG-7 tendenziell und in VG-8 signifikant leistungsfähiger als die Standardbehandlung in VG-6. Auch Tankmischungskombinationen mit Conviso® One und konventionellen Herbiziden waren in den VG-10 bis VG-13 tendenziell und in VG-9 signifikant leistungsfähiger als die Standardbehandlung mit konventionellen Herbiziden.

Tab. 2 In den Feldversuchen durchgeführte Behandlungsvarianten.

Tab. 2 *Treatment variants carried out in the field trials.*

VG	Behandlung	Aufwand (l/ha)	Termin
1	Unbehandelt	-	-
2	Conviso® One	1	D
3	Conviso® One	0,5	B
	Conviso® One	0,5	E
4	Conviso® One + Mero*	1,0 + 1,0	D
5	Conviso® One + Mero*	0,5 + 1,0	B
	Conviso® One + Mero*	0,5 + 1,0	E
6	Betanal MaxxPro + Goltix Titan	1,25 + 1,5	A
	Betanal MaxxPro + Goltix Titan	1,25 + 1,5	C
	Betanal MaxxPro + Goltix Titan	1,25 + 1,5	F
7	Betanal MaxxPro + Goltix Titan	1,25 + 1,5	A
	Conviso® One	1	D
8	Belvedere Extra + Goltix Titan + Hasten*	1,25 + 1,5 + 0,5	A
	Conviso® One	1	D
9	Betanal MaxxPro + Goltix Titan + Conviso® One	0,6 + 0,75 + 0,5	B
	Betanal MaxxPro + Goltix Titan + Conviso® One	0,6 + 0,75 + 0,5	E
10	Belvedere Extra + Conviso® One + Hasten*	1,25 + 0,5 + 0,5	B
	Belvedere Extra + Conviso® One + Hasten*	1,25 + 0,5 + 0,5	E
11	Conviso® One + Goltix Titan + Hasten*	0,5 + 1,5 + 0,5	B
	Conviso® One + Goltix Titan + Hasten*	0,5 + 1,5 + 0,5	E
12	Conviso® One + Kezuro + Hasten*	0,5 + 1,3 + 0,5	B
	Conviso® One + Kezuro + Hasten*	0,5 + 1,3 + 0,5	E
13	Conviso® One + Spectrum	0,5 + 0,3	B
	Conviso® One + Spectrum	0,5 + 0,45	E

Legende:
VG = Versuchsglied; *) Zusatzstoff;
A = 1. NAK (nach dem Auflaufen im Keimblattstadium), BBCH 10 der Unkräuter
B = NA früh (nach dem Auflaufen), BBCH 11-12 der Unkräuter
C = 2. NAK, BBCH 10 Unkräuter
D = NA spät, BBCH 13-14 der Unkräuter
E = NA-Folgebehandlung, 8-10 Tage nach Termin B, BBCH 11-12 der Unkräuter
F = 3. NAK, BBCH 10 der Unkräuter

Die bei der Betrachtung der Gesamt-Unkrautwirkung verschiedener Behandlungskonzepte mit Conviso® One tendenziell und bei einzelnen Varianten signifikant höhere Leistung gegenüber der konventionellen Standardbehandlung wird bei der Auswertung der artspezifischen Unkrautwirkung deutlich erkennbar (Abb. 1). Bei Unkräutern wie Zurückgebogener Amarant (AMARE), Hirtentäschelkraut (CAPBP) und Acker-Hellerkraut (THLAR) ist die Standardbehandlung mit konventionellen Herbiziden (VG-6) leistungsgleich mit verschiedenen Conviso® One Anwendungen (VG-5, -8, -9). Gegenüber wichtigen Leitunkräutern wie Vogel-Knöterich (POLAV), Winden-Knöterich (POLCO), Hundspetersilie (AETCY), Schwarzer Nachtschatten (SOLNI) und Kamille-Arten (MATSS) sind die in Abbildung 1 dargestellten Conviso® One Anwendungen der Standardbehandlung eindeutig überlegen. Auch bei schwieriger zu regulierenden Unkräutern wie Zaunwinde (CAGSE) und Acker-Kratzdistel (CIRAR) hatten Conviso® One Anwendungen deutliche Wirkungsvorteile. Die Wirkungsschwäche von Conviso® One (VG-5) gegenüber Ehrenpreis-Arten (VERSS) konnte in Kombinationsanwendungen als Spritzfolge oder Tankmischung mit konventionellen Herbiziden (VG-8, -9) deutlich reduziert werden.

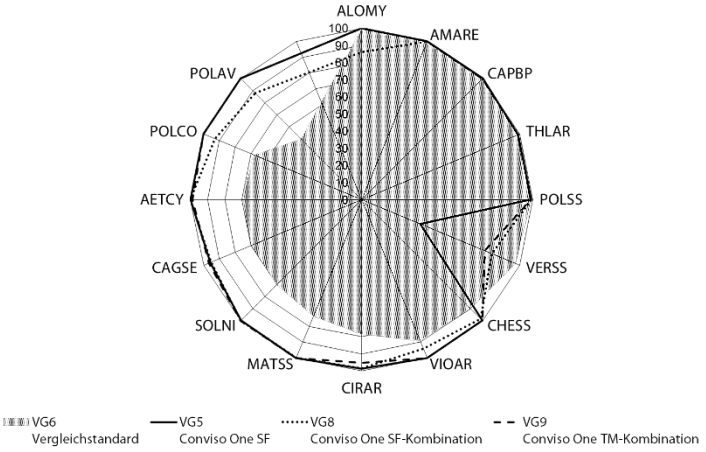
Tab. 3 Gesamt-Unkrautwirkung der Behandlungsvarianten im Vergleich.

Tab. 3 *Comparison of the overall herbicide efficacy of the treatment options.*

Variante	VG-2	VG-3	VG-4	VG-5	VG-6	VG-7	VG-8	VG-9	VG-10	VG-11	VG-12	VG-13
Wirkung, MW (%)	**93,8**	**98,1**	**97,7**	**98,7**	**85,5**	**96,8**	**96,9**	**98,8**	**98,6**	**98,5**	**98,7**	**98,5**
STABW	**6,1**	**0,6**	**1,8**	**0,9**	**10,2**	**3,2**	**4,3**	**0,9**	**0,9**	**0,3**	**0,6**	**0,5**
	Statistischer Vergleich* verschiedener Behandlungsverfahren											
Alle Varianten	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Conviso One solo vs. Standard VG-6	ab	ab	ab	a	b							
Conviso One kombiniert vs. Standard VG-6					n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Alle Conviso One-Varianten	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Conviso One SF-Kombi. vs. Standard VG-6					b	ab	a					
Conviso One TM-Kombi. vs. Standard VG-6					b			a	ab	ab	ab	ab

Legende: *) Rangvarianz-Analyse - Kruskal Wallis One-way ANOVA; VG = Versuchsglied; SF = Spritzfolge; TM = Tankmischung

Im ersten Feldversuch im Jahr 2016 wurden bei den Einmalbehandlungen mit Conviso® One (VG-2, -4) temporäre Kulturbeeinträchtigungen beobachtet. Spritzfolge- und Kombinationsanwendungen von Conviso® One zeigten in diesen Versuch dagegen keinerlei Kulturschäden. Da in den folgenden Versuchen ebenfalls keinerlei Kulturschäden beobachtet wurden, könnte eine nicht vollständige ALS-Resistenz des damaligen Versuchssaatgutes die Ursache auf diese Reaktion gewesen sein. Da diese Kulturbeeinträchtigung nur einmalig bei einzelnen Conviso® One Anwendungen aufgetreten sind, wird auf eine Darstellung verzichtet. In den vier Feldversuchen von 2017 bis 2018 sind bei keiner Behandlungsvariante Kulturbeeinträchtigungen festgestellt worden.



Legende: VG = Versuchsglied, SF = Spritzfolge, TM = Tankmischung

Abb. 1 Unkraut-Bekämpfungsleistung von Conviso® One Anwendungen im Vergleich zur Standardbehandlung.

Fig. 1 *Weed control performance of Conviso® One applications compared to standard treatment.*

Literatur

BALGHEIM, N., M. WEGENER, H. MUMME, 2018: Conviso® Smart - Erste Erfahrungen zum Einsatz. Julius-Kühn-Archiv **458**, 509-514.

EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION (EPPO), 2018: Efficacy evaluation of herbicides - Weeds in sugar and fodder beet. www.eppo.int, PP 1/52 (3), 4 p.

GEHRING, K., S. THYSSEN, T. FESTNER, 2016: Chemische Unkrautregulierung im Zuckerrübenanbau – Ergebnisse aus 15 Versuchsjahren. Julius-Kühn-Archiv **454**, 180-181.

GÖTZE, P., C. KENTER, M.J. WENDT, E. LADEWIG, 2018: Übersicht zu Wirksamkeitsversuchen von Conviso® One in Zuckerrüben. Julius-Kühn-Archiv **458**, 497-499.

LÖBMANN, A., J. PETERSEN, 2018: Examination of efficacy and selectivity of herbicides in ALS-tolerant sugar beets. Julius-Kühn-Archiv **458**, 500-508.

STOCKFISCH, N., N. NAUSE, 2018: Aspekte einer Systemanalyse zur Bewertung des CONVISO® SMART Systems. Julius-Kühn-Archiv **458**, 493-496.

UNISTAT® LIMITED, 2015: User's Guide, Version 6.5. London, UK, 1244 p.

WEGENER, M., N. BALGHEIM, M. KLIE, C. STIBBE, B. HOLTSCHULTE, 2016: CONVISO® SMART – ein innovativer Ansatz der Unkrautkontrolle in Zuckerrüben. Sugar Industry **141**, 517-524.

WENDT, M.J., C. KENTER, M. WEGENER, B. MÄRLÄNDER, 2016: 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, B. MÄRLÄNDER, 2016: Efficacy of foramsulfuron + thiencarbazone-methyl towards different development stages of weed species in sugar beet cultivation. Sugar Industry **141** (7), 436–445.

Control of Umbelliferae in Grassland and Pasture, a new herbicide containing ArylexTM active

Bekämpfung von Umbelliferae in Wiesen und Weiden, ein neues Herbizid mit dem Wirkstoff ArylexTM active

Thomas Schulz*, Axel Kunz, Juergen Bonin

Corteva Agriscience, TruderingerStr. 15, 81677 München
*Corresponding author, thomas.schulz@corteva.com

DOI 10.5073/jka.2020.464.022

Abstract

Anthriscus sylvestris is a perennial or biennial herbaceous plant in permanent grassland and pasture. With its half rosette it is able to displace valuable forage grasses and has only a medium feed value. At present, no effective and long-lasting solutions with selective acting herbicides is available against it and other hard-to-control weeds of the Umbelliferae family.

Arylex™ active (halauxifen-methyl) is a new active ingredient in the subgroup of aryl picolinates belonging to synthetic auxins. Herbicides containing this active ingredient have been marketed in Germany since 2018 for weed control in cereals.

For the use in grassland and pasture GF-3635 is now under development by Corteva Agriscience in Germany and other European countries. It is a premix of Arylex, fluroxypyr and triclopyr and contains at the 1.5 L/ha maximum use rate 10 g/ha Arylex, 300 g/ha Fluroxypyr and 300 g/ha triclopyr. GF-3635 is thus a further development of the Product Starane Ranger® available since 2005, Ranger® since 2012 respectively, with equal amounts of fluroxypyr and triclopyr per hectare. It can be safely applied during the whole vegetation period, does not harm valuable grass species and has no negative impact on yield quantity and Forage quality. GF-3635 controls *A. sylvestris, Heracleum sphondylium, Plantago lanceolata, Ranunculus acris, Ranunculus repens, Rumex crispus, Rumex obtusifolius, Taraxacum officinale* and *Urtica dioica*.

Keywords: *Anthriscus sylvestris, Heracleum sphondylium, Ranunculus* spp. *Rumex* spp. *Taraxacum officinale, Urtica dioica*

Zusammenfassung

Anthriscus sylvestris ist eine mehr- oder zweijährige, krautige Pflanze im Dauergrünland. Mit seiner halben Rosette verdrängt es wertvolle Futtergräser und hat nur einen mittleren Futterwert. Gegen dieses und andere schwer bekämpfbare Unkräuter aus der Familie der Doldenblütler gibt es derzeit keine wirksamen und nachhaltigen Lösungen mit selektiv wirkenden Herbiziden.

Arylex™ active (Halauxifen-Methyl) ist ein neuer Wirkstoff aus der zu den synthetischen Auxinen gehörenden Untergruppe der Arylpicolinate. Herbizide mit diesem Wirkstoff werden in Deutschland seit 2018 zur Unkrautbekämpfung in Getreide vermarktet.

Für den Einsatz in Wiesen und Weiden wird GF-3635 derzeit von Corteva Agriscience in Deutschland und anderen europäischen Ländern entwickelt. Es ist eine Mischung aus Arylex, Fluroxypyr und Triclopyr und enthält bei einer maximalen Aufwandmenge von 1,5 l/ ha 10 g/ha Arylex, 300 g/ha Fluroxypyr und 300 g/ha Triclopyr. GF-3635 ist eine Weiterentwicklung des seit 2005 verfügbaren Produktes Starane Ranger®, bzw. Ranger® ab 2012 mit gleichen Mengen an Fluroxypyr und Triclopyr pro Hektar. Es kann sicher während der gesamten Vegetationsperiode angewendet werden, schädigt keine wertvollen Grasarten und hat keinen negativen Einfluss auf den Trockenmasseertrag oder die Futterqualität. GF-3635 bekämpft *A. sylvestris, Heracleum sphondylium, Plantago lanceolata, Ranunculus acris, Ranunculus repens, Rumex crispus, Rumex obtusifolius, Taraxacum officinale* und *Urtica dioica.*

Stichwörter: *Anthriscus sylvestris, Heracleum sphondylium, Ranunculus* spp. *Rumex* spp., *Taraxacum officinale, Urtica dioica*

Introduction

An intensive use management on permanent pasture enables the production of coarse forage for milk production with comparable feed qualities, also in competition with feed production from silage maize (Taube, 2009). Prerequisite for this are grass swards with energy and protein-rich plants. In addition to a need-based fertilization and use regimes, selective weed control and measures for

reseeding grass for closing gaps are permanently required. While there are effective solutions available against certain dominant weeds, they are lacking in other species. Many Umbelliferous weeds are not or only partially controlled with selectively acting herbicides. Especially against *Anthriscus sylvestris* no effective and long-lasting solution is available (BÄR et al., 2017; BENKER et al., 2017)

A. sylvestris is a perennial or biennial herbaceous plant with a root turnip. With its half rosette it is able to displace valuable forage grasses and has only a medium feed value (KLAPP, 1971). The species is especially promoted by the application of slurry or manure.

New herbicidal active ingredients for the use in grassland and pasture are very rare. More than 12 years after the introduction of Aminopyralid, Corteva Agriscience is now developing Arylex™ active, a new active ingredient for this indication. Arylex (halauxifen-methyl) is an active ingredient in the subgroup of aryl picolinates belonging to synthetic auxins. Herbicides containing this active ingredient have been marketed in Germany since 2018 for weed control in cereals (Zypar, Pixxaro EC). GF-3635 contains Arylex, fluroxypyr and triclopyr and is currently under development in Benelux, France, Germany, Ireland and the United Kingdom.

Materials and methods

First preliminary field testing of Arylex in Grassland and Pasture in Europe started 2013 whereas the development of GF-3635 began 2016.

Field trials have been carried out in Belgium, France, Germany, Ireland, Netherland and the United Kingdom by using small plot sprayers. These trials have been set up during the whole vegetation period between March and October, generally in established grassland and pasture with three to four replicates at a plot size between 12 and 25m^2.

The effectiveness in control of target weeds has been measured in a percentage scale relative to the untreated control. The first evaluation in efficacy and selectivity was carried out in the standing sward 2-3 weeks after the application. As the sites have been cut regularly, further investigations were no longer possible in relation to the initial stock. Therefore, the % coverage or the number of weed plants have been worked out for each plot individually at time of applications and on each rating time to allow to calculate the effectiveness by using the Henderson-Tilton-Transformation (HENDERSON and TILTON,1955). Trials that were made in the spring to early summer were evaluated next to the assessment after the application in the regrowth after the first cut and at the end of the growing season. In trials which were carried out in autumn, the most relevant assessment has been done in the following spring.

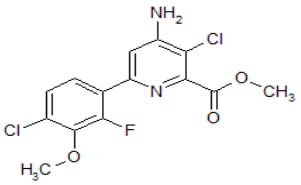
Crop selectivity and yield was evaluated in pure *Lolium sp*. swards without weed infestation at target dose (1x) and double dose rate (2x).

Characteristics of Arylex (halauxifen-methyl)

Chemical and physical properties

Chemical name	methyl 4-amino-3-chloro-6-(4-chloro-2-fluoro-3-methoxyphenyl) pyridine-2-carboxylate
Chemistry	Arylpicolinate

Chemical structure



Empirical formula	$C_{14}H_{11}Cl_2FN_2O_3$
Molecular weight	345.17 g/mol
Melting point	145.5 °C
$logP_{ow}$	pH7 = 3.76
Aqueous photostability	0.129 hours at pH7
Solubility (mg/L at 20°C)	Water at pH5 (1.66), pH7 (1.67), pH9 (1.69)

Mammalian toxicology

Acute oral	LD50>5000 mg/kg (rat)
Acute dermal	LD50>5000 mg/kg (rat)
Eye irritation	Mild irritation, resolved in 24 hours (rabbit)
Dermal irritation	Mild irritation, resolved in 24 hours (rabbit)
Adverse effects	not genotoxic, not immunotoxic, not neurotoxic, not carcinogenic, not a reproductive toxicant

Environmental toxicology

Bird acute oral	LD50>2250 mg/kg bw
Rainbow trout	LC50>2.01 mg/L
Daphnia magna	EC50>2.12 mg/L
Honey bee (oral)	LD50>108 µg/bee
Earthworm (acute)	LC50>1000 mg/kg soil
Green alga	EC50>0.245 mg/L

Arylex™ active is practically non-toxic to terrestrial species, it exhibits moderate toxicity to fish and aquatic invertebrates and moderate to high toxicity to freshwater and marine algae.

Characteristics of GF-3635

Ingredients:	halauxifen-methyl (6.7 g AE/L) + fluroxypyr-meptyl (200 g AE/L) + triclopyr-butotyl (200 g AE/L)
Formulation:	Emulsifiable Concentrate (EC)
Recommended dose rate:	1.5 L/ha
Application timing:	March-October
Mode of action:	Synthetic Auxin HRAC Group O

Results

Range finding tests

Range finding tests of Arylex™active for the use in established pasture initially have been started in 2013.

A total of three field trials were conducted in Germany to particularly assess the efficacy of Arylex against *A. sylvestris*. In that trial set Arylex was used at rates between 2.5 g AE/ha and 15.0 g AE/ha each in tank with methylated seed oil adjuvant at 0.5 L/ha.

The evaluations were carried out in the regrowth after the first cut in a period between 44 days and 66 days after the application in April and May respectively. To validate the results, the raw data were subjected to a regression analysis (Fig. 1). This showed a clear dose-response relationship. Based on this regression equation, efficiencies of Arylex against *A. sylvestris* were calculated for the application rates of 2.5, 5.0 and 7.5 g AE/ha respectively at 73.7%, 85.9% and 93.0% whereas the use rate of 10.0 g AE/ha would have an effect of 98.0% with a prediction interval between 94.5% and 100%.

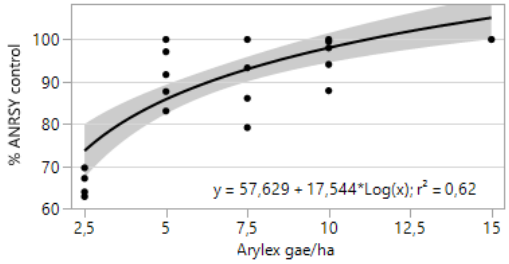


Fig. 1 Regression analysis of the effect of Arylex (plus Adjuvant) against *A. sylvestris* achieved in the regrowth after cut at 6-9 weeks after application, n=3 trials.

Abb. 1 *Regressionsanalyse der Wirkung von Arylex (plus Netzmittel) auf A. sylvestris, Bonituren im Neuaufwuchs nach Schnitt, 6-9 Wochen nach der Behandlung, n=3 Versuche.*

Tank mix studies

During the development of Arylex in the grasslands, it showed both its strengths and its gaps in the control of important broad leave weeds in established grassland and pasture. A pasture herbicide market survey carried out in Germany (KLEFFMAN, 2002) clearly showed the large economic importance of *Rumex obtusifolius, Taraxacum officinale, Ranunculus spp.* and *Urtica dioica* as well as of Umbelliferous weeds like *A. sylvestris* or *Heracleum sphondylium* and *Plantago lanceolata.*

Arylex has only a slight effect on *R. obtusifolius* and *U. dioica*, on the other hand, market-established grassland herbicides based on fluroxypyr and triclopyr have no or only minor effects on many umbelliferous weeds. It was therefore obvious to combine the individual strengths of these active ingredients in one product. For this purpose, a total of 21 field studies were carried out in Germany, France, Ireland and the United Kingdom during 2013 and 2014. The trials included Arylex at 10 g/ha applied alone, fluroxypyr and triclopyr both at 300 g/ha applied alone and the resulting tank mix of both variants. Table 1 is showing the results of these tankmix studies. The assessments have been done in the regrowth after the first cut following a spring application in April or May. Arylex™active applied alone has demonstrated good (80-90%) to excellent control (90-100%) of *H. sphondylium, A. sylvestris* and *Ranunculus repens*, significantly superior to the mixture of Fluroxypyr and Triclopyr. *Ranunculus acris* has been excellently controlled as well, even though there was no statistical difference to the performance of fluroxypyr+triclopyr which tended to be weaker. The mixture fluroxypyr+triclopyr has proven its capability in control of *R. obtusifolius* which was superior to Arylex. The 3-way mixture of Arylex+fluroxypyr+triclopyr on corresponding rates was always equal or slightly better than the mixing partners applied alone. The efficacy of both tank mix components against *T. officinalis* was comparable but reached only a level of about 70% compared to the untreated control. Although no difference could be detected from a statistical point of view, the effect of the 3-way combination was with almost 90% higher than the single effects of the two tank mix components.

Tab. 1 Comparison of Arylex at 10 g/ha + adjuvant, fluroxypyr+triclopyr at 300 g/ha each and the corresponding tank mix, spring 2013 and 2014, achieved in the regrowth after cut, 5-12 weeks after application.

Tab. 1 *Vergleich von Arylex 10 g/ha + Netzmittel, Fluroxypyr+Triclopyr mit je 300 g/ha und der entsprechenden Tankmischung, Frühjahr 2013 und 2014, Bonituren im Neuaufwuchs nach Schnitt, 5-12 Wochen nach der Behandlung.*

Weed	Trials	Arylex 10 g/ha+adjuvant		Fluroxypyr+Triclopyr 300 + 300 g/ha		Arylex+Fluro.+Triclo. 10 + 300 + 300 g/ha	
		Mean	(Min - Max)	Mean	(Min - Max)	Mean	(Min - Max)
Anthriscus sylvestris	n=3	93.9 a	(87.5 - 97.2)	32.8 b	(22.4 - 49.8)	99.4 a	(99.3 - 99.5)
Heracl. sphondylium	n=4	85.0 a	(72.3 - 90.8)	58.0 b	(39.5 - 86.8)	86.3 a	(81.5 - 92)
Ranunculus acris	n=4	90.6	(79.6 - 99.5)	58.5	(25 - 93.3)	97.0	(96 - 98)
Ranunculus repens	n=5	92.2 a	(85 - 98)	72.5 b	(56.7 - 90.8)	94.3 a	(91.3 - 97.3)
Rumex obtusifolius	n=9	38.3 b	(2.5 - 63.3)	84.2 a	(73.3 - 96.9)	85.9 a	(80.5 - 96.6)
Taraxacum officinale	n=4	71.6	(27 - 90)	69.1	(41 - 84.8)	89.6	(70.5 - 100)

Means followed by the same letter do not significantly differ (P=0.05, Tukey-Kramer HSD)

Broadleaf weed spectrum

To demonstrate the performance of GF-3635 two market standards have been chosen. Ranger® (Registration No. 007003-00) was used for most of the trials. MCPA was used as reference for the trials where *R. acris* or *R. repens* was the target weed because Ranger® has only limited effectiveness against both weeds. A total of 66 trials have been carried out in Belgium, France, Germany, Ireland and the United Kingdom between 2016 and 2018. Applications have been done either in spring to early summer (March-June) or in autumn (September-October). Table 2 shows the long-term efficacy of GF-3635 and the standards. Results were obtained either at the end of the growing period in autumn when the treatment was made in the spring (3-8 months after application) or in the following spring in case of autumn treatments (5-8 months after application).

GF-3635 significantly outperformed Ranger in efficacy against *A. sylvestris, H. sphondylium* and *Plantago lanceolata*. The effect on *R. acris* was slightly lower than that of MCPA, while GF-3635 had a slightly better effect on *R. repens*. From a statistical point of view, however, no differences were detected to the MCPA, which is characterized by its general good effect against these two weed species. There were also no significant differences in the effect of GF-3635 and Ranger against *R. obtusifolius* and *Rumex crispus*. The performance results essentially from the effect of fluroxypyr and triclopyr. Nevertheless, the GF-3635 achieves marginally better efficacy mainly by reducing the variability of the individual trial results. The same tendency is clearly evident with respect to the control of *T. officinalis*.

Tab. 2 Long-term performance of GF-3635 compared to relevant market standards, 2016-18, spring and autumn applied, assessed 3-8 months after application at the end of the growing season or in the following spring.

Tab. 2 *Langzeitwirkung von GF-3635 im Vergleich zu relevanten Marktstandards, 2016-18, Frühjahrs- u. Herbstbehandlungen, Bonituren 3-8 Monate nach der Behandlung zum Ende der Wachstumsperiode oder im folgenden Frühjahr.*

Weed	Trials	GF-3635 1.5 L/ha		Ranger® 2 L/ha		MCPA 500 2 L/ha	
		Mean	(Min-Max)	Mean	(Min-Max)	Mean	(Min-Max)
Anthriscus sylvestris	n=10	95.8 a	(88.8-100)	49.6 b	(0-96.3)		
Heracl. sphondylium	n=11	95.9 a	(78.4-100)	77.6 b	(49.8-97.5)		
Leontodon autumnalis	n=1	100	(100-100)	97.5	(97.5-97.5)		
Plantago lanceolata	n=3	93.9 a	(86.8-100)	52.2 b	(36.8-75)		
Ranunculus acris	n=6	91.2	(78.6-100)			95.7	(87.3-100)
Ranunculus repens	n=8	90.8	(80-100)			82.5	(60-99.8)
Rumex crispus	n=2	83.6	(79.7-87.5)	78.0	(72.5-83.4)		
Rumex obtusifolius	n=14	94.1	(82-100)	91.0	(53.5-100)		
Taraxacum officinale	n=13	93.6	(77.8-100)	86.1	(56.6-100)		
Urtica dioica	n=6	89.9	(79.3-99.5)	89.9	(75-99.5)		

Means followed by the same letter do not significantly differ (P=0.05, Tukey-Kramer HSD)

Crop safety and yield impact

GF-3635 has shown good grass crop selectivity but harms legumes. This is essentially based on the mode of action and the well-known clover damage of fluroxypyr and triclopyr.

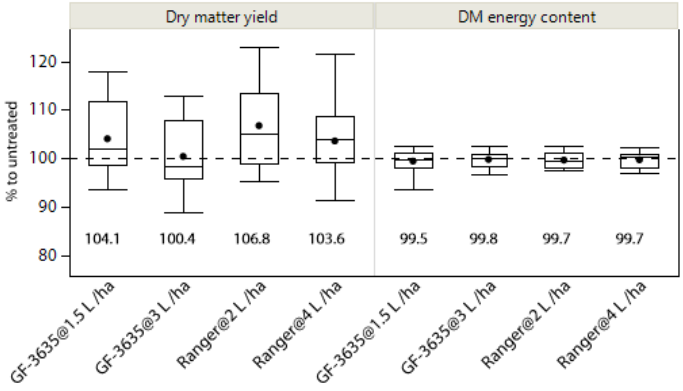


Fig. 2 Relative dry matter yield and forage energy content after application of GF-3635 and standard at x and 2x-rate in weed free *Lolium* sp. sites; n=13 trials.

Abb. 2 *Relativer Trockensubstanzertrag und Futterenergiegehalt nach Behandlung mit GF-3635 und Standard mit 1x und 2x Aufwandmenge in unkrautfreien Lolium sp. Beständen; n = 13 Versuche.*

Between 2016 and 2018 a total of 13 trials were conducted to demonstrate the grass selectivity and yield impact in weed free *Lolium perenne* and *Lolium multiflorum* sites. Applications have been done from April to June either in the first growth or in the regrowth after a cut by using the 1x and 2x rate of GF-3635 and the commercial Standard Ranger. Depending on the time of treatment and the differences in yield expectations the absolute dry matter yield differed in a range from 1.2 to 7.8 tons per hectare with a mean at 4.6 tons/ha. To eliminate this high variability from one site to another the dry matter yield relative to untreated has been calculated. The same has been done for the quality parameters where different country specific methods have been used to determine these quality parameters. GF-3635 with the requested and the double dose rate, as well as Ranger at 1x and 2x dose rate, showed no adverse effect on dry matter yield as a percentage of the

untreated. As shown in Figure 2 the yields were at least on the level of the untreated plot, sometimes slightly above it. Likewise, no negative deviations from the percentage of energy content in the dry matter were found.

Discussion

The new herbicide GF-3635 developed by Dow Agrosciences, now Corteva Agriscience, contains the active ingredients Arylex™active (halauxifen-methyl), fluroxypyr and triclopyr. Arylex belongs to the aryl picolinates, a subgroup of the synthetic auxins. GF-3635 has been specially designed to fulfill gaps of the current commercial standard Ranger® against key target weeds in established grassland and pasture. First preliminary field testing's of Arylex at 10 g AE/ha have shown the strong activity against umbelliferous weeds such as *A. sylvestris* and *H. sphondylium* but also against buttercup species. Particular importance is attached to *A. sylvestris*, as this species cannot be effectively controlled by selective acting herbicides so far (Bär et al., 2017; Benker et al., 2017).

A. sylvestris is a perennial or biennial herbaceous plant with a root turnip. The species is especially promoted by the application of slurry or manure. With its half rosette it is able to displace valuable forage grasses and has only a medium feed value (Klapp, 1971).

Selective acting herbicides in grassland and pasture should show not only a quick initial efficacy to rapidly remove unwanted and, in some cases, potentially poisonous herbs and create space for reseeding of grasses, but also a long-lasting effect for the year of treatment and beyond. In this sense, GF-3635 has demonstrated outstanding efficacy against *A. sylvestris* (95.8%), providing for the first time a product for the selective and sustainable control of this weed. The herbicidal effect against *H. sphondylium* and *P. lanceolata* are also significantly improved over the standard. One of the gaps that the standard Ranger has had so far has been the low performance on buttercups. The new combination with Arylex now achieves over 90% efficacy against *R. acris* and *R. repens* which is comparable to MCPA. Arylex alone has little impact on *Rumex spp.* and *U. dioica*, however, has a remarkable performance against *T. officinale*. This tends to increase the performance against dandelions in combination with fluroxypyr and triclopyr compared to these two active ingredients applied alone. Along with its good selectivity on important grass species, GF-3635 has demonstrated broad spectrum and long-lasting efficacy against a wide range of perennial weeds in established grassland and pasture.

References

Bär, H., E. Bergmann, R. Dittrich, K. Ewert, K. Gößner, R. Götz u. a., 2017: Pflanzschutz in Ackerbau und Grünland 2018. Eine Information der Pflanzenschutzdienste der Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-anhalt und Thüringen, 300-301.

Benker, M., D. Röhling, M. Schmid, 2017: Ratgeber Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Landwirtschaftkammer Nordrhein-Westfalen, 637-639.

Henderson, C .F., E.W. Tilton, 1955: Tests with acaricides against the brown wheat mite. Journal of Economic Entomology **48**, 157-161.

Klapp, E., 1971: Wiesen und Weiden - Eine Grünlandlehre. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.

Kleffmann Group Europe GmbH, 2002: Pasture herbicide survey, Germany.

Taube, F., 2009: Bedeutung der Nutzngsform und N-Versorgung für die Leistungsfähigkeit und N-Effizienz von Dauergrünland, DLG-Grünlandtagung, Iden, Tagungsband, 55-64.

Bekämpfung von Zwischenfrüchten in Folgekulturen

Control of intercrops in succeeding crops

Lisa Köhler*, Dirk Michael Wolber, Goßwinth Warnecke-Busch

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Wunstorfer Landstraße 9, 30453 Hannover
*Korrespondierende Autorin, lisa.koehler@lwk-niedersachsen.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.023

Zusammenfassung

Der Anbau von Zwischenfrüchten hat in vielfältiger Weise Einfluss auf das gesamte Anbausystem. So etwa in Hinblick auf die Speicherung von Nährstoffen, die Bildung von Humus, die Produktion von Biomasse, die Bekämpfung von Nematoden sowie den Erosionsschutz (LWK-NIEDERSACHSEN.de, 2019). Der Anbau von Zwischenfrüchten kann zu Problemen führen, wenn diese vor dem Abschlegeln zur Samenreife kommen oder in milden Wintern nicht abfrieren. Um Erfahrungen zur Bekämpfung von Zwischenfrüchten in Folgekulturen zu gewinnen, wurde in einem Freilandversuch die Wirksamkeit von 23 Herbiziden gegenüber 19 wichtigen im Anbau befindlichen Zwischenfrüchten getestet. Die Auswahl der eingesetzten Herbizide zur Bekämpfung der Zwischenfrüchte erfolgte bis auf wenige Ausnahmen auf Basis zugelassener Indikationen in den Kulturen Zuckerrübe, Mais, Raps, Kartoffel und Getreide. Außerdem kamen zwei nicht selektive Herbizide zum Einsatz. Die Zuckerrübenherbizide wurden praxisüblich zu 3 Terminen gesplittet ausgebracht, die anderen Herbizide wurden einmalig appliziert. Der Versuch bietet einen vielfältigen Einblick unterschiedlicher Wirkspektren der Herbizide in Bezug auf einzelne Zwischenfrüchte.

Stichwörter: Bekämpfung, Freilandversuch, Herbizid, Zwischenfrüchte

Abstract

The cultivation of intercrops has an influence on the entire cultivation system in many ways. For example, with regard to the storage of nutrients, the formation of humus, the production of biomass, the control of nematodes and erosion control (LWK-NIEDERSACHSEN.de, 2019). The cultivation of intercrops can lead to problems if they reach seed ripeness before they are cut down or if they do not freeze in mild winters. In order to gain experience in combating intercrops in subsequent crops, the efficacy of 23 herbicides against 19 important intercrops in cultivation was tested in a field trial. The herbicides used to control the intercrops were selected, with a few exceptions, on the basis of approved indications in the crops sugar beet, maize, rapeseed, potato and cereals. In addition, two non-selective herbicides were used. The sugar beet herbicides were applied at 3 dates splitted, the other herbicides were applied once. The experiment offers a varied insight into the different effect spectra of the herbicides in relation to individual intercrops.

Keywords: Control, field trial, herbicide, intercrop

Einleitung

Der Anbau von Zwischenfrüchten kann zum einen als Greening, deklariert sein, wobei bestimmte Auflagen, die ab dem 1 Januar 2015 in Kraft traten, erfüllt sein müssen. Hier wäre sowohl die Wahl der Zwischenfrüchte, bzw. die Saatgutmischung, Saatzeitpunkt, Düngung, Pflanzenschutzmitteleinsatz, als auch Nutzung und Bearbeitung des Aufwuchses zu nennen (LWK-NIEDERSACHSEN.de, 2019). Zum anderen können Zwischenfrüchte beliebig in die Fruchtfolge eingebunden werden. Die Zwischenfrüchte bieten hierbei eine Reihe an Vorteilen, wobei unter anderem die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, Nährstoffversorgung und Unterdrückung und Reduzierung bestimmter Unkräuter, Krankheiten und Schädlinge im Vordergrund steht (OEKOLANDBAU.de, 2019).

Die Wahl der Zwischenfrüchte richtet sich nach der Fruchtfolge und den Standortgegebenheiten.

Die derzeitig in den Hauptkulturen zugelassenen Herbizide haben teilweise ein breites Wirkungsspektrum im Bezug auf diverse Unkräuter. Inwieweit nicht abgefrorene oder ausgesamte Zwischenfrüchte bekämpft werden können, wurde in einem Freilandversuch geprüft.

Material und Methoden

Am 12. April 2019 wurden 19 Zwischenfruchtarten mit einer Parzellensämaschine (1,5 m) in 60 m langen Streifen nebeneinander ausgesät. Bei den Zwischenfrüchten handelte es sich um: Phacelia, Buchweizen, Ölrettich, Ramtillkraut, Sommer- und Winterwicken, Perser-, Inkarnat-, und Alexandrinerklee, Serradella, Deeptill Rettich, Luzerne, Sonnenblume, Felderbse, Ackerbohne, Leindotter, Bitterlupine, Weißen Senf und Öllein. Quer zur Drillrichtung der Zwischenfrüchte wurden 23 unterschiedliche Herbizide in einer Breite von 3 m aus den Gruppen der Rüben-, Mais-, Raps-, Kartoffel-, Getreide- sowie der nicht selektiven Herbizide mit einer Parzellenspritze appliziert (Tab. 1, Tab. 2). Zusätzlich wurde eine unbehandelte Parzelle angelegt, die als Kontrolle diente. Die Parzellengröße betrug 4,5 m^2. Die Parzellen wurden ohne Wiederholung angelegt. Die Zeitpunkte der Applikationen richteten sich nach dem Entwicklungsstadium der Zwischenfrüchte. Die Rübenherbizide wurden praxisüblich zu drei Applikationsterminen ausgebracht. Die erste Rübenherbizid-Behandlung fand 13 Tage nach der Aussaat statt. Die Zwischenfrüchte liefen gerade auf und hatten beide Keimblätter entfaltet. 18 Tage nach der Aussaat wurden die Kartoffelherbizid-Varianten appliziert. 25 Tage nach der Aussaat (07.05.2019) wurden die Rübenherbizid-Varianten (2. Teilbehandlung) und die Mais-, Raps-, Getreideherbizide sowie die nichtselektiven Herbizide ausgebracht. Zu dem Zeitpunkt war das zweite Laubblatt der Zwischenfrüchte sichtbar. Der letzte Einsatz der Rübenherbizide erfolgte am 17.05.2019, 35 Tage nach der Aussaat. Sämtliche Herbizid Varianten sind in Tab.1 zusammengefasst. Die einzige Bonitur erfolgte am 02.06.2019. Auf Grundlage der geschätzten Deckungsgrade (%) in den Kontrollparzellen wurde der Wirkungsgrad (%) in den behandelten Varianten ermittelt.

Tab. 1 Eingesetzte Herbizide

Tab. 1 *Used herbicides*

	BBCH 10-11 25.04.2019	**BBCH 10-11 30.04.2019**	**BBCH 10-12 07.05.2019**	**BBCH 11-13 17.05.2019**
1	Belvedere Duo 2,0 l/ha Goltix Titan 2,0 l/ha		Belvedere Duo 2,0 l/ha Goltix Titan 2,0 l/ha	Belvedere Duo 2,0 l/ha Goltix Titan 2,0 l/ha
2	Betanal MaxxPro 1,5 l/ha Goltix Titan 2,0 l/ha Prüfmittel FHS (Debut) 0,25 l/ha Vivendi 100 0,2 l/h		Betanal MaxxPro 1,5 l/ha Goltix Titan 2,0 l/ha Prüfmittel FHS (Debut) 0,25 l/ha Vivendi 100 0,5 l/ha	Betanal MaxxPro 1,5 l/ha Goltix Titan 2,0 l/ha Prüfmittel FHS (Debut) 0,25 l/ha Vivendi 100 0,5 l/ha
3	Goltix Titan 2,0 l/ha Prüfmittel 0,21 kg/ha FHS (Debut) 0,25 l/ha Vivendi 100 0,2 l/ha		Goltix Titan 2,0 l/ha Prüfmittel 0,21kg/ha FHS (Debut) 0,25 l/ha Vivendi 100 0,5 l/ha Spectrum 0,3 l/ha	Goltix Titan 2,0 l/ha Prüfmittel 0,21kg/ha FHS (Debut) 0,25 l/ha Vivendi 100 0,5 l/ha Spectrum 0,6 l/ha
4			MaisTer Power 1,5 l/ha	
5			Laudis 2,25 l/ha	
6			Callisto 1,5 l/ha	
7			Calaris 1,5 l/ha	
8			Callisto 0,5 l/ha + Harmony SX 0,01kg/ha	
9			Arrat 0,2 kg/ha + Dash 1,0 l/ha	
10			Roundup Powerflex 3,75 l/ha	
11			Kyleo 5,0 l/ha	
12			Fox 1,5 l/ha	
13			Belkar 0,5 l/ha + Synero 0,25 l/ha	
14			Korvetto 1,0 l/ha	
15		Sencor Liquid 0,9 l/ha		
16		Boxer 3,5 l/ha + Sencor Liquid 0,5 l/ha		
17		Boxer 2,5 l/ha + Bandur 2,5 l/ha		
18			Omnera LQM 1,0 l/ha	
19			Ariane C 1,5 l/ha	
20			Zypar 1,0 l/ha	
21			Artus 0,05 kg/ha	
22			Finy 0,025 kg/ha	
23			Biathlon 4 D 0,07 l/ha + Dash 1,0 l/ha	

Tab. 2 Wirkstoffe der Herbizide

Tab. 2 *Active ingredients of herbicides*

Kultur	Herbizid	Wirkstoffe		
Zuckerrübe	Belvedere Duo	Ethofumesat 200 g/l	Phenmedipham 200 g/l	
Zuckerrübe	Goltix Titan	Metamitron 525 g/l	Quinmerac 40 g/l	
Zuckerrübe	Betanal Maxx Pro	Ethofumesat 75 g/l	Phenmedipham 60 g/l	Desmedipham 47 g/l Lenacil 27 g/l
Zuckerrübe	Vivendi 100	Clopyralid 100 g/l		
Zuckerrübe	Spectrum	Dimethenamid-P 720 g/l		
Zuckerrübe	Prüfmittel	Triflusulfuron Methyl	Lenacil	
Mais	MaisTer power	Foramsulfuron 30 g/l	Thiencarbazone 9,77 g/l	Iodosulfuron 0,85 g/l
Mais	Laudis	Tembotrione 44 g/l		
Mais	Calaris	Mesotrione 70 g/l	Terbuthylazin 330 g/l	
Mais	Callisto	Mesotrione 100 g/l		
Mais	Harmony SX	Thifensulfuron 480,6 g/kg		
Mais	Arrat	Dicamba 500 g/kg	Tritosulfuron 250 g/kg	
Ackerbau-kulturen	Roundup Powerflex	Glyphosat 480 g/l		
Ackerbau-kulturen	Kyleo	Glyphosat 240 g/l	2,4 D 160 g/l	
Winterraps	Fox	Bifenox 480 g/l		
Winterraps	Belkar	Picloram 48 g/l	Halauxifen-methyl 10 g/l	
Winterraps	Synero	Aminopyralid 30 g/l		
Winterraps	Korvetto	Clopyralid 120 g/l	Halauxifen-methyl 5 g/l	
Kartoffel	Sencor Liquid	Metribuzin 600 g/l		
Kartoffel	Boxer	Prosulfocarb 800 g/l		
Kartoffel	Bandur	Aclonifen 600 g/l		
Getreide	Omnera LQM	Fluroxypyr 135 g/l	Thifensulfuron 28,91 g/l	Metsulfuron 4,82 g/l
Getreide	Ariane C	Fluroxypyr 100 g/l	Clopyralid 80 g/l	Florasulam 2,5 g/l
Getreide	Zypar	Halauxifen-methyl 6,25 g/l	Florasulam 5 g/l	Cloquintocet 3,95 g/l
Getreide	Artus	Carfentrazone 372,80 g/kg	Metsulfuron 96,30 g/kg	
Getreide	Finy	Metsulfuron 192,70 g/kg		
Getreide	Biathlon 4 D	Tritosulfuron 714 g/kg	Florasulam 54 g/kg	

Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass es in Zuckerrüben, Mais, sowie Getreide Möglichkeiten gibt unerwünscht aufgelaufene Zwischenfrüchte zu bekämpfen. Im Bereich der Zuckerrüben überzeugte die Variante Betanal Maxx Pro + Goltix Titan + Prüfmittel + FHS + Vivendi, denn bis auf die Bitterlupine (92 %) und den Öllein (96 %) wurden in dieser Variante alle Zwischenfrüchte zu 100 % kontrolliert. Die Wirkungsgrade der Zuckerrübenherbizide sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Bei den Maisherbiziden zeigte MaisTer Power eine sichere Wirkung gegen alle 19 ausgesäten Zwischenfrüchte. Auch das Herbizid Calaris zeigte im Vergleich zu Callisto eine sehr gute Wirkung auf alle 19 Zwischenfrüchte, was durch den zusätzlich ausgebrachten Wirkstoffe Terbuthylazin zu erklären ist, siehe Tabelle 4.

Die beiden nicht selektiven Herbizid-Varianten Roundup Powerflex und Kyleo zeigten ebenfalls eine breite Wirkung, wobei die Wirkung beider gegen Sommer- und Winterwicken sowie Ackerbohne nicht ausreichend war. Kyleo zeigte in allen Varianten bessere Wirkungsgrade als Roundup Powerflex, wobei der Unterschied der Wirkung von Roundup Powerflex zu Kyleo in der Wirkung gegen die Felderbse und Sommer- und Winterwicke an stärksten war, siehe Tabelle 6.

Die Rapsherbizide zeigten sehr unterschiedliche Wirkungen, wobei der Ölrettich und der Senf in Raps nicht bekämpft werden können, da diese beiden Kulturen wie der Raps zur Familie der Kreuzblütler gehören. Von den drei Rapsherbiziden schnitt Korvetto, welches ausschließlich im

Frühjahr im Raps zuglassen ist, am besten ab, es wirkte gegen Ramtillkraut, Sommer- und Winterwicken, Perserklee, Inkarnatklee, Alexandrinerklee, Luzerne und Sonnenblume, siehe Tabelle 3.

Tab. 3 Wirksamkeit (%) verschiedener in Zuckerrüben eingesetzter Tankmischungen und Raps Herbizide gegenüber 19 Zwischenfruchtarten

Tab. 3 *Efficacy (%) of different tank mixes in sugar beet and rapeseed herbicides against 19 intercrops*

NAK 1	**Belvedere Duo 2,0 l/ha GOLTIX TITAN 2,0 l/ha**	**Betanal MaxxPro 1,5 l/ha GOLTIX TITAN 2,0 l/ha Prüfmittel FHS (Debut) 0,25 l/ha Vivendi 100 0,2 l/ha**	**GOLTIX TITAN 2,0 l/ha Prüfmittel FHS (Debut) 0,25 l/ha Vivendi 100 0,2 l/ha**			
NAK 2	**Belvedere Duo 2,0 l/ha GOLTIX TITAN 2,0 l/ha**	**Betanal MaxxPro 1,5 l/ha GOLTIX TITAN 2,0 l/ha Prüfmittel FHS (Debut) 0,25 l/ha Vivendi 100 0,5 l/ha**	**GOLTIX TITAN 2,0 l/ha Prüfmittel FHS (Debut) 0,25 l/ha Vivendi 100 0,5 l/ha Spectrum 0,3 l/ha**	**Fox 1,5 l/ha**	**Belkar 0,5 l/ha Synero 0,25 l/ha**	**Korvetto 1,0 l/ha**
NAK 3	**Belvedere Duo 2,0 l/ha GOLTIX TITAN 2,0 l/ha**	**Betanal MaxxPro 1,5 l/ha GOLTIX TITAN 2,0 l/ha Prüfmittel FHS (Debut) 0,25 l/ha Vivendi 100 0,5 l/ha**	**GOLTIX TITAN 2,0 l/ha Prüfmittel FHS (Debut) 0,25 kg/ha Vivendi 100 0,5 l/ha Spectrum 0,6 l/ha**			
Phacelia	99	100	100	65	75	50
Buchweizen	100	100	100	100	50	40
Ölrettich	98	100	100	35	30	30
Ramtillkraut	100	100	100	65	100	100
Sommerwicken	95	100	100	50	100	100
Winterwicken	70	100	100	50	100	100
Perserklee	100	100	100	40	99	98
Inkarnatklee	100	100	100	30	99	97
Alexandrinerklee	100	100	100	60	90	97
Serradella	98	100	100	50	70	90
Rettich Deeptill	100	100	100	90	40	60
Luzerne	98	100	100	60	99	100
Sonnenblume	75	100	100	10	60	96
Felderbse	30	100	97	10	92	94
Ackerbohne	40	100	99	50	92	94
Leindotter	100	100	98	85	80	80
Bitterlupine blau	45	92	90	40	80	65
weißer Senf	100	100	100	5	5	20
Öllein	99	96	88	30	96	87

Die drei Kartoffelherbizide zeigten alle eine Schwäche in der Wirkung gegen Felderbse und Ackerbohne. Problemlos bekämpft wurden in allen Kartoffelherbizid-Varianten Phacelia, Buchweizen, Ölrettich, Ramtillkraut, Perser- Inkarnat- und Alexandrinerklee, Serradella, Rettich Deeptill, Luzerne Leindotter und Weißer Senf, siehe Tabelle 6.

Die beiden Getreideherbizide Omnera LQM und Ariane C zeigten in allen Zwischenfrüchten mehr als 90 % Wirkung und sind somit die beiden Getreideherbizide, die die breiteste Wirkung in diesem Versuch aufwiesen. Artus zeigte Wirkungslücken bei den Wicken und der Bitterlupine, wobei die Sommerwicke zu 30 % bekämpft wurde, die Winterwicke und Bitterlupine jeweils zu 75 %. Ähnliche Wirkungsgrade zeigte Finy im Bereich der Wickenarten. Keine Wirkung hingegen wurde mit Finy gegen Öllein erzielt. Biathlon 4 D zeigte gegen alle Zwischenfrüchte Wirkungsgrade von über 76 %,

wobei die Felderbse mit 77 % Wirkung am schlechtesten bekämpft wurde. Die Ackerbohne und die Winterwicke wurden zu jeweils 80 % bekämpft, siehe Tabelle 5.

Insgesamt stellte sich heraus, dass der Öllein von allen Zwischenfrüchten in der Summe am schlechtesten und das Ramtillkraut am besten bekämpft wurde. Die beste Wirkung des gesamten Versuches wurde mit der in Zuckerrüben möglichen Variante Betanal Maxx Pro + Goltix Titan + Prüfmittel + FHS + Vivendi erzielt, während das Rapsherbizid Fox die geringste Breitenwirkung aufwies.

Tab. 4 Wirksamkeit (%) verschiedener Maisherbizide gegenüber 19 Zwischenfruchtarten.

Tab. 4 *Efficacy (%) of different maize herbicides against 19 intercrops.*

	MaisTer - power 1,5l/ha	**Laudis 2,25 l/ha**	**Callisto 1,5 l/ha**	**Calaris 1,5 l/ha**	**Callisto 0,75 l/ha HARMONY SX 0,01 kg/ha**	**Arrat 0,2 l/ha FHS (Dash EC) 1,0 l/ha**
Phacelia	100	75	25	100	80	100
Buchweizen	98	98	70	100	65	98
Ölrettich	100	100	93	100	85	99
Ramtillkraut	100	100	98	100	95	100
Sommerwicken	95	88	55	100	40	93
Winterwicken	80	90	70	95	65	77
Perserklee	96	100	80	100	70	88
Inkarnatklee	97	70	35	99	70	90
Alexandrinerklee	100	100	92	100	85	95
Serradella	95	99	90	100	70	70
Rettich Deeptill	100	100	94	100	96	99
Luzerne	95	97	35	99	40	97
Sonnenblume	99	98	90	97	90	93
Felderbse	90	99	92	100	60	80
Ackerbohne	90	94	50	100	60	80
Leindotter	100	80	99	100	98	100
Bitterlupine blau	90	92	45	98	75	75
Weißer Senf	100	99	30	99	70	99
Öllein	98	25	5	98	20	50

Tab. 5 Wirksamkeit (%) verschiedener Getreideherbizide gegenüber 19 Zwischenfruchtarten.

Tab. 5 *Efficacy (%) of various cereal herbicides against 19 intercrops.*

	OMNERA LQM 1,0 l/ha	**Ariane C 1,5 l/ha**	**Zypar 1,0 l/ha**	**ARTUS 0,05 kg/ha**	**Finy 0,025 kg/ha**	**Biathlon 4D 0,07 l/ha FHS (Dash EC) 1,0 l/ha**
Phacelia	100	100	95	100	95	100
Buchweizen	100	97	75	100	98	98
Ölrettich	100	98	100	100	100	100
Ramtillkraut	100	100	100	100	100	100
Sommerwicken	90	100	90	30	40	95
Winterwicken	85	100	95	75	75	80
Perserklee	100	100	99	99	99	99
Inkarnatklee	95	95	90	99	90	85
Alexandrinerklee	99	96	95	100	97	99
Serradella	97	90	80	95	90	85
Rettich Deeptill	100	100	100	100	100	100
Luzerne	95	100	95	85	98	97
Sonnenblume	98	98	95	100	75	100
Felderbse	98	96	85	85	75	77
Ackerbohne	95	95	88	88	80	80
Leindotter	100	100	100	100	97	100
Bitterlupine blau	98	98	98	75	65	98
Weißer Senf	100	99	97	99	100	100
Öllein	95	92	97	97	5	88

Tab. 6 Wirksamkeit (%) zweier nichtselektiver und verschiedener in Kartoffeln eingesetzter Herbizide

Tab. 6 *Efficacy (%) of two non-selective and different herbicides used in potatoes against 19 intercrops.*

	Roundup Power Flex 3,75 l/ha	**Kyleo 5,0 l/ha**	**Sencor Liquid 0,9 l/ha**	**Boxer 3,5 l/ha Sencor Liquid 0,5 l/ha**	**Boxer 2,5 l/ha Bandur 2,5 l/ha**
Phacelia	96	97	100	100	100
Buchweizen	100	98	100	100	100
Ölrettich	98	100	100	100	100
Ramtillkraut	97	100	100	100	97
Sommerwicken	80	92	55	75	92
Winterwicken	70	95	77	85	85
Perserklee	95	97	100	100	100
Inkarnatklee	97	99	100	100	100
Alexandrinerklee	98	100	100	100	100
Serradella	100	99	100	99	100
Rettich Deeptill	98	100	100	100	100
Luzerne	96	100	100	98	100
Sonnenblume	90	95	85	85	55
Felderbse	92	100	40	50	50
Ackerbohne	70	70	30	65	50
Leindotter	100	100	100	100	100
Bitterlupine blau	98	100	40	85	65
Weißer Senf	98	100	100	100	100
Öllein	100	100	100	100	92

Diskussion

Der Versuch zeigt die Möglichkeiten auf Zwischenfrüchte zu bekämpfen, wenn diese in nachfolgenden Kulturen auftreten. Dabei ist die Konkurrenzfähigkeit der einzelnen Kulturen in dem Versuch nicht berücksichtigt. Auch unberücksichtigt bleibt die Eignung jeder Zwischenfrucht für die jeweilige Fruchtfolge. Demnach ist es nicht empfehlenswert, Ramtillkraut, Sonnenblumen, Perser- und Alexandrinerklee sowie Sommerwicken in eine Rapsfruchtfolge einzubauen, da Weißstängeligkeit gefördert wird. Bei Anbau von Senf und anderen kreuzblütigen Arten steigt das Potential für Kohlhernie. Auch in anderen Kulturen sind bestimmte Zwischenfrüchte im Hinblick auf Schädlingsvermehrung nicht empfehlenswert wie z. B. in Rübenfruchtfolgen die Rübenzystennematoden und in Kartoffeln unter anderem wandernde Wurzelnematoden, Rhizoctonia oder Eisenfleckigkeit (SCHLATHÖLTER, 2015).

Dennoch zeigen sich in den Zuckerrüben die meisten Möglichkeiten, mit Herbiziden im 3-fachen Splitting Zwischenfrüchte zu bekämpfen. Dabei wird in der Literatur vielfach der Buchweizen in Rübenfruchtfolgen als problematisch angesehen, da er als Knöterichgewächs nur schwer bekämpfbar ist (HOFFMANN und SCHAPER, 2015, BISZ.SUEDZUCKER.de, 2019). Ein Gefäßversuch mit 4-facher Wiederholung der FH-Südwestfalen mit dem Titel „Versuch zur Bekämpfung aussamender Zwischenfrüchte als Unkraut in nachfolgenden Zuckerrüben" (HABERLAH-KNORR et al., 2018) zeigte Wirkungsgrade von 90 %, bonitiert 21 Tage nach einer einmaligen Applikation von Goltix Titan 2,0 l/ha + Belvedere Extra 1,25 l/ha gegen Buchweizen. In einem anderen Versuch der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, der im Freiland als Streifenversuch angelegt worden war, konnte der Buchweizen mit einer Einmalbehandlung von Goltix Titan 2 l/ha + Betanal Maxx Pro 2 l/ha nur zu 20 % bekämpft werden. Die Ergebnisse schwanken je Versuchsort und Jahr stark in einzelnen Varianten.

Der Zwischenfruchtanbau bietet durch Mischungen aus verschiedenen Pflanzenfamilien die Möglichkeit Ackerbausysteme zu verbessern. Bei der Wahl der Zwischenfrucht-Mischungen ist zu beachten, dass die Zwischenfrüchte unterschiedliche Temperaturempfindlichkeiten aufweisen, so ist die Sonnenblume sehr frostempfindlich, während Phacelia erst ab Temperaturen unter 8 °C minus abfriert (DSV.de, 2019). Die Temperaturen in den unterschiedlichen Jahren spielen demnach auch eine große Rolle für das Wachstum und die Samenbildung der Zwischenfrüchte.

Literatur

BISZ.SUEDZUCKER.de, https://bisz.suedzucker.de/anbau/zwischenfruchtanbau/mischungen/ (04.09.2019)

DSV ARTENKOMPASS,https://www.dsv-saaten.de/zwischenfruechte/terralife/artenkompass/sonnenblume.html (13.09.2019)

HABERLAH-KORR, V., I. HENNEKEN, F. STUKE, 2018: Versuche zur Bekämpfung aussamender Zwischenfrüchte als Unkraut in nachfolgenden Zuckerrüben. Julius-Kühn-Archiv **458**, 486-493.

HOFFMANN, A., J. SCHAPER, 2015: Zwischenfruchtanbau- auch bei Greening (k)ein Problem!? Zuckerrübe. 46.

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, Agrarreform: Greeningrechner schafft Klarheit,

https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/360/article/25441.html, (21.08.2019).

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, Von der Natur lernen: Zwischenfruchtmischungen zur Auflockerung der Fruchtfolge,

https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/279/article/19644.html, (23.08.2019).

LWK NRW – Landwirtschaftskammer NRW, Ratgeber Pflanzenbau und Pflanzenschutz, 2016. Kapitel 8 Getreideanbau. 234-235.

OEKOLANDBAU, Zwischenfrüchte: Anbaugrundsätze, Mischungsbeispiele,

https://www.oekolandbau.de/index.php?id=1471 (23.08.2019)

SCHLATHÖLTER, M., 2015: Greening: den Zwischenfruchtanbau neu strukturieren. Praxisnah **2**/2015. 18.

AG-FDP1-433 SC – Ein neues breit wirksames Herbizid für Herbstanwendungen in Wintergetreide gegen wichtige Ungräser und einjährige Unkräuter

AG-FDP1-433 SC – A new cereal herbicide for autumn application with a broad spectrum of efficacy against important grass weeds and dicotyledonous weeds

Marie Rischen[1*], Ewald Schenke[1], Dörte Goertz[2]

[1]ADAMA Deutschland GmbH, Edmund-Rumpler-Straße 6, 51149 Köln
[2]SCC Scientific Consulting Company GmbH, Am Grenzgraben 11, 55545 Bad Kreuznach
*Korrespondierende Autorin, marie.rischen@adama.com

DOI 10.5073/jka.2020.464.024

Zusammenfassung

Mit der Formulierung AG-FDP1-433 SC hat ADAMA Deutschland GmbH ein breit wirksames Herbizid für den Herbsteinsatz im Wintergetreide entwickelt, welches sehr flexibel im Vorauflauf (BBCH-Stadium 00-09) oder Nachauflauf (BBCH-Stadium 10-29) angewendet werden kann. Das Produkt ist ein Suspensionskonzentrat (SC), und enthält die drei bekannten Wirkstoffe Flufenacet (80 g/L), Diflufenican (20 g/L) und Pendimethalin (333 g/L). Die Aufwandmenge, ermittelt in 69 GEP Feldversuchen in Deutschland, Belgien, Nord-Frankreich und dem Vereinigtem Königreich in den Jahren 2014 und 2015, beträgt für die Kontrolle von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*), Gemeinem Windhalm (*Apera spica-venti*), einjährigem Rispengras (*Poa annua*) sowie einjährigen dikotylen Unkräutern 3,0 L/ha. Eine geringere Aufwandmenge von 2,25 L/ha AG-FDP1-433 SC ist ebenfalls sehr gut wirksam gegen Gemeinen Windhalm, einjähriges Rispengras und zahlreiche einjährige dikotyle Unkräuter.

Die Kulturpflanzenverträglichkeit von AG-FDP1-433 SC wurde in 106 zulassungsrelevanten Selektivitätsversuchen (51 Vor- und 55 Nachauflaufversuchen) und in 69 Wirksamkeitsversuchen (32 Vor- und 37 Nachauflaufversuche) in Winterweichweizen (42 Sorten), Wintergerste (21 Sorten), Winterroggen (11 Sorten) und Wintertriticale (9 Sorten) getestet. In Fällen, in denen leichte phytotoxische Symptome wie Chlorosen oder Stauchungen beobachtet wurden, verschwanden diese Symptome im Verlauf der Wachstumsperiode ohne Einfluss auf den Ertrag oder die Qualität zu nehmen.

Die Formulierung AG-FDP1-433 SC kombiniert die Wirkstoffe Pendimethalin (HRAC: K1), Flufenacet (HRAC: K3) und Diflufenican (HRAC: F1), welche sich durch drei verschiedene Wirkungsmechanismen auszeichnen. Die sehr geringe Zahl berichteter Resistenzen in Europa lässt auf ein mittleres Resistenzrisiko der drei Wirkstoffe schließen. Durch die Kombination dieser drei Wirkstoffe mit ihren unterschiedlichen Wirkmechanismen, kann für die Formulierung AG-FDP1-433 SC eine weitere Reduktion des Resistenzrisikos angenommen werden, was AG-FDP1-433 SC zu einem wichtigen Baustein im Herbizid-Resistenzmanagement in der maritimen Zone macht.

Stichwörter: Herbizid, Herbstanwendung, Unkräuter, Ungräser, Wintergetreide

Abstract

AG-FDP1-433 SC, developed by ADAMA Deutschland GmbH, is a cereal herbicide with a broad spectrum of efficacy that can be applied in autumn from pre-emergence (BBCH Stage 00-09) to post-emergence (BBCH Stage 10-29) under a large range of environmental conditions. The product is a suspension concentrate (SC) containing the active substances flufenacet (80 g/L), diflufenican (20 g/L) and pendimethalin (333 g/L). 69 GEP field trials, done in Belgium, Germany, Northern France and UK in 2014 and 2015, allow adjusting the application rate to key target weeds. For very good to excellent control of black-grass (*Alopecurus myosuroides*), loose silky bent (*Apera spica-venti*), annual meadowgrass (*Poa annua*) and annual dicotyledonous weeds 3.0 L/ha are required, whereas a lower application rate of 2.25 L/ha AG-FDP1-433 SC is still very effective against loose silky bent, annual meadowgrass and many annual dicotyledonous weeds.

Crop selectivity of AG-FDP1-433 SC was determined in 106 selectivity trials (51 pre- and 55 post-emergence) and in 69 efficacy trials (32 pre- and 37 post-emergence) in winter cereals: wheat (42 varieties), barley (21 varieties), rye (11 varieties) and triticale (9 varieties). When minor phytotoxicity symptoms, e.g. chlorosis or stunting, had been observed, these were only transient and had no effect on yield or quality.

The formulation AG-FDP1-433 SC combines the active substances pendimethalin (HRAC: K1), flufenacet (HRAC: K3) and diflufenican (HRAC: F1), which are characterized by three different modes of action. Currently a very low number of resistance cases has been reported for these active substances in Europe, which is why their resistance risk is classified as medium. By combining these three active substances with their different modes of

action, a further reduction of the resistance risk of the formulation can be assumed, making AG-FDP1-433 SC an important tool for reducing the further spread of herbicide resistance in the maritime zone.

Keywords: Autumn application, broadleaved weeds, grass weeds, herbicide, winter cereals

Einleitung

ADAMA hat mit der Formulierung AG-FDP1-433 SC ein neues Herbizid entwickelt, welches erstmalig die drei Wirkstoffe Flufenacet, Diflufenican und Pendimethalin kombiniert. Das neue Produkt ist wirksam gegen dikotyle Unkräuter und gegen Gräser wie Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*), Gemeinen Windhalm (*Apera spica-venti*) und einjähriges Rispengras (*Poa annua*). Es kann im Vorauflauf oder Nachauflauf im Wintergetreide eingesetzt werden. Der Applikationszeitraum erstreckt sich für eine einmalige Anwendung von September bis Dezember und einem BBCH-Stadium von BBCH 00 - 09 oder BBCH 10 – 29.

Tab. 1 Produktprofil der Formulierung AG-FDP1-433 SC.

Tab. 1 *Product profile of the formulation AG-FDP1-433 SC.*

Formulierung	Formulierungstyp	Wirkstoffe	Klassifizierung (HRAC) der Wirkstoffe
AG-FDP1-433 SC	SC	Flufenacet (80 g/L) Diflufenican (20 g/L) Pendimethalin (333 g/L)	K3 F1 K1

Tab. 2 Anwendungsprofil der Formulierung AG-FDP1-433 SC.

Tab. 2 *Use profile of the formulation AG-FDP1-433 SC.*

Formulierung	AG-FDP1-433 SC	AG-FDP1-433 SC
Aufwandmenge	3 L/ha	2,25 L/ha
Wirkstoff 1	Flufenacet (240 g/ha)	Flufenacet (180 g/ha)
Wirkstoff 2	Diflufenican (60 g/ha)	Diflufenican (45 g/ha)
Wirkstoff 3	Pendimethalin (999 g/ha)	Pendimethalin (749 g/ha)
Applikationszeitpunkt	BBCH 00 - 09 oder BBCH 10 - 29 September - Dezember	BBCH 00 - 09 oder BBCH 10 - 29 September - Dezember
Anwendungen	einjährige dikotyle Unkräuter, *Alopecurus myosuroides* (Acker-Fuchsschwanz), *Apera spica-venti* (Gemeiner Windhalm), *Poa annua* (einjähriges Rispengras) Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste, Wintertriticale	einjährige dikotyle Unkräuter, *Apera spica-venti* (Gemeiner Windhalm), *Poa annua* (einjähriges Rispengras) Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste, Wintertriticale
Anzahl der Anwendungen	1	1

Material und Methoden

69 Feldversuche wurden durchgeführt, um die Wirksamkeit und die minimale Aufwandmenge von AG-FDP1-433 SC zur Kontrolle von dikotylen Unkräutern und Gräsern im Wintergetreide zu bestimmen. Die Versuche wurden über einen Zeitraum von zwei Jahren von 2014 bis 2015 in Belgien, Deutschland, Nordfrankreich und dem Vereinigten Königreich von GEP-akkreditierten Versuchsstationen nach den relevanten EPPO-Standards durchgeführt. In 32 Versuchen wurde AG-FDP1-433 SC im Vorauflauf angewendet, in 37 Versuchen im Nachauflauf. Die Wirksamkeit (% zur unbehandelten Kontrolle) von AG-FDP1-433 SC wurde ebenfalls nach EPPO-Standards bonitiert. Unkräuter, deren Dichte in den Kontrollflächen unter 5% oder deren Anzahl unter 5 Pflanzen/m^2 lag, wurden nicht in eine weitere Analyse der Versuche mit einbezogen.

Phytotoxische Effekte von AG-FDP1-433 SC wurden bei der Zieldosierung von 3,0 L/ha und der doppelten Zieldosierung von 6,0 L/ha im Wintergetreide (Gerste, Weizen, Hafer, Roggen, Triticale) in 106 Selektivitätsversuchen mit 51 Versuchen im Vorauflauf und 55 Versuchen im Nachauflauf untersucht. Alle Versuche wurden nach EPPO-Standards durch GEP-zertifizierte Versuchsstationen in den Jahren 2014 – 2015 durchgeführt.

Ergebnisse

Wirkungsspektrum von AG-FDP1-433 SC

Tab. 3 Wirksamkeit (%), geschätzt oder berechnet nach Abbott) von AG-FDP1-433 SC bei einer Aufwandmenge von 3,0 L/ha bzw. 2,25 L/ha zum 2. Boniturtermin (BBCH 21-32) bei einer Vorauflauf- und Nachauflaufbehandlung. Angegeben sind der Mittelwert [%], Minimum (Min) und Maximum (Max), (n ≥ 3).

Tab. 3 *Efficacy (%), estimated or calculated according to Abbott) of AG-FDP1-433 SC after a single application (pre- and post-emergence) of the target dose rate of 3.0 L/ha or 2.25 L/ha at 2nd assessment date (BBCH 21-32). Mean (Mittelwert [%]), Minimum (Min) and Maximum (Max), (n ≥ 3).*

Unkraut	**Vorauflauf**						**Nachauflauf**					
	3,0 L/ha			**2,25 L/ha**			**3,0 L/ha**			**2,25 L/ha**		
	Mittelwert	**Min**	**Max**	**Mittelwert**	**Min**	**Max**	**Mittelwert**	**Min**	**Max**	**Mittelwert**	**Min**	**Max**
Alopecurus myosuroides	93,1	75,0	100				90,1	74,0	100			
Apera spica-venti	99,6	98,0	100	99,4	97,5	100	97,4	90,0	100	97,4	90,0	100
Capsella bursa-pastoris	99,7	99,0	100	99,7	99,0	100						
Galium aparine	96,6	95,0	98,0	93,5	90,0	96,8	96,7	95,0	100	95,7	93,3	100
Lolium multiflorum							75,8	51,3	88,5	71,2	52,5	89,8
Lolium perenne	93,4	72,5	100	94,0	83,8	100	91,0	81,3	100	76,5	33,8	100
Matricaria chamomilla	97,8	96,0	100	97,1	94,3	100	85,9	67,5	99,0	82,4	57,5	99,0
Papaver rhoeas	99,3	99,0	100	99,3	99,0	100	97,9	96,8	99,0	98,5	98,0	99,0
Poa annua							92,9	76,3	99,5	89,2	62,5	100
Stellaria media	99,8	99,0	100	99,6	98,8	100	94,1	71,3	100	87,5	61,3	100
Viola arvensis/tricolor	99,4	98,0	100	99,4	98,0	100	97,3	87,5	100	98,6	95,5	100

Eine optimale Kontrolle wird bei einer Aufwandmenge von 3,0 L/ha AG-FDP1-433 SC erreicht. Ergebnisse von Grenzaufwandversuchen zeigen, dass für die Kontrolle von *A. myosuroides* eine minimale Aufwandmenge von 3,0 L/ha nötig ist (Tab. 4). Wenn niedrigere Aufwandmengen getestet wurden, war die Wirksamkeit gegen *A. myosuroides* verringert, insbesondere dann, wenn AG-FDP1-433 SC als Herbizid im Nachauflauf getestet wurde.

In der Europäischen Union wurden 2014 auf circa 58 Millionen Hektar Getreide angebaut, im Jahr 2018 waren es etwa 55 Millionen Hektar (Tab. 5). Im Vergleich zur weltweiten Produktion beträgt diese Fläche ca. 8 % der weltweiten Getreideproduktion (2014). Sowohl in der EU als auch in Deutschland ist Weizen das am häufigsten angebaute Getreide, gefolgt von Gerste.

Die Kulturverträglichkeit von AG-FDP1-433 SC für die Anwendung in Getreide wurde in insgesamt 106 Selektivitätsversuchen als Anwendung im Vorauflauf (n = 51) und als Nachauflauf (n = 55) und im Rahmen von 69 Wirksamkeitsversuchen nach EPPO-Standards von GEP-akkreditierten Versuchsstationen in den Jahren 2014 bis 2015 getestet. Diese Versuche wurden in Winterweizen (42 Sorten), in Wintergerste (21 Sorten), in Winterroggen (11 Sorten) und in Wintertriticale (9 Sorten) durchgeführt.

Tab. 4 Wirksamkeit von AG-FDP1-433 SC bei einer Aufwandmenge von 1,5 L/ha, 2,25 L/ha sowie 3,0 L/ha zum 2. Boniturtermin (BBCH 21-32) gegen *Alopecurus myosuroides* in Wintergetreide (Roggen und Weizen) bei einer Vorauflauf- bzw. Nachauflaufbehandlung. Angegeben sind der Mittelwert [%], Minimum (Min.) und Maximum (Max.) sowie die Anzahl der Versuche [n].

Tab. 4 *Efficacy of AG-FDP1-433 SC at application rates of 1.5 L/ha, 2.25 L/ha or 3.0 L/ha at 2nd assessment date (BBCH 21-32) against Alopecurus myosuroides in winter cereals (rye and wheat) in trials with pre- and post-emergence applications. Mean (Mittelwert [%]), Minimum (Min.) und Maximum (Max.), and number of trials [n].*

Behandlung	Getreide	n	1,5 L/ha Mittel-wert	Min.	Max.	2,25 L/ha Mittel-wert	Min.	Max.	3,0 L/ha Mittel-wert	Min.	Max.
Vorauflauf	Winterroggen	7	86,5	68,0	100	91,4	76,0	100	93,6	75,0	100
Vorauflauf	Winterweizen	4	79,1	67,5	89,5	85,0	73,0	95,0	92,1	83,8	96,5
Nachauflauf	Winterroggen	7	71,1	11,0	90,8	84,2	45,0	96,5	90,7	74,0	98,0
Nachauflauf	Winterweizen	5	73,7	53,8	88,0	85,0	67,5	94,8	89,4	78,8	96,8

Kulturverträglichkeit von AG-FDP1-433 SCC mit allen wichtigen Getreidearten und -sorten

Tab. 5 Anbauflächen von Getreide [1000 ha] in der Europäischen Union und Deutschland (Daten von 2014[1] und 2018[2]).

Tab. 5 *Agricultural area of cereals [1000 ha] in European Union and Germany (data of 2014[1] and 2018[2]).*

Getreide	Europäische Union (gesamt)[3]		Deutschland	
	2014	2018	2014	2018
Gerste	12.370,9	12.278,52	1.573,7	1.662,00
Hafer	2.550,7	2.717,82	123,8	140,40
Roggen	2.120,9	1.942,15	629,9	- [4]
Triticale	2.910,8	2.630,31	418,2	357,70
Weizen	26.706,7	- [4]	3.219,7	3.036,30
Getreide (gesamt)	58.258,6	55.075,65	6.460,7	6.148,90

[1] … http://faostat3.fao.org/home/E (Abfrage: November 2016)
[2] … https://ec.europa.eu/eurostat/de/data/database (Abfrage: Mai 2019)
[3] … Aggregierte Daten, die offizielle, halb-offizielle, geschätzte oder berechnete Daten enthalten können
[4] … keine Daten vorhanden zum Zeitpunkt der Abfrage

Vorübergehend wurden phytotoxische Symptome im Vorauflauf und Nachauflauf beobachtet.

Im Vorauflauf wurden in 21 von 51 Selektivitätsversuchen bei der Zieldosierung einzeln oder in Kombination folgende Symptome beobachtet: Chlorosen, Stauchungen, Ausdünnung oder Ausbleichen. Diese verschwanden im Verlauf der Wachstumsperiode mit Ausnahme eines Versuches. Bei doppelter Zieldosierung wurden in lediglich 3 von 51 Versuchen andauernde Effekte festgestellt. Ein negativer Einfluss auf die Erntemenge und die Qualität des Erntegutes wurde bis auf eine Ausnahme nicht beobachtet.

Im Nachauflauf wurden in 15 von 55 Selektivitätsversuchen bei der Zieldosierung einzeln oder in Kombination folgende Symptome beobachtet: Chlorosen, Stauchungen, Ausdünnung, Wachstumsdepressionen, Ausbleichen oder Farbveränderungen. Diese verschwanden in allen Versuchen im Verlauf der Wachstumsperiode. Bei doppelter Zieldosierung wurden lediglich in 3 von 55 Versuchen andauernde Effekte festgestellt. Ein negativer Einfluss auf die Erntemenge wurde nicht beobachtet.

Ein negativer Einfluss auf die Qualität des Erntegutes wird als unwahrscheinlich erachtet, da in 93 von 96 Selektivitätsversuchen, in denen Qualitätsparameter erfasst wurden, keine negativen Effekte ermittelt wurden.

Resistenz

Die Formulierung AG-FDP1-433 SC enthält die drei Wirkstoffe Pendimethalin (333 g/L), Flufenacet (80 g/L) und Diflufenican (20 g/L), welche sich durch drei verschiedene Wirkungsmechanismen auszeichnen und drei verschiedenen Resistenzklassen zugehörig sind.

Pendimethalin ist ein Dinitroanilin und Inhibitor des Mikrotubuli-Aufbaus (HRAC Gruppe K1), der Zellteilung und -streckung, welches über Wurzeln, Keimling und Blätter aufgenommen wird. Pendimethalin wirkt gegen die meisten einjährigen Gräser und Unkräuter (TOMLIN, 2003; European Food Safety Authority, 2016). In Europa wurden drei Fälle (*Echinochloa crus-galli var. crus-galli* und *Alopecurus myosuroides*) von Resistenz gegen Pendimethalin berichtet (HEAP, 2019).
Flufenacet ist ein Oxyacetamid mit einer unspezifischen Inhibition der Zellteilung und des Zellwachstums. Flufenacet wird als Fettsäureinhibitor in die HRAC Gruppe K3 eingeordnet (TOMLIN, 2003; CONRAD et al., 2014). In Europa sind bisher drei Resistenzfälle gegen *Alopecurus myosuroides* und *Lolium perenne* ssp. *multiflorum* bekannt (HEAP, 2019).
Diflufenican ist ein Pyridincarboxamid, welches die Carotinoid-Biosynthese durch die Hemmung der Phytoene-Desaturase blockiert und damit die Chlorophyllbildung verhindert. Diflufenican wirkt als selektives Kontaktherbizid, welches über die Triebe der keimenden Sämlinge aufgenommen wird. (TOMLIN, 2003; EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2007). Diflufenican wird in die HRAC-Gruppe F1 eingeordnet. In Europa wurde bis jetzt noch kein Fall von Resistenz gegen diesen Wirkstoff berichtet (HEAP, 2019).
Die geringe Zahl berichteter Resistenzen lässt auf ein mittleres Resistenzrisiko der drei Wirkstoffe schließen. Durch die Kombination dieser drei Wirkstoffe mit ihren unterschiedlichen Wirkmechanismen kann für dieses Produkt eine weitere Reduktion des Resistenzrisikos angenommen werden. Das AG-FDP1-433 SC stellt somit ein weiteres wichtiges Tool im Resistenzmanagement dar.

Literatur

CONRAD, M., M. HAMM, K. HARTMANN, E.M. HEIN, U. KÖLZER, M. WEILE, L. BÜRKLE, T. ANFT, 2014: Document N2 - Listing of endpoints for Flufenacet, M-482361-01-1, 2014-03-28, Bayer CropScience AG, Monheim, Germany.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2007: Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance Diflufenican, EFSA Scientific Report (2007) **122**, 1-84.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2016: Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance Pendimethalin, EFSA Journal 2016;**14**(3**),** 4420, 212 pp.

HEAP, I., 2019: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. Internet. Available: www.weedscience.org (October 9, 2019).

TOMLIN, C. (EDT.), 2003: The Pesticide Manual; Thirteenth Edition; British Crop Protection Council, Farnham, United Kingdom.

Selektivität von Herbiziden im Russischen Löwenzahn (*Taraxacum kok-saghyz* L. Rodin)

*Selectivity of herbicides in Russian Dandelion (*Taraxacum kok-saghyz *L. Rodin)*

Marie Eggert*, Katja Thiele

Julius Kühn-Institut, Institut für die Sicherheit biotechnologischer Verfahren bei Pflanzen, Erwin-Baur- Str. 27, 06484 Quedlinburg

*Korrespondierende Autorin, marie.eggert@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.026

Zusammenfassung

Russischer Löwenzahn (*Taraxacum koksaghyz*; Tks) gehört zur Familie der Asteraceae und zu den wenigen latexproduzierenden Pflanzen, deren Anbau zur Kautschukgewinnung von wirtschaftlichem Interesse ist. Bereits vor und während des 2. Weltkrieges wurde Kautschuk aus der Löwenzahnwurzel zur Herstellung von Autoreifen verwendet und mehrere tausend Hektar Anbaufläche in der ehemaligen UdSSR, Schweden, Kanada, USA und auch Deutschland bewirtschaftet. Nach Kriegsende verloren alternative Kautschuklieferanten an strategischer Bedeutung und die praktischen Arbeiten sowie die Anbauforschung zum Russischen Löwenzahn wurden eingestellt. Aus einer Vielzahl von Gründen interessieren sich seit Mitte der 2000er Jahre internationale Reifenfirmen wieder für die Gewinnung von Kautschuk aus alternativen Pflanzen zum Kautschukbaum (*Hevea brasiliensis*).

Für den wirtschaftlichen Anbau des Russischen Löwenzahns als kultivierte Wildpflanze in ackerbaulichen Betrieben ist die erfolgreiche Unkrautbekämpfung eine der größten Herausforderungen. Es gibt nur sehr wenige praktische Erfahrungen zum Herbizideinsatz im Löwenzahn als Drillkultur. Zugelassene Herbizide für den Anbau von Tks existieren nicht. Darüber hinaus weist die Art im Gegensatz zu heimischen *Taraxacum*-Arten eine geringe Konkurrenzkraft gegenüber der vorhandenen Ackerbeiflora auf. In der Klimakammer wurden in mehreren Versuchen verschiedene Herbizide in der frühen Entwicklungsphase der Pflanzen (BBCH 10, BBCH 12-14) in unterschiedlichen Aufwandmengen getestet. Zur Beurteilung des Herbizidschadens wurden die Ausdünnung sowie die Wuchsdepression 14 Tage nach der Herbizidanwendung ermittelt. Auf der Grundlage der gewonnenen Ergebnisse aus dem Screening geeignete Herbizidstrategien für den Praxisanbau abzuleiten gestaltet sich schwierig. Wenige Wirkstoffe zeigen sich, wenn überhaupt, nur in stark reduzierten Aufwandmengen als verträglich, so dass keine ausreichende Unkrautbekämpfung im Feld zu erwarten ist bzw. durch die Schädigung der Kultur hohe Ertragsverluste in Kauf zu nehmen sind. In der Konsequenz muss in der Praxis vermehrt auf mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen zurückgegriffen werden, um eine ausreichende Unkrautbekämpfung im Russischen Löwenzahn zu erzielen.

Stichwörter: Beikrautregulierung, Herbizidstrategie, Herbizidverträglichkeit, Naturkautschuk

Abstract

Russian dandelion (*Taraxacum koksaghyz*; Tks) belongs to the plant family of asteraceae and to the few latex-producing plants whose cultivation is of economical interest. Already before and during WWII rubber was extracted from dandelion roots and used for tire production from a few thousand hectares of cultivation area in the former UdSSR, Sweden, Canada, United States and Germany. After WWII natural rubber lost its immense strategic significance. Commercial cultivation and field research concerning Tks were stopped until the middle of the 2000 decade, where global players in tire business started to re-discover alternative rubber plants aside from the rubber tree (*Hevea brasiliensis*).

For successful large-scale cultivation of Russian dandelion on farms, regulation of weeds is the biggest challenge. In opposition to the native *Taraxacum* species, Tks shows little competitive ability towards the local weeds. In a series of climate chamber experiments several herbicides where tested during cotyledon stage (BBCH 10) and 2-to-4-leaves stage (BBCH 12-14) in different dosages. Plant damage caused by herbicides was evaluated by plant losses and loss in biomass 14 days after application. It is challenging to conclude practical herbicide strategies from the gained results. Tks tolerated very few herbicides and only in strongly reduced application rates, hence a sufficient regulation of weeds in the field is not expected or high yield losses are to be expected by plant damage. Consequently, practical cultivation of Russian dandelion needs the support of mechanical measures of weed control.

Keywords: Herbicide strategy, herbicide selectivity, natural rubber, regulation of weeds

Einleitung

Russischer Löwenzahn (*Taraxacum koksaghyz*, Tks) ist ursprünglich in den Hochtälern des kasachischen Tian Shan Gebirges beheimatet und ist artverwandt mit den zahlreichen heimischen *Taraxacum*-Arten (KIRSCHNER et al., 2013). Die kultivierte Wildform bietet eine Vielzahl von Verwendungsmöglichkeiten, beispielsweise als alternative Inulinquelle oder Futtermittel (RAMIREZ-CADAVID et al., 2017). Aktuell ist jedoch die Etablierung von Tks als regionaler bzw. lokaler Kautschuklieferant Schwerpunkt verschiedener internationaler Forschungskonsortien (EGGERT et al., 2018). Als nachwachsender Rohstoff ist Löwenzahnkautschuk vor allem für die Herstellung von Autoreifen interessant (CORNISH, 2017). Volatile Weltmarktpreise für Naturkautschuk vom *Hevea*-Baum und die Bedrohung der südostasiatischen Kautschukbaum-Plantagen durch die Pilzkrankheit South American Leaf Blight, verursacht durch den Ascomycet *Microcylus ulei*, haben den Kautschuk aus der Wurzel von Tks seit mehr als 10 Jahren wieder in den Fokus von Wissenschaftlern und Reifenherstellern weltweit gerückt (VAN BEILEN und POIRIER, 2007). Da sich Tks für den Anbau in der gemäßigten Klimazone eignet, kann Löwenzahnkautschuk bei erfolgreicher Etablierung im großflächigen Anbau einen Anteil des jährlichen Eigenbedarfs an Naturkautschuk in Deutschland decken.

Langfristig stellt die erfolgreiche Unkrautbekämpfung und damit die Entwicklung von Herbizidstrategien einen maßgeblichen Teil der Entwicklung des Produktionsverfahrens für den großflächigen Anbau von Löwenzahn zur Kautschukgewinnung dar. Aus pflanzenbaulicher Sicht stellt der Schutz des kultivierten Tks vor Beikräutern in seiner derzeitigen Wuchsform aus verschiedenen Gründen eine besondere Herausforderung dar: 1.) asynchroner Feldaufgang im Frühjahr unter zu kühlen und trockenen Witterungsbedingungen (KREUZBERGER et al., 2016) 2.) sehr langsame Jugendentwicklung im Vergleich zu den Beikräutern 3.) geringe Blattbiomasse und eng am Boden anliegende Blattrosette 4.) die daraus resultierende geringe Konkurrenzkraft von Tks gegenüber der heimischen Nutzflächenflora, aufgrund der hohen Empfindlichkeit gegenüber Beschattung (UHLEMANN et al., 2019).

Es gibt in Deutschland keine zugelassenen Herbizide für den Einsatz in Tks. Darüber hinaus existieren bisher keine veröffentlichten experimentellen Ergebnisse zum Herbizideinsatz in Russischem Löwenzahn sowie nur sehr wenige praktische Erfahrungen mit wenigen im Rahmen einer Einzelfallgenehmigung nach §22 (2) PflSchG eingesetzten Mitteln, die in vergleichbaren Kulturen eine Zulassung haben. Daher wurde zunächst unter Klimakammerbedingungen ein Herbizidscreening durchgeführt. Das Ziel war unter kontrollierten Bedingungen Herbizide zu ermitteln, die Tks nicht schädigen, um mögliche Herbizidstrategien für den Feldeinsatz abzuleiten. Für das Screening wurden in Deutschland zugelassene Herbizide ausgewählt, die eine Indikation gegenüber einjährigen zweikeimblättrigen Unkräutern in Zuckerrübe (ähnliche Kulturbedingungen-Sommerkultur), Chicorée oder weiteren Asteraceaen (Sonnenblume, Sonnenhut, Schwarzwurzel, Endivien) haben oder mit denen aufgrund einzelner Versuchsprotokolle der Länder Erfahrungen zu Chicorée und Salatlöwenzahn bestanden.

Material und Methoden

Für die Nachauflaufbehandlung wurden Sämlinge unter Klimakammerbedingungen in einem gedämpften Sand-Humus-Gemisch (2:1 (v/v)) in Anzuchtschalen (Fa. Baumann Saatzuchtbedarf, Gr. 2, 18,3 x 13,6 x 6,4 cm, 1.000 ml) aus 100 Achänen pro Schale angezogen. Verwendet wurden zwei *Taraxacum*-Herkünfte – Tks (2n=16, 4-6 % Naturkautschuk i.d.TM) von offen im Freiland am Standort Quedlinburg abgeblühtem Tks aus dem Jahr 2018 und Saatgut aus dem Nachbau der von der Fa. Eskusa erzeugten Hybride 207 (Eskusa Zuchtlinie RT, Tks2n x To3n, kein Kautschuk nachweisbar). Die Hybridlinie 207 ist durch eine schnellere Jugendentwicklung und eine größere Blattflächenentwicklung im Vergleich zu Tks gekennzeichnet. Die Keimfähigkeit des verwendeten Saatguts lag bei Tks bei 70-80 % und bei der Hybride 207 bei 30-40 % der ausgelegten Samen auf Filterpapier. Die Sämlinge wurden bis zur Keimung bei geschlossenem Deckel angezogen, der Deckel bei sichtbarer Keimung entfernt und unter einem 16/8h-Tag-Nachtzyklus (5000 Lux,

Lampentyp: „Vollspektrum"-Lampe, EYE Clean Ace MT250DL) bei 21 °C and einer relativen Luftfeuchtigkeit von 60 % kultiviert. Die Bewässerung erfolgte zweimal täglich nach erfolgter Keimung und Entfernung der Schutzdeckel von oben mittels Nebelbrause. Die Bewässerung erfolgte frühestens sechs Stunden nach Herbizidanwendung.

In einer Serie von drei Versuchen wurden nach Auflaufen von Tks und Hybride 207 jeweils im Keimblattstadium (BBCH 10) und im 2-4-Laubblattstadium (BBCH 12-14) insgesamt 14 verschiedene Herbizide unterschiedlicher Wirkstoffklassen getestet. Die Herbizide wurden i.d.R. mit der doppelten zugelassenen Aufwandmenge (AWM, 2N) sowie in der maximal zugelassenen AWM (N) einer vergleichbaren Kultur und einer reduzierten AWM (0.5N) getestet. Bei einer erkennbaren, aber noch tolerierbaren Unverträglichkeit wurde die AWM in einer weiteren Versuchsreihe noch stärker reduziert (0,25N, 0,125N). So wurden insgesamt 69 verschiedene Behandlungen (Herbizid x AWM) geprüft (Tab. 1). In jedem Versuch (blockweise randomisiert, n=4) gab es jeweils eine unbehandelte Kontrolle von Tks und Hybride 207. Die Anwendung fand manuell mittels Zerstäuber Fa. Roth, 50 ml, PE) statt. Als Parameter für die Verträglichkeit der Herbizide wurden die Ausdünnung sowie die Wuchsdepression nach Herbizidanwendung ermittelt. Die Ausdünnung ist als die prozentuale Veränderung der Anzahl der Sämlinge, die Wuchsdepression als die prozentuale Veränderung der Gesamtpflanzenbiomasse (Frischmasse) 14 Tage nach Anwendung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (=100 %) definiert.

Tab. 1 Angewandte Herbizide im Klimakammerversuch, Aufwandmengen und Anwendungstermin im Nachauflauf (BBCH 10 oder BBCH 12-14) in Tks und Hybride 207.

Tab. 1 *Used herbicides, dose rates and application time in climate chamber trials in Tks and Hybride 207.*

		Aufwandmenge (*g bzw. l/ha)					
Herbizid	**Wirkstoffe**	**2N**	**N**	**0.5N**	**0.25N**	**0.125N**	**Termin**
Betanal Expert	Phenmedipham (75g/l), Ethofumesat (115 g/l), Desmedipham (25 g/l)	3	1.5	0.75	0.38	0.19	
Betasana	Phenmedipham (160 g/l)	4	2	1			
Boxer	Prosulfocarb (800 g/l)	10	5	2.5			
Butisan	Metazachlor (500 g/l)	1	0.5	0.25	0.13	0.06	
Debut*	Triflusulfuron (486 g/kg)	10	5	2.5			
Effigo	Clopyralid + Picloram (260g/l + 67 g/l)	0.70	0.35	0.18			BBCH 10
Focus Ultra	Cycloxydim (100 g/l)	5	2.5	1.25			
Fox	Bifenox (460 g/l)	0.6	0.3	0.15			
Goltix Gold	Metamitron (700 g/l)	3	1.5	0.75	0.38	0.19	
Lontrel 720*	Clopyralid (720 g/kg)	334	167	84			
Spectrum	Dimethenamid-P (720 g/l)	2	1	0.5			
Stemat	Ethofumesat (500 g/l)	1.4	0.7	0.35			
Stomp Aqua	Pendimethalin (455 g/l)	6	3	1.5			
Butisan	Metazachlor (500 g/l)	0.06	0.03	0.02			
Debut*	Triflusulfuron (486 g/kg)	1.25	0.63	0.31			
Effigo	Clopyralid + Picloram (260g/l + 67 g/l)	0.18	0.09	0.05			
Fox	Bifenox (460 g/l)	0.15	0.08	0.04			BBCH 12-14
Goltix Gold	Metamitron (700 g/l)	0.19	0.1	0.05			
Lontrel 720*	Clopyralid (720 g/kg)	42	21	10.5			
Sencor Liquid	Metribuzin (600 g/l)	0.2	0.1	0.05			
Stomp Aqua	Pendimethalin (455 g/l)	1	0.75	0.38			

* prepared from solid formulation

Ergebnisse und Diskussion

Aufgrund der geringen Wuchshöhe von Tks im Vergleich zur ortsüblichen Ackerbeiflora und der hohen Empfindlichkeit von Tks gegenüber Beschattung (Uhlemann et al., 2019) ist es notwendig, Herbizide zu ermitteln, die insbesondere in der frühen Entwicklung von Tks (BBCH 10-14) verträglich sind und gleichzeitig den Unkrautdruck nachhaltig reduzieren.

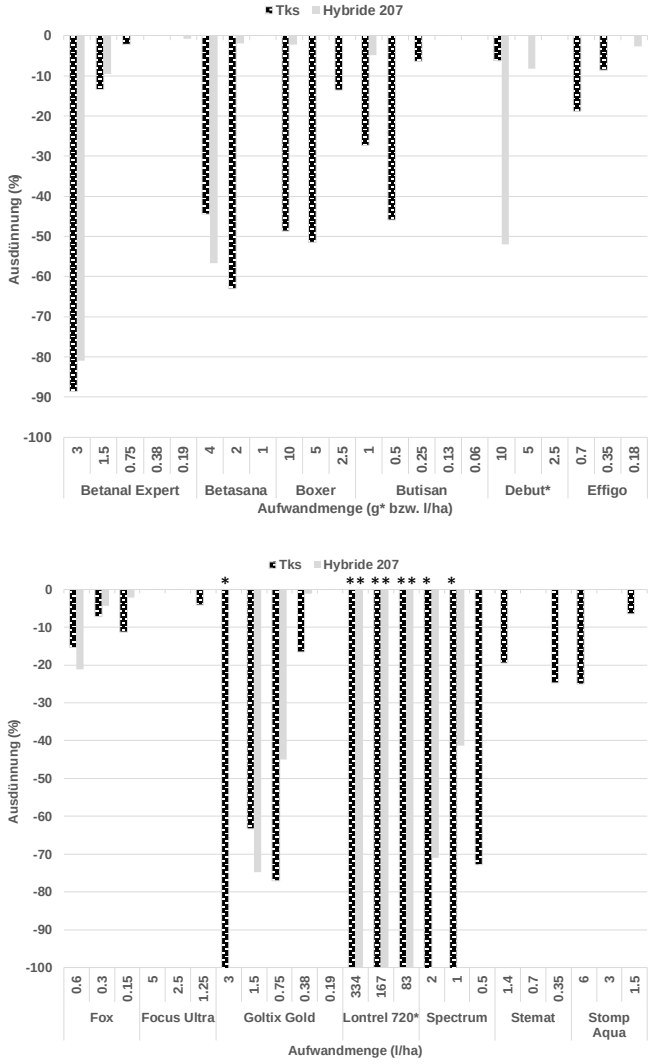


Abb. 1 Ausdünnung durch Herbizidanwendung in BBCH 10 bei Tks und Hybride 207 14 Tage nach Anwendung im Vergleich zu unbehandelter Kontrolle (=100 %). * signifikanter Unterschied mit p<0,05 im Vergleich zur Kontrolle (Einfaktorielle Varianzanalyse auf Grundlage der quantitativen Originaldaten).

Fig. 1 *Plant losses after herbicide application in early cotyledon stage (BBCH 10) in Tks and Hybride 207 14 days after application compared to an untreated control (=100%). * indicates a significant difference with p<0.05 in comparison to the control (one factorial variance analysis based on quantitative original data).*

In BBCH 10 wurden durch 3 l/ha Betanal Expert, 0,6 l/ha Fox, 1,5 l/ha Goltix Gold, Lontrel (alle AWM), 2 und 1 l/ha Spectrum signifikante Ausdünnungen in beiden *Taraxacum*-Herkünften verursacht (Abb. 1). Lontrel 720 führte mit allen AWM in beiden Herkünften dazu, dass kein Sämling überlebte. Weitere signifikante bzw. relevante (>-20 %) Ausdünnungen wurden durch 2 und 4 l/ha Betasana, 2,5 bis 10 l/ha Boxer, 0,38 bis 3 l/ha Goltix Gold, 0,5 l/ha Spectrum, 0,35 bis 1,4 l/ha Stemat sowie 6 l/ha Stomp Aqua nur in Tks beobachtet. Relevante, aber nicht signifikante Ausdünnungen wurden in Hybride 207 nur durch 4 l/ha Betasana sowie 10 g/ha Debut verursacht.

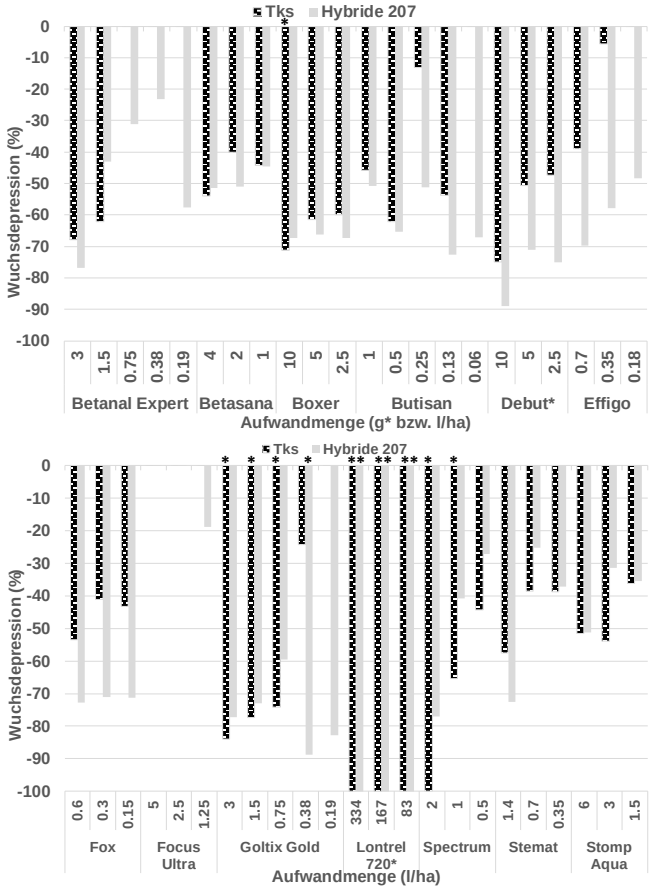


Abb. 2 Wuchsdepression durch Herbizidanwendung in BBCH 10 bei Tks und Hybride 207 14 Tage nach Anwendung im Vergleich zu unbehandelter Kontrolle (=100 %). * signifikanter Unterschied mit p<0,05 im Vergleich zur Kontrolle (Einfaktorielle Varianzanalyse auf Grundlage der quantitativen Originaldaten).

Fig. 2 *Growth depression after herbicide application in early cotyledon stage (BBCH 10) in Tks and Hybride 207 14 days after application compared to an untreated control (=100%). * indicates a significant difference with p<0.05 in comparison to the control (one factorial variance analysis based on quantitative original data).*

Das geringe Ausmaß an Ausdünnung in der Hybride 207 ergab sich teilweise aufgrund des heterogenen Aufgangs der Linie, da z.T. noch nach der Nachauflaufbehandlung Samen keimten. Diese waren dann nicht direkt über die Keimblätter der Herbizidanwendung ausgesetzt. Dennoch zeigte sich auch bei diesen Varianten eine deutliche Wuchsdepression, was auf eine Wirkung dieser Herbizide auf die Keimlinge über die Wurzel hindeutet (Abb. 2).

Als verträglich hinsichtlich der zu erwartenden Ausdünnung können daher in Tks 0,19 bis 1,5 l/ha Betanal Expert, 1 l/ha Betasana, 0,06 bis 0,25 l/ha Butisan, 2,5 bis 5 g/ha Debut, 0,18 bis 0,7 l/ha Effigo, 0,15 bis 0,3 l/ha Fox, 1,25 bis 5 l/ha Focus Ultra (Graminizid!), 0,19 l/ha Goltix Gold, 0,35 bis 0,7 l/ha Stemat sowie 1,5 bis 3 l/ha Stomp Aqua eingestuft werden. Es zeigt sich, dass bei den getesteten Mitteln vor allem nur stark reduzierte AWM von den Sämlingen in BBCH 10 toleriert werden.

Bis auf reduzierte AWM von Betanal Expert (0,75 l/ha, 0,38 l/ha) sowie Focus Ultra (1,25-5 l/ha) wirkten sich alle in BBCH 10 eingesetzten Herbizide negativ auf das Wachstum der Sämlinge in beiden *Taraxacum*-Herkünften aus (Wuchsdepression >-30 % bis -80 %) (Abb. 2). Nur bei wenigen Herbiziden, bspw. bei Spectrum, konnte eine deutliche Verminderung der Wuchsdepression durch

die Reduktion der AWM erzielt werden. Es müssen daher im Stadium BBCH 10 bis auf wenige Ausnahmen (stark reduzierte AWM Betanal Expert, Butisan, Effigo) alle eingesetzten Herbizide als wenig bis nicht verträglich in Tks und der Hybridlinie 207 eingeschätzt werden. Focus Ultra führte auch mit AWM 2N zu keiner Wuchsdepression und kann als verträglich eingestuft werden, so dass zumindest die Ungrasbekämpfung im Löwenzahn kein Problem darstellen wird.

In einem weiteren Versuch sollte untersucht werden, ob durch die Verschiebung des Anwendungszeitpunktes in ein späteres Entwicklungsstadium (BBCH 12-14) eine höhere Verträglichkeit der Herbizide im Löwenzahn erzielt werden kann. Über die Reduktion der AWM und die Anwendung in BBCH 12-14 konnte im Vergleich zu BBCH 10 (Abb. 1) bei Butisan, Debut, Effigo, Fox, Goltix Gold und Stomp Aqua eine signifikante Ausdünnung verhindert werden (Abb. 3).

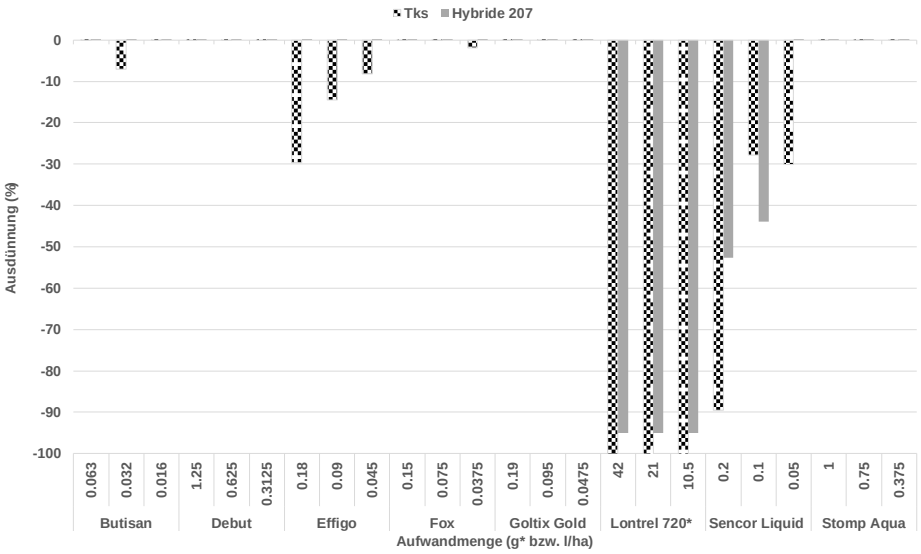


Abb. 3 Ausdünnung durch Herbizidanwendung in BBCH 12-14 bei Tks und Hybride 207 14 Tage nach Anwendung im Vergleich zu unbehandelter Kontrolle (=100 %). * signifikanter Unterschied mit p<0,05 im Vergleich zur Kontrolle (Einfaktorielle Varianzanalyse auf Grundlage der quantitativen Originaldaten).

Fig. 3 *Plant losses after herbicide application in 2-to-4-leaves stage (BBCH 12-14) in Tks and hybride 207 14 days after application compared to an untreated control (=100%). * indicates a significant difference with p<0.05 in comparison to the control (one factorial variance analysis based on quantitative original data).*

Wiederum nicht verträglich waren Lontrel 720 und Sencor Liquid. Auch Wuchsdepressionen konnten in Tks außer bei Debut und Goltix Gold in diesen Anwendungen vernachlässigt werden (Abb. 4). Interessant war die unterschiedliche Verträglichkeit der Herbizide in den beiden *Taraxacum*-Herkünften. Butisan, Debut, Effigo, Fox und Goltix Gold erzeugten in der Hybride 207 (bis auf einige Ausnahmen) im Gegensatz zu Tks relevante Wuchsdepressionen. Möglicherweise ist dies auf eine höhere absolut aufgenommene Wirkstoffmenge aufgrund des höheren Blattflächenanteils der Hybride 207 im Vergleich zu Tks zum selben Zeitpunkt zurückzuführen.

Die Reduzierung des Konkurrenzdrucks durch Herbizidbehandlung führt in der Regel zu einer Erhöhung bzw. zu einer Sicherung des Ertrags in lange etablierten Kulturpflanzen (PANNACCI und TEI, 2014). Dazu ist aber eine ausreichende Bekämpfung der Unkräuter ohne gleichzeitige Schädigung der Kultur Voraussetzung. Alle im Rahmen des durchgeführten Screenings untersuchten Herbizide (bis auf Focus Ultra) führten in Höhe der zugelassenen AWM (N) zu einer Schädigung von Tks und Hybride 207 in den frühen Entwicklungsstadien. Sie führten z.T. zum vollständigen Absterben der Sämlinge, relevanten Ausdünnungen (>-20 %), Wuchsdepressionen (>-30 %) oder

Wuchsanomalien, vor allem Blattverkrümmungen. In der Konsequenz müssen die untersuchten Mittel/Wirkstoffe als nicht hinreichend selektiv im Löwenzahn eingeschätzt werden. Die Behandlung mit verschiedenen AWM und zu unterschiedlichen BBCH-Stadien sollte eine bessere Differenzierung der Selektivität zwischen den Herbiziden ermöglichen. Aufgrund der hohen Varianz bei den beobachteten Pflanzenzahlen und der Biomasse konnten jedoch nicht immer statistisch abgesicherte signifikante Unterschiede zwischen den Herbiziden und den Kontrollen ermittelt werden.

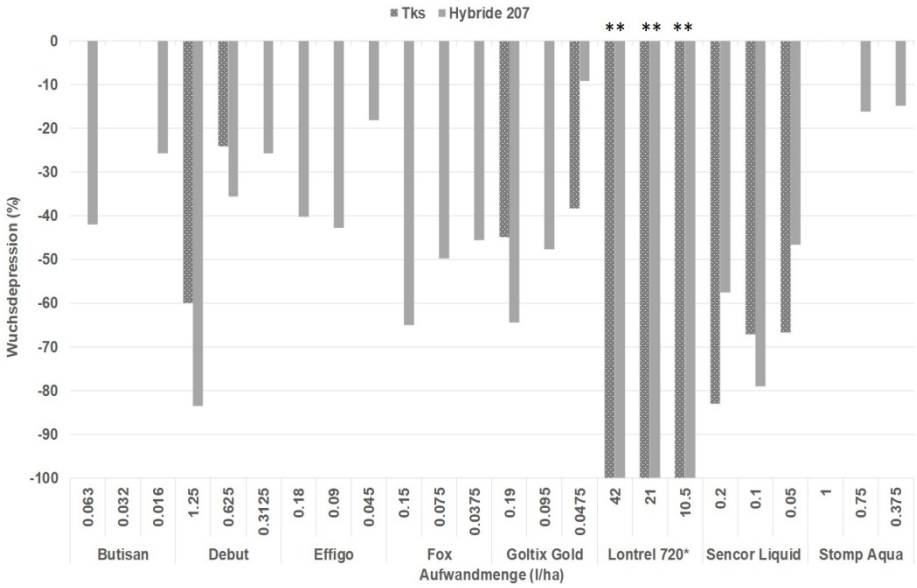


Abb. 4 Wuchsdepression durch Herbizidanwendung in BBCH 12-14 bei Tks und Hybride 207 14 Tage nach Anwendung im Vergleich zu unbehandelter Kontrolle (=100 %). * signifikanter Unterschied mit p<0,05 im Vergleich zur Kontrolle (Einfaktorielle Varianzanalyse auf Grundlage der quantitativen Originaldaten).

Fig 4 *Growth depression after herbicide application in 2-to-4-leaves stage (BBCH 12-14) in Tks and hybride 207 14 days after application compared to an untreated control (=100%). * indicates a significant difference with p<0.05 in comparison to the control (one factorial variance analysis based on quantitative original data).*

Auf der Grundlage der erzielten Screeningergebnisse geeignete Herbizidstrategien für den Praxisanbau abzuleiten, gestaltet sich schwierig. Lediglich Betanal Expert war bei stark reduzierten AWM (0,19-0,75 l/ha) für Tks im BBCH 10 verträglich, wenn man nur die Ausdünnung und Wuchsdepressionen in einem Zeitraum von 14 Tagen berücksichtigt. Von stark reduzierten AWM ist jedoch keine ausreichende herbizide Wirkung zu erwarten und auch die Entwicklung von möglichen Resistenzen der Unkräuter darf bei dieser Anwendungsweise nicht vernachlässigt werden (NEVE und POWLES, 2005). Daher ist im Feldversuch die Wirksamkeit des wiederholten Einsatzes von reduzierten Mengen Betanal Expert (0,5-0.75 l/ha) ab BBCH 10 und zu einem späteren Zeitpunkt (ab BBCH 12-14), je nach vorhandenem Unkrautspektrum, mit reduzierten AWM von Butisan, Effigo, Fox und Stomp Aqua zu überprüfen, da diese Herbizide im Screening in Tks keine relevanten Wuchsdepressionen erzeugten (Abb. 4). Da bei den getesteten Mitteln keine hinreichende Selektivität im Löwenzahn vorhanden war, muss auch im Feldversuch bei allen getesteten Mitteln in den zugelassenen und wirksamen AWM von einer relevanten Schädigung des Löwenzahns ausgegangen werden. In der Konsequenz muss im Praxisanbau im Löwenzahn zunächst vermehrt auf mechanische Maßnahmen zurückgegriffen werden, um eine ausreichende Unkrautbekämpfung in Tks zu erzielen. In weiteren Versuchen (weitere Wirkstoffe,

Wirkstoffkombinationen, mehrmalige Anwendung) und im Feldversuch muss ermittelt werden, wie eine wirksame Unkrautbekämpfung ohne relevante Ertragsverminderung von Tks möglich ist.

Die beiden *Taraxacum*-Formen wiesen unterschiedliches Keimverhalten auf. Tks keimte ca. zwei bis vier Tage früher als Hybride 207. Das bedeutet für Tks in der Praxis ebenfalls einen engeren Spielraum für die frühe Nachauflaufbehandlung in den Unkräutern als für Hybride 207. Dafür zeigte Hybride 207 generell größere Keimblätter und entwickelte schneller ein größeres erstes Laubblatt als Tks. Dies kann einerseits zu einer höheren Konkurrenzkraft gegenüber gleichzeitig keimenden Unkräutern führen. Andererseits führt es möglicherweise dazu, dass die absolute aufgenommene Wirkstoffmenge bei den größeren Hybriden höher ist als bei Tks und die phytotoxische Wirkung zum gleichen Entwicklungsstand verstärkt werden kann (RIETHMULLER-HAGE et al., 2007). Spezifische Unterschiede in der Herbizidverträglichkeit zwischen den *Taraxacum*-Herkünften sind ebenso denkbar.

Danksagung

Die dargestellten Arbeiten wurden am JKI im Rahmen des Projekts „RUBIN“ durch das Fraunhofer-Institut Molekulare Biologie und Angewandte Ökologie (IME) gefördert. Die Autoren danken der Firma Eskusa für die Bereitstellung des Saatguts beider *Taraxacum*-Herkünfte.

Literatur

CORNISH, K., 2017: Alternative natural rubber crops: why should we care? Technology and Innovation **18** (4), 245–256.

EGGERT, M., J. SCHIEMANN, K. THIELE, 2018: Yield performance of Russian dandelion transplants (*Taraxacum koksaghyz* L. Rodin) in flat bed and ridge cultivation with different planting densities. Eur. J. Agron. **93**, 126–134.

KIRSCHNER, J., J. STEPANEK, T. CERNY, P. HEER, P.J. VAN DIJK, 2013: Available ex situ germplasm of the potential rubber crop *Taraxacum koksaghyz* belongs to a poor rubber producer, *T. brevicorniculatum* (Compositae-Crepidinae). Genet. Resour. Crop. Ev. **60** (2), 455–471.

KREUZBERGER, M., T. HAHN, S. ZIBEK, J. SCHIEMANN, K. THIELE, 2016: Seasonal pattern of biomass and rubber and inulin of wild Russian dandelion (*Taraxacum koksaghyz* L. Rodin) under experimental field conditions. Eur. J. Agron. **80**, 66–77.

NEVE, P., S. POWLES, 2005: Recurrent selection with reduced herbicide rates results in the rapid evolution of herbicide resistance in *Lolium regidum*. Theor. Appl. Genet. **110**, 1154-1166.

PANNACCI, E., F. TEI, 2014: Effect of mechanical and chemical methods on weed control, weed seed rain and crop yield in maize, sunflower and soyabean. Crop Prot. **64**, 51-59.

RAMIREZ-CADAVID, D.A., K. CORNISH, F.C. JR. MICHEL, 2017: *Taraxacum kok-saghyz* (TK): compositional analysis of a feedstock for natural rubber and other bioproducts. Ind. Crop Prod. **107**, 624–640.

RIETHMULLER-HAGE, I., L. BASTIAANS, C. KEMPENAAR, V. SMUTNY, M.J. KROPFF, 2007: Are pre-spraying conditions a major determinant of herbicide efficacy? Weed Res. **47**, 415-425.

UHLEMANN, I., M. EGGERT, J. SCHIEMANN, K. THIELE, 2019: Zum Wiederanbau von *Taraxacum koksaghyz* (Asteraceae) als Kautschuklieferant in Deutschland. Kochia **12**, 19-35.

VAN BEILEN, J.B., Y. POIRIER, 2007: Establishment of new crops for the production of natural rubber. Trends Biotechnol. **25** (11), 522–529.

Möglichkeiten und Grenzen der chemischen Unkrautregulierung im Kartoffelbau

Possibilities and limits of chemical weed control in potato cultivation

Klaus Gehring[1*], Thomas Festner[1], Hans-Jürgen Meßmer[2], Philipp Moebs[3], Manfred Mohr[4], Stefan Thyssen[1]

[1]Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Freising-Weihenstephan
[2]Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe
[3]Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kassel
[4]Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Bad Kreuznach
*Korrespondierender Autor, klaus.gehring@lfl.bayern.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.027

Zusammenfassung

Die Pflanzenschutzdienste von Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Hessen führten von 2012 bis 2018 ein Ringversuchsprogramm zur Prüfung neuer Herbizide im Kartoffelbau durch. An 26 Versuchsstandorten wurden 13 verschiedene Herbizidbehandlungen hinsichtlich Unkrautbekämpfungsleistung und Kulturverträglichkeit geprüft. An den Versuchsstandorten traten regelmäßig vier unterschiedliche Leitunkräuter auf. Die häufigsten Unkräuter waren Gänsefuß-Arten (CHESS), Winden-Knöterich (POLCO), Einjähriges Bingelkraut (MERAN) und Schwarzer Nachtschatten (SOLNI). Im Mittel über alle Standorte und Behandlungsvarianten wurde mit 94 % eine ausreichende Gesamt-Unkrautwirkung erzielt. Wichtige Leitunkräuter wie Gänsefuß-Arten (CHESS), Behaartes Franzosenkraut (GASCI), Hühnerhirse (ECHCG) und Kletten-Labkraut (GALAP) konnten mit mittleren Wirkungsgraden von ≥ 97 % sicher kontrolliert werden. In Abhängigkeit von einzelnen Behandlungsvarianten und Standorten konnten die Unkräuter Einjähriges Bingelkraut (MERAN) und Winden-Knöterich (POLCO) dagegen nicht mehr sicher bekämpft werden. Schwarzer Nachtschatten (SOLNI) kann als generelles Problemunkraut im Kartoffelbau bezeichnet werden. Die Kulturverträglichkeit der geprüften Herbizid-Kombinationen kann als gut bis sehr gut bezeichnet werden. Einzelne beobachtete, kurzfristige Kulturbeeinträchtigungen waren auf Standorteffekte zurückzuführen.

Stichwörter: Herbizid, Kulturverträglichkeit, Leitunkräuter, Problemunkräuter

Abstract

From 2012 to 2018, the plant protection services of Bavaria, Baden-Württemberg, Rhineland-Palatinate and Hesse carried out an interlaboratory test programme for the testing of new herbicides in potato cultivation. At 26 experimental sites, 13 different herbicide treatments were tested for weed control performance and crop compatibility. Four different common weeds regularly appeared at each experimental site. The most common weeds were goosefoot (CHESS), wild buckwheat (POLCO), annual mercury (MERAN) and black nightshade (SOLNI). On average across all locations and treatment options, 94% of the total weed control efficacy was sufficient. Important common weeds such as goosefoot, hairy galinsoga (GASCI), barnyardgrass (ECHCG) and cleavers (GALAP) could be safely controlled with average efficiencies of ≥ 97%. Depending on the individual treatment options and locations, however, annual mercury and wild buckwheat could no longer be controlled safely. Black nightshade (SOLNI) can be described as a general problem weed in potato cultivation. The culture tolerance of the tested herbicide combinations can be described as good to very good. Individual short-term cultural impairments observed were attributable to location effects.

Keywords: Common weeds, culture tolerance, herbicide, problem weed

Einleitung

Die Kartoffelproduktion wird in der Regel von spezialisierten Ackerbaubetrieben durchgeführt, die nicht selten zusätzlich auf eine bestimmte Produktionsform, wie z. B. Stärke- oder Veredelungskartoffeln, ausgerichtet sind. Der Kartoffelanbau hat für diese Betriebe einen sehr hohen wirtschaftlichen Stellenwert. Die Unkrautregulierung ist für die Umsetzung des Standortertragspotenzials und die Sicherung der Erntequalität eine maßgebliche Produktionsmaßnahme. Anfang dieses Jahrzehnts wurde das Produktportfolio bei Kartoffelherbiziden von verschiedenen Pflanzenschutzmittelherstellern erheblich umgestellt. Hierbei handelte es sich im Wesentlichen um die Rekombination bekannter Wirkstoffe. Dennoch stellte sich für die Fachberatung und Produktionspraxis die Frage, wie diese neuen Präparate in die standortspezifische Herbizidstrategie integriert werden können. Der Bayerische

Pflanzenschutzdienst startete daher im Jahr 2012 ein Ringversuchsprogramm mit den Pflanzenschutzdiensten von Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit neuer Kartoffelherbizide im Rahmen einer produktionstechnischen Feldversuchsserie.

Material und Methoden

Die Versuche wurden gemäß dem EPPO Standard PP1/051(3) durchgeführt. Die erhobenen Daten bestanden aus visuellen Bonituren der Unkrautwirkung und der Kulturverträglichkeit. Die geprüften Behandlungsvarianten (Tab. 2) waren hinsichtlich Präparatekombination und Aufwandmenge auf eine potenziell ausreichende Unkrautbekämpfungsleistung ausgelegt.

Tab. 1 In den Feldversuchen eingesetzte Herbizide.

Tab. 1 *Herbicides used in field trials.*

Herbizid **Handelsname**	**Wirkstoff** **(g a.i./l)**
Arcade®	Prosulfocarb 800 + Metribuzin 80
Artist®	Flufenacet 240 + Metribuzin 175
Bandur®	Aclonifen 600
Boxer®	Prosulfocarb 800
Centium® 36 CS	Clomazone 360
Metric®	Metribuzin 233 + Clomazone 60
Novitron® DamTec	Aclonifen 500 + Clomazone 30
Proman®	Metobromuron 500
Sencor® Liquid	Metribuzin 600
Squall®*	Polyethylen-Copolymer

*) Zusatzstoff

Tab. 2 Mehrjährig geprüfte Behandlungsvarianten.

Tab. 2 *Treatment options tested over several years.*

VG	**Behandlung** **Präparate**	**Aufwand** **(l bzw. kg/ha)**	**Termin**
1	unbehandelte Kontrolle	-	-
2	Boxer® + Sencor® Liquid	4,0 + 0,4	VA
3	Arcade®	5,0	VA
4	Arcade®	5,0	NA
5	Arcade®	4,0	VA
6	Arcade® / Arcade®	3,0 / 2,0	VA / NA
7	Artist® + Centium® 36 CS	2,0 + 0,25	VA
8	Bandur® + Proman®	2,5 + 2,5	VA
9	Boxer® + Proman® + Squall®	2,5 + 2,5 + 1,5	VA
10	Metric®	1,5	VA
11	Novitron®	2,4	VA
12	Novitron® + Proman®	2,0 + 2,0	VA
13	Novitron® + Sencor® Liquid	2,0 + 0,4	VA
14	Proman® + Centium® 36 CS	2,0 + 0,2	VA

Legende: VA = vor dem Auflaufen; NA = nach dem Auflaufen bis BBCH 15

Auf eine Erhebung von Ertragsleistungen wurde verzichtet. Die im Versuchszeitraum von 2012 bis 2018 in 26 Feldversuchen eingesetzten Präparate sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die erhobenen Boniturdaten wurden durch eine nichtparametrische Rangvarianzanalyse nach Kruskal-Wallis (UNISTAT LTD., 2015) ausgewertet. Die Prüfperiode für jede Behandlungsvariante betrug mindestens drei Jahre. Die Versuche wurden auf Anbauflächen von Praxisbetrieben und für die Region repräsentativen Flächen durchgeführt.

Ergebnisse

Das in den Feldversuchen aufgetretene Unkrautspektrum ist für den Kartoffelanbau in den am Ringversuchsprogramm beteiligten Bundesländern repräsentativ (Abb. 1). Auf allen Versuchsstandorten traten Gänsefuß-Arten (CHESS), insbesondere Weißer Gänsefuß (CHEAL), als Leitverunkrautung auf. Im Weiteren waren Winden-Knöterich (POLCO) und Schwarzer Nachtschatten (SOLNI) von besonderer Bedeutung. Die relativ große Häufigkeit von Einjährigen Bingelkraut (MERAN) wurde durch das regelmäßige Auftreten an den Standorten in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz bedingt. Die an nahezu jeden vierten Standort aufgetretenen Unkräuter Kletten-Labkraut (GALAP), Gemeine Hühnerhirse (ECHCG) und Gänsedistel-Arten (SONSS) sind für Kartoffeln als Sommerkultur durchaus typisch. Im Mittel sind vier (Spannbreite 2-7) verschiedene Leitunkräuter je Versuchsstandort aufgetreten.

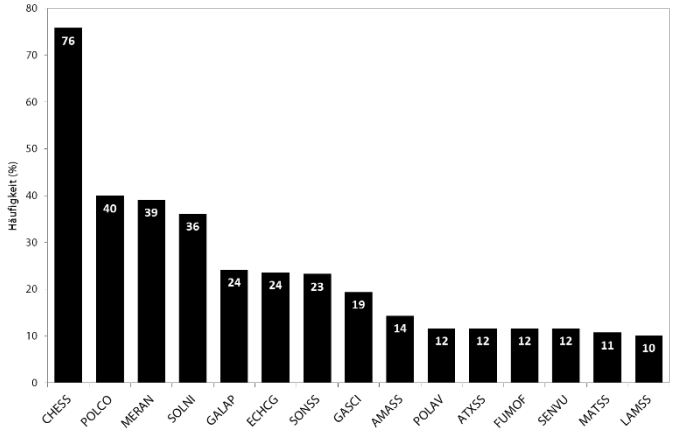


Abb. 1 Unkrautspektrum auf 26 Versuchsstandorten von 2012 bis 2018.

Fig. 1 *Weed spectrum at 26 experimental sites from 2012 to 2018.*

Über alle Standorte und Behandlungsvarianten lag die mittlere Gesamt-Unkrautwirkung bei 94 %, mit einer Standardabweichung von 11 %. Die Gesamt-Unkrautwirkung der einzelnen Behandlungsvarianten lag regelmäßig innerhalb dieses Wirkungsbereichs (Tab. 3). Eine signifikante Differenzierung zwischen den Behandlungsvarianten war nicht gegeben.

Im Vergleich über alle Behandlungsvarianten konnten die Leitunkräuter Melde (ATXSS), Behaartes Franzosenkraut (GASCI), Hühnerhirse (ECHCG), Gänsefuß (CHESS) und Kletten-Labkraut (GALAP) mit mittleren Wirkungsgraden von ≥ 97 % sicher kontrolliert werden. Amarant- (AMASS) und Gänsedistel-Arten (SONSS) waren mit mittleren Wirkungsgraden von ca. 95 % über alle Behandlungen ebenfalls noch ausreichend sicher zu bekämpfen. Mit mittleren Bekämpfungsleistungen von ca. 90 % waren die Leitunkräuter Einjähriges Bingelkraut (MERAN) und Winden-Knöterich (POLCO) nur begrenzt und von einzelnen Behandlungsvarianten nicht mehr ausreichend regulierbar. Mit einer mittleren Bekämpfungsleistung über alle Behandlungen von 82 % kann Schwarzer Nachtschatten (SOLNI) als Problemunkraut im Kartoffelbau bezeichnet werden. Mit Ausnahme von Variante 9 (Boxer® + Proman® + Squall®) konnte alle weiteren Behandlungsvarianten mit mittleren Bekämpfungsleistungen von deutlich unter 90 % keine ausreichende Regulierung erzielen.

Hinsichtlich der Kulturverträglichkeit wurde im Mittel über alle Varianten und Standorte eine temporäre Kulturbeeinträchtigung von 3 % beobachtet. Die Effekte waren auf einzelne Standorte beschränkt. Ein signifikanter Zusammenhang mit bestimmten Behandlungsvarianten konnte nicht hergestellt werden. Auf eine Darstellung der geringfügigen und standortspezifischen Effekte wird daher verzichtet.

Tab. 3 Mittlere Unkraut-Bekämpfungsleistungen der einzelnen Behandlungsvarianten.

Tab. 3 *Average weed control performance of the individual treatment options.*

	Behandlungsvarianten - Unkrautwirkung (%)												
	VG-2	**VG-3**	**VG-4**	**VG-5**	**VG-6**	**VG-7**	**VG-8**	**VG-9**	**VG-10**	**VG-11**	**VG-12**	**VG-13**	**VG-14**
CAPBP	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ATXSS	99	100	100	99	100	100	99	97	100	100	100	100	100
GASPA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	98	99	100
GASCI	99	99	96	99	99	99	99	99	99	98	99	99	98
MATSS	99	100	93	98	100	98	99	99	99	96	99	99	100
ECHCG	98	100	96	94	100	99	97	97	98	100	99	99	99
GALAP	97	97	97	99	99	99	100	100	97	98	98	98	92
CHESS	92	97	98	91	99	100	96	97	95	100	98	98	94
FUMOF	99	99	100	100	100	100	100	100	100	68	99	99	88
AMASS	97	99	99	97	99	93	95	100	78	95	97	97	97
SONSS	97	96	98	94	95	96	93	92	97	91	92	98	95
SENVU	95	95	95	89	96	98	98	83	98	95	93	98	97
POLAV	88	97	81	87	100	97	98	96	97	97	99	95	75
POLCO	91	88	94	95	97	95	99	100	91	75	93	94	82
MERAN	90	97	98	89	99	97	89	83	95	83	88	98	83
SOLNI	86	74	88	89	91	85	82	99	77	64	78	74	80
	Gesamt-Unkrautwirkung (%)												
MW*	94	95	97	93	98	96	95	96	94	92	94	95	92
STABW	11	9	4	12	3	7	7	8	11	17	12	9	14
n	23	22	11	26	12	17	11	12	24	12	25	25	11

*) nicht signifikant nach Kruskal-Wallis One-way ANOVA; VG = Versuchsglied

Literatur

EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION (EPPO), 2018: Efficacy evaluation of herbicides - Weeds in potato. Online www.eppo.int, PP 1/051 (3), 4 p.

GEHRING, K., T. FESTNER, H.-J. MEßMER, M. MOHR, S. THYSSEN, 2016: Chemische Unkrautregulierung im Kartoffelbau. Julius-Kühn-Archiv **454**, 498-499.

UNISTAT® LIMITED, 2015: User's Guide, Version 6.5. London, UK, 1244 p.

Sektion 4: Biodiversität
Session 4: Biodiversity

Unkräuter im Mais - Veränderung der Eigenschaften der Unkrautzusammensetzung durch Bodenbearbeitung und Fruchtfolge

Weeds in maize - variation in species trait assembly through soil cultivation and crop rotation

Heike Pannwitt[1*], Christoph Krato[2], Bärbel Gerowitt[1]

[1] Professur Phytomedizin, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, Deutschland
[2] Syngenta Agro GmbH, Maintal, Deutschland
*Korrespondierende Autorin, heike.pannwitt@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.028

Zusammenfassung

Mais ist die zweitwichtigste Kulturpflanze in Deutschland. Die genutzten Anbauverfahren im Mais variieren zunehmend, sodass neben der klassisch wendenden Bodenbearbeitung, vermehrt die nicht-wendende Bodenbearbeitung genutzt wird. Mais wird zudem als Teil einer Fruchtfrequenz oder in Selbstfolge angebaut. Die Folgen des veränderten Managements auf die Eigenschaften der Unkrautarten sind unklar. Es wird jedoch angenommen, dass ein entsprechendes Management mit bestimmten Unkrauteigenschaften assoziiert ist. Die wendende Bodenbearbeitung begünstigt scheinbar konkurrenzstarke Unkrauteigenschaften als die nicht-wendenden Bodenbearbeitung. Weiterhin wird vermutet, dass konkurrenzstarke Eigenschaften eher durch den Anbau von Mais in Selbstfolge als durch den Anbau in Rotation gefördert werden. Dies wurde mit Hilfe einer modernen RLQ-Analyse getestet. Als Datengrundlage für diese Analyse wurden Feld- und Unkrautdaten aus einem deutschlandweiten Unkrautmonitoring im Mais 2017 und 2018 sowie ein Datensatz zu Unkrauteigenschaften (Raunkiear Lebensformen, Lebenszyklus, Leaf-Height-Seed Strategien, Phenology, Klassische Verwandschaftsgruppen der Unkräuter sowie deren Neigung Herbizidresistenzen zu bilden) aus anderen Studien zusammengestellt. Die Ergebnisse zeigen, das unabhängig vom Management im Mais, konkurrenzstarke Unkrauteigenschaften, wie Therophyten, Arten mit hoher Affinität zu nährstoffreichen Böden, große Blattflächen, hohe Pflanzenhöhe und ein schweres Samengewicht vorkommen können. Managementfaktoren können jedoch die Gruppierung bestimmter Unkrauteigenschaften fördern. So werden, entgegen der Annahme, konkurrenzstarke Unkrauteigenschaften eher der nicht-wendenden als der wendenden Bodenbearbeitung zugeordnet. Wie erwartet, kann der Anbau von Mais in Selbstfolge eine Anpassung der Unkrautarten an die Bedingungen im Mais fördern.

Stichwörter: Mais, RLQ-Analyse, Unkrauteigenschaften

Abstract

Maize is the second most important weed in Germany. Maize cultivation varies between conventional tillage and reduced tillage and cultivation of maize in crop sequences or continuous maize. The effect of the management on the weed traits is unknown. Assoziation of weed traits to the management, however, are likely. We expect that conventional tillage is more associated to competitive weed traits than to reduced tillage. Furthermore, cultivation of continuous maize in contrast to crop rotation leads to a specialization of weeds to maize growing conditions. We tested these expectations by using the modern RLQ-analysis. Field and weed data were obtained from a germanwide weed monitoring in maize in 2017 and 2018 and trait data (life form, life history, L-H-S strategy, phenology, division and weeds possibility to develop herbicide resistance) from various datasets. The results showed that traits linked with competitive weed species, such as Therophytes, weed species with a high affinity to soil nutrients, large leaf area, plant height and seed weight were independent from the tested management factors. Management factors, however, can enhance the selection of weed traits. Thus, competitive traits are more associated to reduced than to conventional tillage. A specialization of weed species was related to continuous maize.

Keywords: Maize, RLQ-analysis, weed traits

Einleitung

Mais ist die zweitwichtigste Kulturpflanze in Deutschland. Neben Körnermais wird Mais vorrangig in Form von Silomais angebaut. Silomais wird als Viehfutter oder vermehrt als Hauptsubstrat zur Energiegewinnung in Biogasanlagen genutzt. Durch den vermehrten Bedarf von Silomais stieg deren Anbaufläche (DESTATIS, 2019). Mais wird als Teil in einer Sequenz von Feldfrüchten oder in Selbstfolge angebaut (STEIN und STEINMANN, 2018). Zur Bodenbearbeitung vor der Aussaat wird entweder die traditionelle Bodenbearbeitung mit dem Pflug oder die moderneren Methoden der nicht-wendenden Bodenbearbeitung, z. B. Direktsaat, genutzt. Unkräuter konkurrieren mit dem Mais und führen zu Ertragsverlusten (SWANTON et al., 1999). Konkurrenzstarke Unkräuter haben laut BOURGEOIS et al. (2019) folgende Eigenschaften: sie gehören zu den Therophyten, haben eine Affinität zu nährstoffreichen Böden, eine große Blattfläche und eine lange Blühzeit. Die Auswirkungen des Managements auf die Eigenschaften der Unkrautarten im Mais sind jedoch bisher nicht untersucht.

Entsprechend ihrer Eigenschaften sind Unkrautarten entweder positiv oder negativ mit dem Management im Feld assoziiert (FRIED et al., 2012). Die wendende Bodenbearbeitung vor der Aussaat selektiert relativ hochwachsende Unkrautarten mit schweren Samen und einer Affinität zu nährstoffreichen Böden (ARMENGOT et al., 2016). Therophyten und perennierende Arten werden nicht eindeutig positiv oder negativ mit der wendenden Bodenbearbeitung assoziiert (LEMIEUX et al., 1993). Nicht-wendende Bodenbearbeitung, hingegen, fördert Arten mit kleinen Samen, einer hohen Reproduktionsrate und mit geringerer Affinität zu nährstoffreichen Böden (ARMENGOT et al., 2016). Der Anbau von Kulturpflanzen in Folge oder in Rotation filtert Eigenschaften der Unkrautartenzusammensetzung im Feld. Dies sind Lebensform und Phänologie der Pflanze (GUNTON et al., 2011; FRIED et al., 2012). In Sommerkulturen wachsen vorrangig sommer-annuelle Unkräuter mit kleinen Samen und langer Blühdauer und in Winterkulturen winter-annuelle Arten mit mittlerer Samengröße. Weniger spezialisierte Unkräuter, sogenannte Generalisten, sind auf Feldern mit Rotationen zu finden (FRIED et al., 2010; FRIED et al., 2012).

In dieser Studie wurde der Einfluss der Bodenbearbeitung (wendend vs. nicht-wendend) und die Anbausequenz von Mais (Selbstfolge vs. Rotation) auf die Eigenschaften der Unkrautarten untersucht. Es wird angenommen, dass Unkräuter im Mais durch das Management im Feld entsprechend ihren Eigenschaften selektiert werden. Dabei ist zu erwarten, dass Unkräuter mit konkurrenzstärkeren Eigenschaften eher durch die wendende als die nicht-wendende Bodenbearbeitung begünstigt werden. Außerdem wird erwartet, dass auf Feldern mit Mais in Selbstfolge eher spezialisierte Unkräuter und auf Feldern mit Mais als Teil einer Rotation eher Generalisten auftreten.

Material und Methoden

Die Datengrundlage zur Analyse stammt aus einem deutschlandweitem Unkrautmonitoring in Mais aus den Jahren 2017 und 2018. Für die Untersuchung wurden insgesamt 345 Betriebe zufällig ausgewählt. Diese Betriebe hatten im Mittel einen Maisanteil von 32 % in der Fruchtfolge mit hauptsächlicher Nutzung als Viehfutter und zur Energiegewinnung durch Biogasanlagen. Die Bodenbearbeitung vor der Maisaussaat erfolgte auf mehr als der Hälfte der Betriebe durch wendende Bodenbearbeitung. Der Maisanbau erfolgte in Rotation mit Wintergetreide und Sonderkulturen oder in Selbstfolge.

Datengrundlage Feldmanagement

Aus dem Datensatz des deutschlandweiten Monitoring im Mais wurden 589 Felder für die Analyse genutzt. Von diesen Feldern wurden 326 Felder vor der Maisaussaat gepflügt und auf 272 Feldern in Mulch oder Direktsaat (im weiteren Text als nicht-wendende Bodenbearbeitung bezeichnet) angebaut. Der Maisanbau erfolgte auf 89 Feldern in Selbstfolge von mindestens 2 Jahren und auf 509 Flächen in Rotation mit anderen Kulturpflanzen (Deutsches Weidelgras, Winterraps,

Winterweizen, Mais, Winterroggen, Wintergerste, Triticale, Zuckerrüben, Hafer, Grünroggen, Zwiebeln, Grünkohl, Chicoree, Salat).

Datengrundlage Unkrautarten

In jedem Maisfeld, wurden die Unkrautarten und deren Häufigkeit in einem 100 m^2 großen Spitzfenster in zehnfacher Wiederholung auf 0,1 m^2 bonitiert. Die Bonitur fand zwischen dem 4- bis 8-Blatt-Stadium des Maises statt.

Datengrundlage Unkrauteigenschaften

Den 87 erfassten Unkrautarten wurden insgesamt 20 Pflanzeneigenschaften zugeordnet (Tab. 1). Daten zu den Eigenschaften der Raunkiear Lebensformen (Therophyten, Hemikryptophyten, Geophyten), Lebenszyklus (annuell oder perenn), Leaf-Height-Seed (L-H-S) Strategien (Spezifische Blattgröße, Pflanzenhöhe, Samengewicht) und Phenology (Blühbeginn und Blühdauer) stammen aus dem Datensatz von Barberi et al. (2018). Weiterhin wurden dem Datensatz, klassische Verwandschaftsgruppen der Unkräuter, Monokotyledonen und Dikotyledonen und deren Neigung zur Entwicklung einer Herbizidresistenz in Deutschland hinzugefügt (Heap, 2019).

Datenanalyse

Der Zusammenhang zwischen Unkrauteigenschaften und Feldmanagement (Wendend vs. Nicht wendend und Maisanbau in Rotation vs. Selbstfolge), wurde mittels der RLQ-Analyse untersucht (Doledec et al., 1996). Grundlage dieser Analyse sind drei Tabellen. Die R-Tabelle, enthält das Management je Feld, die L-Tabelle beinhaltet die Dichte der jeweiligen Unkrautart je Feld und die Q-Tabelle, die Eigenschaften je Unkrautart. Bei der RLQ-Analyse wird zunächst jede dieser drei Tabellen getrennt mit einer Ordinationsmethode analysiert. Auf die R-Tabelle wurde eine Korrespondenzanalyse und aufgrund kategorialer und quantitativer Daten wurde in der L- und Q-Tabelle eine Hill-Smith-Ordination, angewandt (Hill und Smith, 1976). Im Anschluss wird die maximale Co-Varianz zwischen R und Q ermittelt und mit L (Unkrautmatrix) gewichtet. Die Signifikanz der RLQ-Analyse wurde anschließend mittels einer Monte-Carlo Permutation (n=999) getestet (Drey und Legendre, 2008). Für alle Analysen wurden das Statistik Programm R (R Core Team, 2014) und das darin enthaltende Packet ade4 (Drey und Dufour, 2007) verwendet.

Ergebnisse

In Mais dominieren Unkrautarten mit therophytischer Lebensform. Dikotyle Arten treten am häufigsten auf. Unkrautarten im Mais haben zumeist einen annuellen Lebenszyklus und bevorzugen nährstoffreiche Böden. Für die meisten der in Mais vorkommenden Arten ist keine Neigung zur Herbizidresistenz bekannt (Tab. 1).

Die ersten beiden Achsen der RLQ-Analyse beschreiben 97 % (62 % Achse 1 und 34 % Achse 2) der Gesamtvarianz. Das Ergebnis des Monte-Carlo Signifikanztest zeigte keine signifikanten Ergebnisse (*P*-Wert = 0,39) zwischen Management und Unkrauteigenschaften. Auf der ersten Ordinationsachse wird klar zwischen dem Maisanbau in Rotation und Maisfolge unterschieden (Abb. 1). Maisanbau in Rotation ist positiv mit Arten assoziiert, die N-arme Böden oder verschiedene Nährstoffkonzentrationen im Boden bevorzugen. Weiterhin laden geophytische Unkräuter positiv auf dem Maisanbau in Rotation. Zu den Geophyten der bonitierten Arten im Mais gehören *Alopecurus geniculatus, Calystegia sepium* (L.) R. Br, *Cirsium arvense* (L.) Scop, *Equisetum arvense* L.. Die zweite Ordinationsachse unterscheidet zwischen der wendenden und nicht-wendenden Bodenbearbeitung. Der nicht-wendenden Bodenbearbeitung sind Unkräuter mit einer Affinität zu Böden mit guter bis überhöhter Nährstoffversorgung zugeordnet. Perennierende und monokotyle Arten sind mit dem Maisanbau bei wendender Bodenbearbeitung, die eher in Selbstfolge steht, assoziiert. Unkrautarten bei denen bisher keine Herbizidresistenz registriert ist, laden etwas stärker im Maisanbau in Rotation und bei wendender Bodenbearbeitung auf. Arten mit bekannter

Herbizidresistenz werden eher der Maisselbstfolge und der nicht-wendenden Bodenbearbeitung zugeordnet.

Tab. 1 Liste der untersuchten Kategorien und dazugehörenden Pflanzeneigenschaften (n = 20), Abkürzung, Anzahl der Unkrautarten (n=87) bei kategorialen Variablen (n), Mittelwert bei kontinuierlichen Variablen ($\bar{x}$).

Tab. 1 *List of categories, traits, their belonging, abbreviation, number of plants per trait (n) and mean value ($\bar{x}$).*

Kategorien	Eigenschaften	Abkürzung	n	
Raunkiaer Lebensform	Therophyten	RLF.1	66	
	Hemikryptophyten	RLF.2	15	
	Geophyten	RLF.3	6	
Gruppe	Dikotyledonen	DIV.1	71	
	Monokotyledonen	DIV.2	16	
Lebenszyklus	Annuell	LSR.1	69	
	Perenn	LSR.2	18	
L-H-S	Spezifische Blattgröße [m^2 kg^{-1}]	SLA		27
	Pflanzenhöhe [m]	PLH		0,71
	Samengewicht [g]	SWT		4,33
Phänologie	Blühbeginn [Monat]	BFF		5
	Blühdauer [Monat]	DFF		4,55
Affinität zu	Wenig N, P	SNC.1	6	
Nährstoffkonzentration im	N-arm	SNC.2	12	
Boden	Gute Nährstoffkonz.	SNC.3	22	
	Hohe Nährstoffkonz.	SNC.4	34	
	Überhöhte Nährstoffkonz.	SNC.5	3	
	Verschiedene	SNC.6	10	
	Nicht bekannt	HR.0	71	
Herbizidresistenz	Bekannt	HR.1	16	

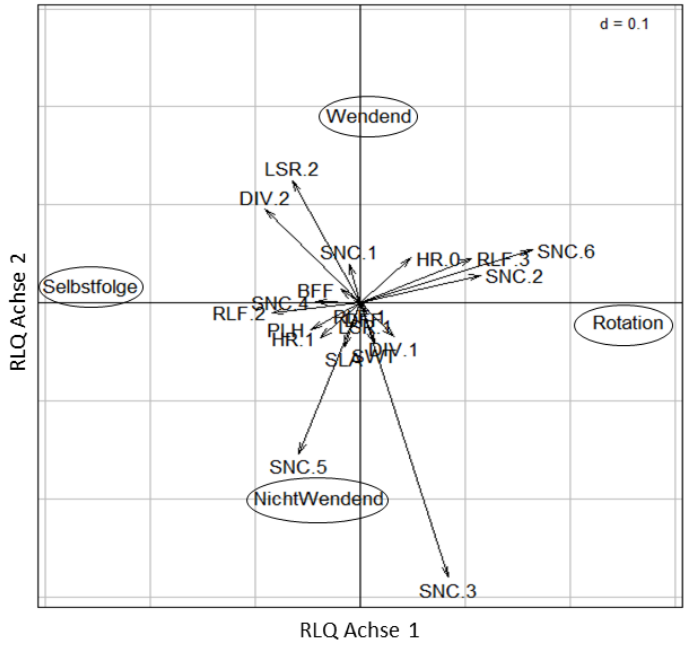


Abb. 1 Biplot der RLQ-Analyse von Unkrauteigenschaften und Managementfaktoren (Wendend vs. Nicht wendend und Selbstfolge vs. Rotation).

Fig. 1 *Biplot representing trait and management data of the RLQ-analysis.*

Diskussion

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass im Mais verstärkt konkurrenzstarke Unkräuter vorkommen. Sie gehören vorzugsweise zu den Therophyten mit einem annuellen Lebenszyklus. Sie bevorzugen nährstoffreiche Standorte, haben eine hohe Pflanzenhöhe, große spezifische Blattfläche und ein schweres Samengewicht. Die Ergebnisse zur Pflanzenhöhe, spezifische Blattfläche und Samengewicht sind vergleichbar mit Unkräutern im Mais in Frankreich (FRIED et al., 2012). Unkrautbestände mit diesen Eigenschaften gruppieren sich nach der Art der Bodenbearbeitung und Sequenz der Feldfrüchte, auch wenn die Einflüsse nicht signifikant sind. Unsere Ergebnisse zeigen jedoch Tendenzen, dass Eigenschaften wie die Affinität zu Nährstoffen im Boden, Raunkiear Lebensformen, Lebenszyklus und der Neigung eine Herbizidresistenz zu entwickeln, unterschiedlich mit den Managementfaktoren assoziiert sind.

Merkmale, die für eine Affinität zu Nährstoffe stehen, verteilen sich unterschiedlich. Unkrautarten, die sich an unterschiedliche Anforderungen im Feld anpassen können, ordnet FRIED et al. (2010) als Generalisten ein. Die große Gruppe dieser Arten mit Vorliebe für mittlere bis hohe Nährstoffkonzentration (Tab. 1) stehen auch bei uns im Zentrum der Ordination. Die wenigen Arten, die eine hohe Affinität zu Nährstoffen im Boden haben, sind mit der nicht-wendenden Bodenbearbeitung assoziiert. Maisanbau mit nicht-wendender Bodenbearbeitung ist kein Bearbeitungsverfahren mit einer langen Tradition. Bei einem Wechsel der Bodenbearbeitung von wendend zu nicht-wendend, entsteht eine höhere Konzentration von organischem Material (OORTS er al., 2007), das für die Mineralisation unter Mais zur Verfügung steht. In Kombination mit den im Mais jährlich ausgebrachten organischen oder mineralischen Dünger, kann dies zu sehr hohen Nährstoffkonzentrationen im Boden führen. Das Vorkommen von Unkrautarten mit einer hohen Affinität zu nährstoffreichen Bedingungen kann also eine Folge der Kombination vom Wechsel der Bodenbearbeitung und einer nicht daran angepassten Düngung sein.

Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass Geophyten im Zusammenhang mit dem Maisanbau in Rotation stehen. Geophyten sprossen vegetativ aus unterirdischen Überdauerungsorganen, diese Etablierungsart ist hier bedeutender als das Auflaufen aus Samen. Sie reagieren weniger auf die Periodizität, die beim Anbau unterschiedlicher Feldfrüchten entsteht und die Landwirte nutzen, um mit Fruchtfolgegestaltung steigenden Dichten von Samenunkräutern vorzubeugen. Wurzelunkräuter werden eher durch dichte, konkurrenzstarke Feldfruchtbestände reduziert (DAU und GEROWITT, 2004, SALONEN et al., 2013, KOLBERG et al., 2018). Mais als konkurrenzschwache Reihenkultur unterdrückt diese Arten kaum – unabhängig davon, welche Feldfrucht vorher in der Fruchtfolge gestanden hat. Die vorherrschenden Bedingungen während einer Bodenbearbeitung sind entscheidend dafür, ob Geophyten durch Verteilung der Fortpflanzungsorgane gefördert oder durch Austrocknen der Fortpflanzungsorgane verringert werden (LEMIEUX et al., 1993).

Monokotyle laden auf dem Anbau von Mais mit wendender Bodenbearbeitung, der eher in Selbstfolge steht. Hirsen, die in unserem Datensatz sehr häufig sind, spielen mengenmäßig unter den 13 monokotylen Arten eine große Rolle (PANNWITT et al., 2018). Noch enger sind perennierende Arten mit wendender Bodenbearbeitung assoziiert. Zusätzlich zu den Geophyten sind viele Hemikryptophyten den perennierenden Arten zugeordnet. TRICHARD et al. (2013) und ARMENGOT et al. (2016) beschreiben dagegen die Selektion von perennierenden Arten in vollständigen und langfristigen Systemen mit nicht-wendender Bodenbearbeitung. Wird die nicht-wendende Bodenbearbeitung wie in unserer Studie eher kurzfristig betrachtet, stellt sich dieser Effekt nicht oder noch nicht ein.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass das Auftreten von Unkrautarten, die bekannt dafür sind, dass sie Herbizidresistenz entwickeln können, durch den Anbau von Mais in Selbstfolge und nicht-wendender Bodenbearbeitung begünstigt werden. Der Anbau im Wechsel mit anderen Kulturpflanzen und wendende Bodenbearbeitung ist dagegen mit Arten ohne Herbizidresistenz assoziiert. Der Anbau von Mais in Selbstfolge führte auch bei FRIED et al. (2010) zu einer Anpassung der Unkrautartenzusammensetzung an die Anbaubedingungen.

Für den Anbau von Mais bedeuten unsere Ergebnisse, dass konkurrenzstarke Unkräuter unabhängig vom getesteten Management auftreten. Jedoch tragen einzelne Managementfaktoren zu einer zusätzlichen Gruppierung von Unkrauteigenschaften bei. Ausgehend von Unkrauteigenschaften wie die Neigung eine Herbizidresistenz zu entwickeln, Affinität zu nährstoffreichen Böden, Therophyten, Blattflächengröße und Blühzeit (BOURGEOIS et al., 2019) zeigt sich, dass konkurrenzstarke Unkräuter mit der nicht-wendenden Bodenbearbeitung und Selbstfolge assoziiert sind. Bei der wendenden Bodenbearbeitung und Maisanbau in Rotation dagegen, treten weniger konkurrenzstarke Unkrautarten auf.

Danksagung

Wir bedanken uns bei allen, die bei der Erfassung der Daten mitgeholfen haben. Das Projekt wird gefördert durch die Syngenta-Agro.

Literatur

ARMENGOT, L., J.M. BLANCO-MORENO, P. BARBERI, G. BOCCI, S. CARLESI, R. AENDEKERK, A. BERNER, F.CELETTE, M. GROSSE, H. HUITING, A. KRANZLER, A. LUIK, P. MÄDER, J. PEIGNE, E. STOLL, P. DELFOSSE, W. SUKKEL, A. SURBÖCK, S. WESTAWAY, F.X .SANS, 2016: Tillage as a driver of change in weed communities: a functional perspective. Agriculture, Ecosystem and Environment **222**, 276-285.

BARBERI, P., G. BOCCI, S. CARLESI, L. ARMENGOT, J.M. BLANCO-MORENO, F.X. Sans, 2018: Linking species traits to agroecosystem services: a functional analysis of weed communities. Weed Research **58**, 76-88.

BOURGEOIS, B., F. MUNOZ, G. FRIED, L. MAHAUT, L. ARMENGOT, P. DENELLE, J. STORKEY, S. GABA, C. VIOLLE, 2019: What makes a weed a weed? A large-scale evaluation of arable weeds through a functional lens. American Journal of Botany **106**, 90-100.

DAU, A., B. GEROWITT, 2004. Cultural control of *Cirsium arvense* in a cereal-based crop rotation. Journal of Plant Diseases and Protection. Special Issue **XIX**, 475-481.

DESTATIS, 2017: Feldfrüchte und Grünland. verfügbar unter: www.destatis.de (zuletzt geprüft:13.10.2019).

DOLEDEC, S., D. CHESSEL, C.J.F. TER BRAAK, 1996: Matching species traits to environmental viariables: a new three-table ordination method. Environmental and Ecological Statistics **3**, 143-166.

DRAY, S., A. DUFOUR, 2007: The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. Journal of Statistical Software **22**, 1-20.

DRAY, S., P. LEGENDRE, 2008: Testing the species traits-environment relashionships: the fourth-corner problem revisited. Ecology **89**, 3400-3412.

FRIED, G., S. PETIT, X. REBOUD, 2010: A specialist-generalist classificaion of the arable flora and its response to changes in agricultural practices. BMC Ecology **10**, 20.

FRIED, G., E. KAZAKOU, S. GABA, 2012: Trajectories of weed communities explained by traits associated with species response to management practices. Agriculture, Ecosystem and Envrironment **158**, 147-155.

GUNTON, R.F., S. PETIT, S. GABA, 2011: Functional traits relating arable weed communities to crop characteristics. Journal of Vegetation Science **22**, 541-550.

HEAP, I 2019: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds.verfügbar unter: www.weedscience.org (zuletzt geprüft: 10.10.2019). WEEDSCIENCE, 2019: HTTP://WWW.WEEDSCIENCE.ORG/SUMMARY/COUNTRY.ASPX?COUNTRYID=18.

HILL, M., A. SMITH, 1976: Principle component analysis of taxonomic data with multi-state discrete characters. Taxon. **25**, 249-255.

KOLBERG, D., L.O. BRANDSÆTER, G. BERGKVIST, K.A. SOLHAUG, B. MELANDER, B. RINGSELLE, 2018: Effect of Rhizome Fragmentation, Clover Competition, Shoot-Cutting Frequency, and Cutting Height on Quackgrass (*Elymus repens*). Weed Science **66**, 215-225.

LEMIEUX, C., D.C. CLOUTIER, G.D. LEROUX, 1993: Distribution and survival of quackgrass (*Elytriga repens*) rhizome buds. Weed Science **41**, 600-606.

OORTS, K., H. BOSSUYT, J. LABREUCHE, R. MERCKX, N. NICOLARDOT, 2007: Carbon and nitrogen stocks in relation to organic matter fractions, aggregation and pore size distribution in no-tillage and conventional tillage in northern France. European Journal of Soil Science **58**, 248-259.

PANNWITT, H., C. KRATO, B. GEROWITT, 2018: Unkraut-Monitoring 2.0 – Erste Ergebnisse zur aktiellen Unkrautvegetation im Mais. Julius-Kühn-Archiv **458**, 24-29.

R CORE TEAM, 2014: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Wien, Österreich. www.R-project.org.

SALONEN, J., T. HYVÖNEN, J. KASEVA, H. JALLI, 2013: Impact of changed cropping practices on weed occurrence in spring cereals in Finland - a comparison of surveys in 1997-1999 and 2007-2009. Weed Research **53**, 110-120.

STEIN, S., H.H. STEINMANN, 2018: Identifying crop rotation practice by the typification of crop sequence patterns for arable farming systems – A case study from Central Europe. European Journal of Agronomy **92**, 30-40.

SWANTON, C.J., S. WEAVER, P. COWAN, R. VAN ACKER, W. DEEN, A. SHRESHTA, 1999: Weed tresholds: Theory and Applicability. Journal of Crop Production **2,** 9-29.

TRICHARD A., A. ALIGNIER, B. CHAUVEL, S. PETIT, 2013: Identification of weed community traits to conservation agriculture. Agriculture, Ecosystem and Environment **179**, 179-186.

Differenzierung der Unkrautgesellschaften auf unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten im Bernburger Anbausystem-Versuch

Differentiation of weed communities due to different management intensities within the Bernburg field trial "cultivation system experiment"

Philipp Dankert[1], Silke Pentschew[2], Wernfried Koch[2], Wolfgang Heyer[3*]

[1]Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
[2]Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG), Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg,
[3]Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung, Reilstraße 128, 06114 Halle (Saale)
*Korrespondierender Autor, wolfgang.heyer@inl-mail.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.029

Zusammenfassung

In einem Feldversuch am Standort Bernburg (Sachsen-Anhalt) wurde untersucht, wie sich Anbausysteme (a1 konventionell, a2 und a3 ökologisch) in zwei Nährstoffstufen auf die Diversität (Shannon - Index), und die Individuenzahlen der Unkräuter insgesamt und Mohn auswirken. Auf Grundlage von Bewirtschaftungs- und Ertragsdaten wurde weiterhin der Energiegewinn berechnet. Es ergaben sich Hinweise, dass auch dieser Parameter den Deckungsgrad beeinflusst und thermodynamische Abhängigkeiten auch in Agrar-Ökosystemen deutlich werden.

Stichwörter: Dauerfeldversuch, Energiegewinn, Ökosystemtheorie, Unkrautdeckungsgrad

Abstract

Within a field trial at the Bernburg site (Saxony-Anhalt) it was examined how cultivation systems (a1 integrated, a2 and a3 organic) in two nutrient levels influence the diversity (Shannon index) and total number of weed individuals and poppy. On base of management and yield data furthermore the energy gain was determined. There were indications that this parameter influences weed coverage and thermodynamic dependencies also becomes clear in agri - ecosystems.

Keywords: Ecosystem theories, energy gain, long-term field experiment, weed coverage

Einleitung

Ökologische Forschungen widmen sich in letzter Zeit verstärkt der Klärung des Ökosystembegriffs. Verfolgt werden in diesem Zusammenhang verschiedene Theorieansätze, u.a. die Beschreibung von Ökosystemen auf der Grundlage von Organismengemeinschaften bzw. –assoziationen sowie thermodynamische Ökosystembetrachtungen (VOIGT, 2008). Letzterer machte immer wieder deutlich, dass Ökosysteme über den Transfer von Energie über die bestehenden trophischen Ebenen gekennzeichnet sind und über den Energiefluss Systemzusammenhänge, u.a. auf Interaktionen sowohl zwischen Artenvielfalt und Stabilität von Ökosystemen, also auf die abiotische Umwelt Einfluss genommen wird. Letzthin ist der Energiefluss Grundlage funktionaler Ökosystemleistungen, die u.a. bei SCHAEFFER (2003) ausführlich dargestellt sind. Eine Adaption und ausführliche Betrachtung thermodynamischer Ansätze zur Beschreibung des Status von Agrarökosystemen erfolgte bei STEINBORN (2000).

Im Systemversuch war auffällig, dass sich Unkrautgemeinschaften in den Intensitätsstufen des Versuches unterschieden. Diesen Unterschieden wird aus Perspektive der genannten beiden Ökosystemtheorien nachgegangen, d. h. Beschreibung der beobachteten Beziehungen im Unkrautauftreten in Abhängigkeit von Anbausystem, Fruchtart und Intensität sowie thermodynamische Betrachtungen unter Verwendung exakter acker- und pflanzenbaulicher Daten der Flächenbewirtschaftung, Bestandespflege, des Nährstoffzuflusses und der Erträge.

Mit diesem Vorgehen war die Arbeitshypothese verbunden, dass aus der Flächenbewirtschaftung abgeleitete energetische Parameter geeignet sind, Gründe für die differenzierte Ausprägung der Unkrautgesellschaften in den Betriebssystemen, Fruchtarten und Nährstoffintensitäten zu erfassen.

Material und Methoden

Die Untersuchungen erfolgten an der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG) Sachsen-Anhalt am Versuchsstandort Bernburg im Dauerversuch „Leistungsfähigkeit verschiedener Landbausysteme, konventionell (a1) - ökologisch viehlos (a2) - ökologisch viehhaltend (a3)". Der Versuchsaufbau ist unter LLG, (2017) im Einzelnen einzusehen. Neben den Betriebssystemen ist eine achtfeldrige Fruchtfolge betrachtet. Der Versuch steht in dreifacher Wiederholung. Von besonderer Bedeutung für die Klärung vorstehender Arbeitshypothese war die Untersetzung der Betriebssysteme in zwei Nährstoffstufen (b1, b2). In a1 75 bzw. 112 kg N/ha als KAS, a2 ohne zusätzliche N-Gabe bzw. 38 kg N/ha als Ökodünger im Frühjahr sowie 58 bzw. 85 kg N/ha im Herbst bei a3 als Stallmist. Mit diesen Nährstoffdifferenzierungen wurde der Versuch von 1993 - 2017 geführt. Ab dem Vegetationsjahr 2017/2018 entfiel aus arbeitstechnischen Gründen dieser Prüffaktor und in der Fruchtfolge wurde Roggen durch Wintertriticale ersetzt.

Tab. 1 Erhebungen zum Beikrautauftreten; HS-Sommerhafer, EF-Futtererbse, GS-Sommergerste, BA-Ackerbohne, WW-Winterweizen, RW-Winterroggen, K-Kartoffel, LUG-Luzernegras, ZR-Zuckerrübe, LUZ – Luzerne, TIW- Wintertriticale.

Tab. 1 *Investigations on the occurrence of weeds; HS-spring oats, EF-pea, GS-spring barley, BA-broad bean, WW-winter wheat, RW-winter rye, K-potato, LUG-alfalfa/grass, ZR-sugar beet, LUZ – alfalfa, TIW- winter triticale.*

Jahre	Datum	Untersuchung	Fruchtarten	Auswertung	Statistik
2015	12.06.2015	Bonitur der Unkräuter, 5x 90x90 cm	BA, EF, HS, K, RW, WW, ZR, LUZ,	Individuen und Artenbestand, Berechnung Diversität	Statistische Bewertung der Diversitätsdifferenz nach McArthur 1965, Individuenzahlen wie 2018 (n=5)
2018	25.04.2018	Digitalfotos, 2 Aufnahmen je Fruchtart, Intensität und Wiederholung	HS, LUZ, GS, TIW, WW	Digitale Berechnung des Grünanteils (Deckungsgrad) und visuelle Einschätzung des Beikrautanteils	Mittelwertvergleich (t-Test) der beiden Intensitäten, für die Deckungsgrade (n=6)
2018	29.05.2018		EF, ZR		
2019	08.03.2019		LUZ, TIW, WW,		
2019	25.04.2019		EF, HS, LUZ, GS		
2019	23.05.2019		K*, ZR		

*wegen mechanischer Bestandespflege keine Beikrautaufnahmen

Aufnahmen der Unkrautgemeinschaften erfolgten im Jahr 2015 durch Bonituren in den ausgewiesenen Fruchtarten (Tab. 1), wobei Arten- und Individuenzahlen erfasst wurden. Aus der Artenzahl und den Individuenanteile an der Unkrautgesellschaft wurde der Diversitätsindex (Shannon-Index) berechnet. Er ist dimensionslos, erlaubt jedoch eine statistische Bewertung von Diversitätsdifferenzen nach einem von McArthur (1965) beschriebenen Verfahren.

Angaben zu den Individuenzahlen beziehen sich auf alle erfassten Unkrautarten und Mohn. Die Art wurde gewählt, weil sie in allen Anbausystemen mit höherer Häufigkeit auftrat.

Die Bestimmung des Gesamtdeckungsgrades erfolgte in den Jahren 2018/2019 durch digitale Fotoaufnahmen, welche automatisiert mit Hilfe eines Bildauswertungsprogramms ausgewertet wurden. Der auf Unkräuter entfallende Deckungsanteil wurde anschließend visuell am Bildschirm eingeschätzt. Die statistische Auswertung beruht auf einem Mittelwertvergleich (t-Test) der beiden Intensitätsstufen für die Fruchtarten der Betriebssysteme auf einem Signifikanzniveau von 10%.

Die Ermittlung energetischer Parameter aus den Bewirtschftungsangaben für die Anbausysteme erfolgte mit Hilfe der Software REPRO (Version 5.7) am Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung Halle. In der Software sind energetische landwirtschaftliche Standarddaten hinterlegt. Dies bedurfte der Erfassung der Versuchsabläufe von Aussaat bis Ernte, die Übernahme der Ertragsdaten sowie der Art und Menge eingesetzter Wirtschaftsgüter. Aus den auf einen Hektar bezogenen Daten wurden energetische Parameter abgeleitet. Im vorliegenden Fall ist der Energiegewinn für die Fruchtarten in den Intensitätsstufen im Mittel der Jahre 2015-2019 dargestellt. Er ergibt sich aus der

Energiebindung im realisierten Ertrag abzüglich der Energieaufwendungen aus der Bewirtschaftung.

Ergebnisse

Beikrautgemeinschaften und ausgewählte Arten

Die Abbildung 1 zeigt die Zuordnung der im Jahr 2015 ermittelten Unkrautgesellschaft als Diversitätsindex (Abb. 1 I) und der Individuenzahlen der Unkräuter (Abb. 1 II) bzw. des Mohns (Abb. 1 III) zu den Betriebssystemen in Untersetzung der Nährstoffstufen. Das Betriebssystem a1 wies die höchste Diversität aus. Die ökologisch geführten Systeme zeigten eine abnehmende Diversität. Die Diversitäten der Unkrautgesellschaften zwischen den Intensitätsstufen unterschieden sich in den Anbausystemen a1 und a2 signifikant, ebenfalls die Individuenzahl der Unkrautgesellschaft im Anbausystem a2 sowie die Individuenzahl des Mohns in den ökologisch geführten Anbausystemen (a2, a3).

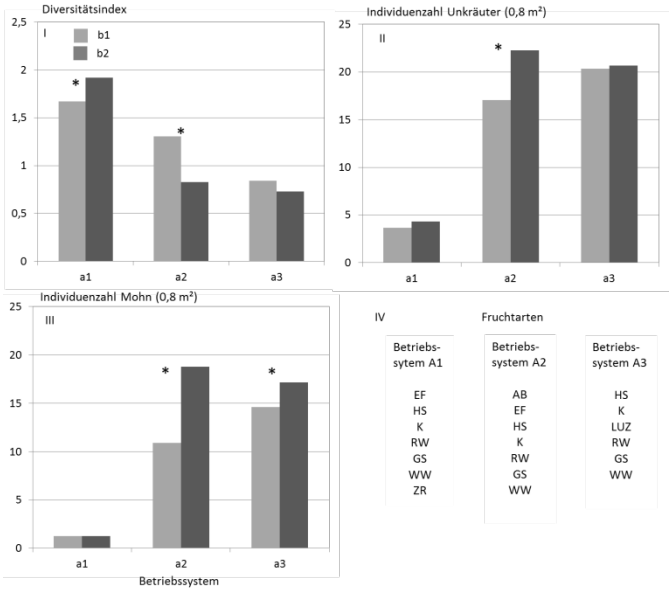


Abb. 1 Zuordnung der Verunkrautung zu den Betriebssystemen und Intensitätsstufen auf Grundlage des Diversitätsindex (nach Shannon – Wiener), Individuenzahlen aller Beikräuter und der Individuenanzahl von Mohn (*Papaver rhoeas L.*). *Signifikante Differenz zwischen b1, b2.

Fig. 1 *Relation of weeds to the farming systems and intensities, assessed on basis of the Shannon – Wiener index, number of individuals and poppy (Papaver rhoeas L.). * significant difference between b1, b2.*

Die ökologisch geführten Systeme wiesen gegenüber dem konventionell geführten System einen höheren Individuenbesatz auf, der jedoch in a3 geringer war. Dieser Befund widerspiegelt sich auch bei Klatschmohn *(Papaver rhoeas L.)* als ausgewählte Art. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die ausgewiesenen Differenzen im Beikrautauftreten zwischen den Betriebssysteme auch von den hinterlegten Fruchtarten (Abb. 1 IV) beeinflusst sind. Befundübergreifend kann jedoch geschlussfolgert werden, dass die Intensitätsstufen das Unkrautauftreten beeinflussen können.

Deckungsgrad

Mit Abbildung 2 wird der in den Untersuchungsjahren 2018/2019 registrierte Deckungsgrad in Abhängigkeit von den Bewirtschaftungsintensitäten und Betriebssystemen dargestellt. Trotz deutlicher (terminlich bedingter) Differenzierung der Deckungsgrade zwischen beiden

Untersuchungsjahren, ergab sich hinsichtlich der Intensitätsstufen ein ähnliches Bild. Die nach ökologischen Vorgaben bewirtschafteten Systeme (a2, a3) zeigten höhere Deckungsgrade, sind in der Beikrautbedeckung jedoch ebenfalls in den Intensitätsstufen differenziert. Über beide Intensitäten betrug die Differenz im Deckungsgrad letztgenannter Systeme im Jahr 2018 2,3 % und 0,5 % im Jahr 2019. Unterschiede zwischen den Intensitätsstufen wurden ebenfalls deutlich und auch im Betriebssystem a1 ergab sich ein erhöhter Beikrautbesatz in b2. Erheblicher waren jedoch die Differenzen der Intensitätsstufen in den ökologisch geführten Systemen. Sie erwiesen sich 2018 in den Systemen a2 und a3 und 2019 in a1 und a2 als statistisch bedeutend (Tab. 2).

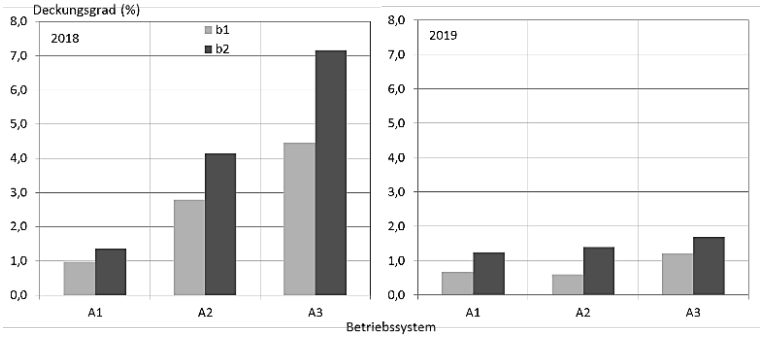


Abb. 2 Variation des Beikrautdeckungsgrades zwischen den Betriebssystemen, Nährstoffstufen und Jahren.

Fig. 2 *Weed covering variation between farming systems, nutrient levels and years.*

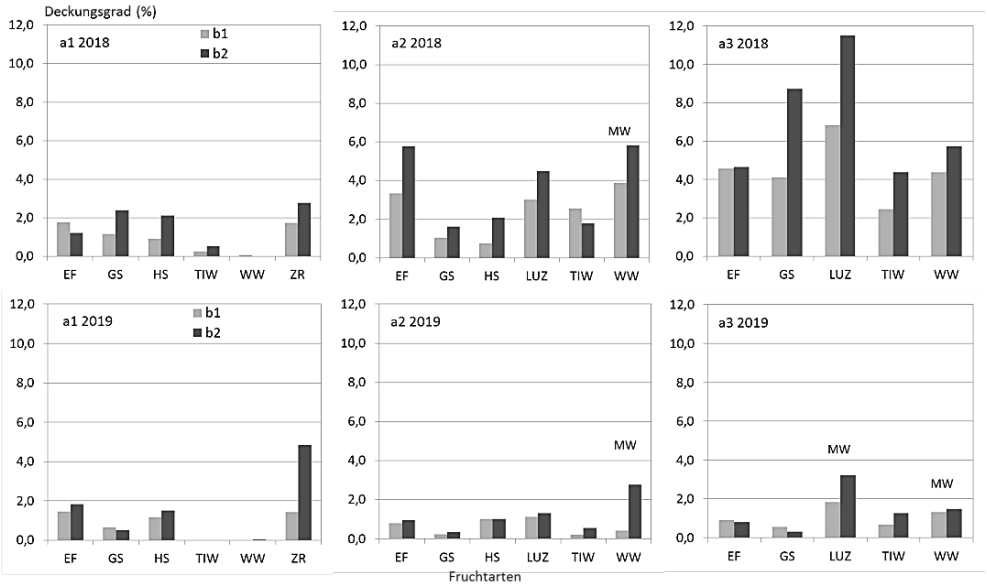
Die Betriebssysteme repräsentieren im Systemversuch jedoch auch verschiedene Fruchtarten sowie Vorfrucht-/Nachfrucht-Stellungen der Fruchtarten. Diese Differenzierung lässt sich aus der Abbildung 1 IV entnehmen. So fand sich z. B. Zuckerrübe nur im Betriebssystem a1 und der Luzerneanbau betraf lediglich das ökologisch ausgerichtete Betriebssystem a3. Daher wird mit Abbildung 3 die Variabilität der Deckungsgrade auf Ebene der den Betriebssystemen hinterlegten Fruchtarten verdeutlicht.

Aus den verschiedenen Fruchtarten und ihren Vorfrucht-/Nachfruchtbeziehungen (Tab. 3) ergaben sich insgesamt 20 Kombinationen und durch gleichartige Kombinationen über die Betriebssysteme 35 verschiedene Umweltsituationen, die für das Auftreten der Beikräuter und den Deckungsgrad bestimmend waren (a1- 9 [ohne WW und TIW], a2- 15, a3- 12). Für insgesamt ca. 44 % der aufgeführten Umweltsituationen war die Differenz zwischen der niedrigeren und höheren Intensitätsstufe statistisch abzusichern (a1 - 44,4 %, a2 - 53,3 %, a3 - 33,3 %). Bezogen auf die Untersuchungsjahre 2018 und 2019 zeigt sich, dass ca. 44 % (2018) und 38 % (2019) der Differenzen zwischen den Intensitätsstufen der Betriebssysteme auf Ebene der Fruchtarten und Fruchtfolgestellungen als statistisch bedeutend ausgewiesen wurden.

Tab. 2 Mittlere Differenzen der Deckungsgrade zwischen Nährstoffstufen (b1, b2) und statistische Relevanz der Befunde (*).

Tab. 2 *Mean differences in weed cover between nutrient levels (b1, b2) and statistical relevance of findings (*).*

	2018			2019		
Betriebssystem	**b1**	**b2**	**Differenz**	**b1**	**b2**	**Differenz**
a1	0,98	1,36	0,38	0,67	1,26	0,61*
a2	2,79	4,16	1,36*	0,60	1,39	0,79*
a3	4,46	7,17	2,71*	1,21	1,68	0,47



Legende: MW - Mittelwert mehrerer Fruchtfolgestellungen

Abb. 3 Der Unkrautdeckungsgrad in Abhängigkeit von Nährstoffstufen, Betriebssystemen und Fruchtarten.

Fig. 3 *Weed covering depending on nutrient levels, farming systems and crops.*

Energetische Betrachtungen

Die Werte für den Energiegewinn der Anbausysteme und Intensitätsstufen sind in der Tabelle 4 aufgezeigt. Sie zeigt deutliche Unterschiede im Energieniveau der Anbausysteme. Die Intensitäten waren im Anbausystem a2 mit 16,6 GJ/ha am deutlichsten differenziert. Im konventionellen Anbausystem war die Differenz geringer (13,3 GJ/ha) und bei a3 ergaben sich auf energetischer Ebene kaum Unterschiede (-2,5 GJ/ha).

Die Punktewolke der Abbildung 5 I zeigt den Effekt des Energiegewinns auf den Deckungsgrad in der Zusammenfassung aller Betriebssysteme, Intensitätsstufen und Fruchtarten. Ein Einfluss auf den Deckungsgrad ist nur sehr vage erkennbar. Bei Differenzierung zwischen konventionellem Betriebssystem (a1) und den ökologisch geführten Systemen (a2, a3) löst sich dieses Bild auf (Abb. 5 II, 5 III), wenn Getreidearten betrachtet werden. Betriebssystem a1 verzeichnet mit steigendem Energiegewinn eine schnelle Abnahme der ohnehin geringen Deckungsgrade. In den alternativ geführten Betriebssystemen nahm der Deckungsgrad hingegen deutlich zu. Auch für Leguminosen ist diese Tendenz angedeutet (Abb. 5 IV).

Tab. 3 Mittlerer Differenzbetrag (Dif) zwischen Nährstoffstufen (b1, b2) auf Ebene der Fruchtarten und statistische Relevanz der Befunde (*).

Tab. 3 *Mean difference (Dif) between nutrient levels (b1, b2) at crop level and statistical relevance of the findings (*).*

		System a1			System a2			System a3		
Jahr	**Fruchtart /-folge**	**b1**	**b2**	**Dif**	**b1**	**b2**	**Dif**	**b1**	**b2**	**Dif**
2018	EF/WW	1,75	1,22	0,53	3,33	5,78	2,44			
	GS/RW	1,17	2,40	1,23	1,06	1,63	0,57	4,10	8,74	4,64*
	HS/ZR	0,58	1,33	0,75*						
	TIW/K	0,24	0,51	0,28	2,54	1,79	0,75			
	ZR/HS	1,72	2,76	1,04*						
	HS/BA				0,74	2,08	1,35*			
	LUZ/HS				3,00	4,50	1,50*	6,83	11,5	4,67*
	WW/HS	-			3,11	9,94	6,83*			
	WW/LUZ				6,83	5,13	1,71			
	WW/WW	-			1,75	2,40	0,65*	4,39	5,72	1,33
	EF/K							4,58	4,67	0,08
	TIW/GS							2,44	4,38	1,93
2019	EF/TW	1,44	1,83	0,39	0,81	0,96	0,15	0,90	0,81	0,10
	GS/WW	0,65	0,53	0,13	0,22	0,35	0,13*	0,56	0,31	0,25
	HS/ZR	1,17	1,50	0,33*						
	LUZ/LUZ							1,81	3,93	2,13*
	LUZ/GS				1,13	1,31	0,18	1,89	2,54	0,65
	TIW/K				0,19	0,54	0,35*	0,68	1,26	0,58
	WW/LUZ							1,72	1,42	0,31
	WW/EF				0,53	4,39	3,86*	0,92	1,53	0,61*
	WW/HS	-			0,32	1,15	0,83*			
	WW/GS	-								
	TIW/K	-								
	ZR/GS	1,43	4,83	3,40*						
	HS/LUZ				1,01	1,01	0,00			

Legende: - sehr geringes Unkrautauftreten

Diskussion

Die gefundenen Änderungen im Diversitätsindex der Segetalpflanzengesellschaften zwischen den Betriebssystemen und Intensitätsstufen ordnen sich zunächst in Befunde ein, die für Ökosysteme eine Zunahme der Biodiversität mit steigender Energieverfügbarkeit dokumentieren (z. B. JØRGENSEN, 1995; MARQUES et al., 1997). Hier bestätigt sich dieser Sachverhalt auch für Agrarflächen. Das Ergebnis steht dennoch im Wiederspruch zu Untersuchungsbefunden, die eine geringere Biodiversität für konventionelle Anbausysteme zeigen (BASEDOW, 2002; MEYER et al., 2010). Dieser Widerspruch erklärt sich dadurch, dass die Bonituren im Anbausystem a1 teils vor der Aussaat der Kulturpflanzen erfolgten (z. B. Zuckerrübe), sie beziehen sich also nicht auf die gesamte Vegetationszeit. Zu Vegetationsbeginn war der Unkrautbesatz in den Intensitätsstufen bei der Zuckerrübe sehr deutlich differenziert.

Tab. 4 Mittelwerte des Energiegewinns (GJ/ha) der Betriebssysteme (a1-a3) und Nährstoffstufen (b1-b2) auf Fruchtartenebene als Mittelwerte der Jahre 2015 – 2019.

Tab. 4 *Mean energy gain (GJ/ha) of farming systems (a1-a3) and nutrient levels (b1-b2) on crop level as mean of the years 2015 – 2019.*

	a1		**a2**		**a3**	
Fruchtart	**b1**	**b2**	**b1**	**b2**	**b1**	**b2**
EF	44,2	51,4	37,8	39,5	44,8	44,4
GS	78,8	79,1	51,7	62,4	75,0	73,0
HS	51,7	53,2	49,8	67,6	-	-
LUZ	-	-	14,6	14,3	21,6	19,7
TIW	118,2	118,4	72,5	92,9	100,1	94,1
WW	132,9	129,4	72,9	102,7	100,4	108,0
ZR	101,7	178,3	-	-	-	-
Mittelwert	93,7	107,0	54,5	71,1	67,8	65,3

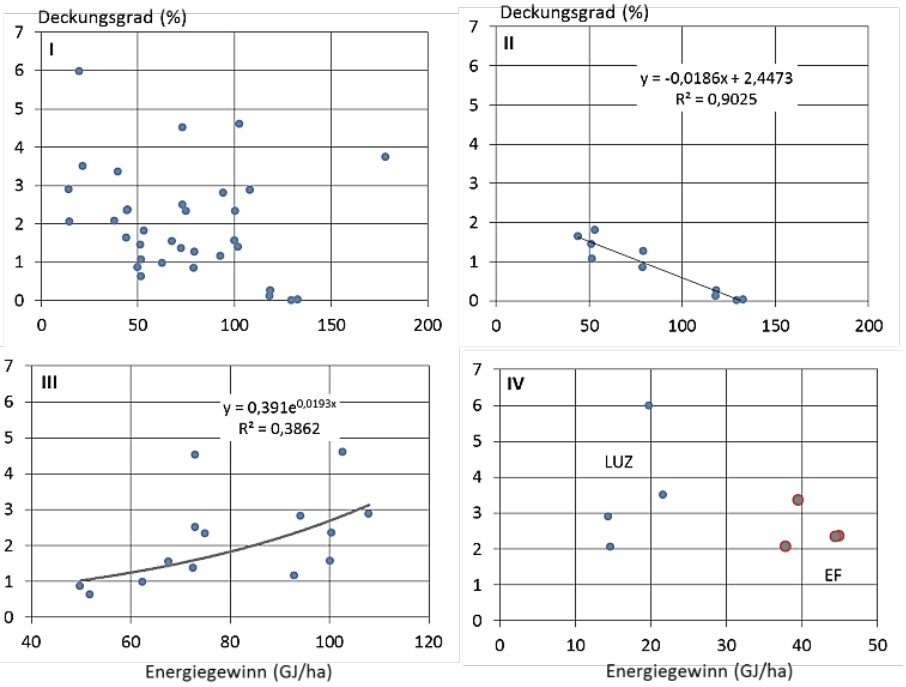


Abb. 4 Abhängigkeit des Unkrautdeckungsgrads vom Energiegewinn. I – Betriebssysteme a1, a2, a3, II – Betriebssystem a1, III – Betriebssysteme a2, a3, Getreidearten, IV – Betriebssysteme a2, a3, Leguminosen.

Fig. 4 *Dependence of weed coverage on energy gain. I – farming systems a1, a2, a3, II - farming system a1, III - farming systems a2, a3, cereals, IV - farming systems a2, a3, legumes.*

Bei den Betrachtungen der Individuenzahlen ergaben sich in den ökologisch geführten Betriebssystemen nicht nur erheblich höhere Besatzdichten, die Befunde dokumentieren ebenfalls eine große Streubreite der Ergebnisse. Diese zeigten sich auch in den Befunden zum Beikrautdeckungsgrad und entsprechen weiteren Literaturbefunden (PALLUT, 2000; SCHWARZ und PALLUT, 2014). Letzthin waren die beobachteten Differenzierungen der Unkrautgesellschaft in den Anbausystemen und Intensitätsstufen Anlass, den Unkrautdeckungsgrad in Abhängigkeit von der Flächenbewirtschaftung über den Energiegewinn zu beschreiben. Dieser Ansatz entspricht theoretischen Betrachtungen zum Energiefluss über Trophieebenen (BOSSEL, 1990) und auch der

Anwendung dieses Konzeptes auf Agrar-Ökosysteme (STEINBORN, 2000). Dabei macht STEINBORN (2000) auf die Schwierigkeit aufmerksam, den Energiestatus des Ökosystems genau zu erfassen, der hauptsächlich aus der Sonneneinstrahlung gespeist ist. Da hierfür im Regelfall keine Messdaten vorliegen, wurde stellvertretend die Energiebindung im Pflanzenertrag verwendet und die energetischen Aufwendungen (fossiler Energieeinsatz) für die Flächenbewirtschaftung berechnet. Letztere widerspiegeln die Stärke anthropogener Systemeingriffe. Aus beiden Kennzahlen berechnet sich der Energiegewinn. Er gibt Auskunft über die eigentliche Intensität der Anbausysteme und des Energiestatus der Prüffaktoren im Versuch.

Vorliegende Untersuchungen zeigten, dass der Unkrautdeckungsgrad vom Energiegewinn beeinflusst ist, dennoch weitere Faktoren, wie die Fruchtarten modifizierend wirksam werden. Für die Erfassung von Rückwirkungen der Flächenbewirtschaftung auf die belebte Umwelt und funktionale Beziehungen im Nahrungsnetz der Agrar-Ökosysteme könnte daher neben dem Energiegewinn auch die im Feld verbleibende Energie (Ernte- und Wurzelrückstände, Nährstoffzufuhr etc.) bedeutend sein. Diesen Berechnungen sind bisher jedoch durch Datenlücken Grenzen gesetzt. Es wird zukünftige Aufgabe sein diesen Bereich stärker ins Auge zu fassen.

Trotz dieser Einschränkung bestätigen die Ergebnisse die eingangs formulierter Arbeitshypothese: Es ist möglich, mit Hilfe von thermodynamischen Ansätzen einen Erkenntnisgewinn zur Verunkrautung in Abhängigkeit von der Flächenbewirtschaftung zu erzielen. Sie tragen zur Klärung der im Agrar-Ökosystem wirkenden Triebkräfte bei und beschreiben funktionale Zusammenhänge über Trophieebenen hinweg, wie von HEYER et al. (2018) auch für Arthropodengesellschaften gezeigt wurde.

Literatur

BASEDOW,Th., 2002: Konventionelle Landwirtschaft (in ihrer gegenwärtigen Ausprägung) oder ökologischeLandwirtschaft? - Für die maximale Biodiversität sind beide erforderlich. Gesunde Pflanzen **54**, 177-182.

BOSSEL, H., 1990: Umweltwissen. Daten, Fakten, Zusammenhänge. Spingerverlag Berlin Heidelberg GmbH. S. 46 – 50.

HEYER, W., A. DETER, S. VITZTHUM VON ECKSTÄDT, F. REINICKE, 2018: Einfluss perennierender und annueller Fruchtarten auf Arthropodengesellschaften – Dynamik und Triebkräfte in Agrar-Ökosystemen. Journal für Kulturpflanzen **70,** 273–290.

JØRGENSEN, S.E., 1995: The application of ecological indicators to assess the ecological condition of a lake. Lakes and Reservoirs: Research and Management **1**, 177-182.

LLG, LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU SACHSEN-ANHALT, 2017: https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/oekol_lb/systemvergleich_aufbau-rotation-1-bis-4.pdf, zuletzt überprüft am 21.11.2019.

MARQUES, J.C., M.A. PARDAL, S.N. NIELSEN, S.E. JØRGENSEN, 1997: Analysis of the properties of exergy and biodiversity along an estuarine gradient of eutrophication. Ecological Modelling **102**, 155-167.

MEYER, S., K. WESCHE, C. LEUSCHNER, T. VAN ELSEN, J. METZNER, 2010: Schutzbemühungen für die Segetalflora in Deutschland – Das Projekt „100 Äcker für die Vielfalt" – Treffpunkt Biologische Vielfalt. IX – BFN-Skripten **265**, 59-64.

MACARTHUR, R.H., 1965: Patterns of species diversity. Biological Review **40**, 510–533.

PALLUTT, B., 2000: Unkrautunterdrückung und -bekämpfung durch Fruchtfolgegestaltung, Bodenbearbeitung, Aussaatzeit, Saatmenge und Stickstoffversorgung. – In: Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze - Drittes Fachgespräch am 02.11.1999 in Kleinmachnow - "Unkrautregulierung im ökologischen Landbau". Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft **72**, 35-46.

SCHAEFFER, M., 2003: Biozönosen und Ökosysteme: Welche Bedeutung hat die Diversität der Fauna? In: Gradstein, S.R., R. Willmann, G. Zizka (Hrsg.). Biodiversitätsforschung – Die Entschlüsselung der Artenvielfalt in Raum und Zeit. Kleine Senckenberger Reihe **45**, 147-160.

SCHWARZ, J., B. PALLUTT, 2014: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Entwicklung der Verunkrautung in einem Dauerfeldversuch. Julius-Kühn-Archiv **443**, 141-148.

STEINBORN, W., 2000: Quantifizierung von Ökosystem-Eigenschaften als Grundlage für die Umweltbewertung. Diss. Univ. Kiel, 119 S.

VOIGT, A.C.E., 2008: Theorien synökologischer Einheiten – Ein Beitrag zur Erklärung der Uneindeutigkeit des Ökosystembegriffs. Diss. TU München, 248 S.

New perspectives on plant biodiversity in Germany

Neue Perspektiven auf die Pflanzenbiodiversität in Deutschland

Philip Kochersperger[1*], Hans Ulrich Haas[2], Juliane Peters[3], Martin Schulte[3]

[1]Syngenta Crop Protection AG, Rosentalstrasse 67, 4058 Basel, Schweiz
[2]Syngenta Crop Protection AG, Schaffhauserstrasse, 4332 Stein/AG, Schweiz
[3]Syngenta Agro GmbH, Am Technologiepark 1-5, 63477 Maintal, Deutschland
*Corresponding author, philip.kochersperger@syngenta.com

DOI 10.5073/jka.2020.464.030

Summary

Importance and protection of biodiversity is common sense in Germany shown by notable media coverage and many publicly funded programs to support certain species up to whole ecosystems. Plants have a huge influence on biodiversity since they represent largely the first layer of the food chain and deserve therefore special attention. In the past great work has been done to capture and share knowledge about plant species through books and paintings (e.g. *Ciba-Geigy Weed Tables*, etc.). Together with public research institutions, the crop protection industry has a profound knowledge of plant species in agricultural fields. We report here on new options around digital agronomy, especially smartphone applications, and provide a sound overview on what is available and useful, including our new app Proximais® containing phenotypic and ecological information of 320 European weeds. It is intended to provide valuable support to farmers during weed identification and management. In addition to such new practical capabilities, this new technology has a great potential to increase and update our knowledge about plant species further. Enlarging the plant species database beyond classical weeds while enlarging the user base could, for the first time, allow a broad documentation and mapping of plant species on agricultural land in Germany.

Keywords: Biodiversity, digital, plant identification, plant species, taxonomy, weed

Zusammenfassung

Die Bedeutung und der Schutz der Biodiversität ist in Deutschland fest verankert, ersichtlich u.a. durch die prominente Platzierung in Medien und zahlreiche öffentlich geförderte Programme zum Schutz gewisser Arten bis ganzer Ökosysteme. Pflanzen haben in besonderem Maße Einfluss auf die Biodiversität, da sie oftmals die erste Stufe der Nahrungskette bilden und deshalb einer besonderen Achtung bedürfen. In der Vergangenheit wurde der Wichtigkeit der Pflanzen durch zahlreiche Gemälde, Zeichnungen und Bücher Rechnung getragen (z. B. *Ciba-Geigy Unkrauttafeln*, etc.). Die Pflanzenschutz-Industrie verfügt zusammen mit öffentlichen Forschungseinrichtungen über ein profundes Wissen der Pflanzenarten in landwirtschaftlichen Nutzflächen. Wir möchten mit diesem Artikel auf die neuen digitalen Hilfsmittel für die Unkraut-bestimmung und -kontrolle hinweisen, in besonderem Maße auf Smartphone-Applikationen am Beispiel unserer Applikation Proximais®, die u.a. Informationen über 320 in Europa auftretende Unkräuter enthält. Diese soll den Landwirten eine wertvolle Hilfe bei der Bestimmung und Behandlung auftretender Unkräuter sein. Zusätzlich zu solchen praktischen Nutzungen bietet diese neue Technologie viele weitere Chancen in Bezug auf Erweiterung des Wissens über Pflanzen. Eine Erweiterung der Pflanzendatenbank über häufig auftretende Unkräuter hinaus, zusammen mit einem Ausbau des Nutzerkreises könnte zum ersten Mal eine breite Dokumentation und Kartierung der Pflanzenarten auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland erlauben.

Stichwörter: Biodiversität, digital, Pflanzenarten, Pflanzenbestimmung, Taxonomie, Unkraut

Introduction

Biodiversity and nature are important values in Germany (Scherfose, 2011), highlighted by numerous publicly and privately funded initiatives or programs to protect single species up to whole ecosystems. Likewise, German society present itself very open and supportive regarding biodiversity protection and backed recently very successfully a public petition regarding insect protection in Bavaria (Bayrischer Landtag Drucksache 18/1736, 2019). Protection of biodiversity is respected as well during the registration of plant protection products for example through Regulation (EC) No 1107/2009 (Regulation (EC) No 1107/2009, 2009), which regulates the placing of plant protection products on the market.

On the same time, Germany is a very densely populated and developed country, which in most cases just allows a coexistence of humans and wild species in the same areas. Hence Germany can be roughly subdivided into three main area types being 51.6% agricultural areas, 30.6% forest areas and 13.7% settlement and transport areas (ANONYMOUS, 2018). The remaining 4.1% are miscellaneous areas, often being watery or mountainous (ANONYMOUS, 2018).

Those area types are being used in the ongoing biodiversity indexation in Germany, the German Sustainability Indicator for Species Diversity (DRÖSCHMEISTER and SUKOPP, 2009). It records however only the abundance of 59 breeding bird species in those distinct area types and has been recorded on a yearly basis since 1990. Interestingly the numbers of birds result in a relatively constant value around 70%, compared to a calculated value of 100% in the year 1970. The goal remains to reach 100% in the year 2030 (ANONYMOUS, 2016), since the goal could not be reached until 2015 (KÜCHLER-KRISCHUN and WALTER, 2007). Since establishment of the indicator it is clear that "it would be desirable and important to have nation-wide monitoring data also on the population sizes of species of other important groups, such as … vascular plants" to come "closer to a comprehensive biodiversity reporting" (DRÖSCHMEISTER and SUKOPP, 2009). Unfortunately, no other nation-wide monitoring has been established until today, while the negative trend (ANONYMOUS, 2018) and the area size push in particular the agricultural area into the focus to deliver biodiversity gains in the coming decade.

Today, Germany generates 85% of its food through its agriculture, while importing the remaining 15% from other countries (PASCHER et al., 2018). It should be a matter of debate if an increase of biodiversity should be realized on cost of agricultural production, which could result in the culturing of other areas (e.g. forests) outside of Germany. Due to its high and responsible level of agriculture together with its societal support of biodiversity in general, Germany could be the ideal place to experiment with biodiversity increases in accordance with current agricultural production. This would highlight farmers as the most important group to enable and manage those gains of biodiversity. Of course, this would only be successful if society can offer meaningful goals, incentives and tools to help farmers doing so.

Recently farmers have benefited from the advent of numerous mobile applications (apps) supporting them regarding farm management. Regarding crop protection several companies have launched apps, often free of charge, which support farmers regarding choice und usage of plant protection products based on their inputs and according to the situation in the field (e.g. Proximais® from Syngenta).

In the following, we provide an overview of current available apps regarding weed identification and knowledge, supplemented with deeper insights coming from Syngenta's legacy and new weed information systems, in particular around the app Proximais®.

Material and Methods

The plant scope and plant identification capability of each app have been determined in September 2019 using standard hardware including smartphones, tablet computers and personal computers. The evaluations have been done with privately as well as corporately owned hardware, both registered and connected in Germany or Switzerland. Google Play® served as app store for searching and downloading of apps.

Results

Syngenta has a long history of weed control research and has access to weed knowledge generated throughout decades. One highlight in this collection are the Ciba-Geigy Weed Tables (HÄFLIGER and BRUN-HOOL, 1968/1975), a series of color plates (Fig. 1), which were published from 1968-1975. The color plates have been reused in the books Grass Weeds 1 and 2, Monocot Weeds 3 and Dicot Weeds 1 (HÄFLIGER et al., 1980-1988), which might represent one of the most complete collection of weed knowledge with global scope. Those four books contain 538 species, 92 color plates, roughly 2000 plant organ drawings and 200'000 words of description (quadrilingual).

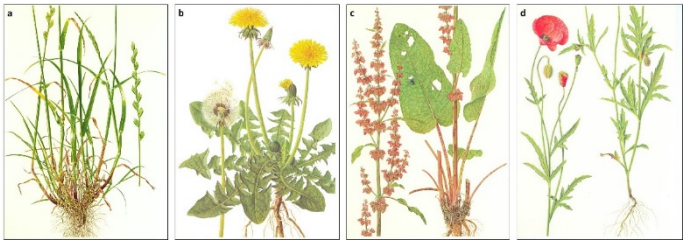


Fig. 1 Aquarelle examples of (a) *Lolium perenne* (b) *Taraxacum officinale* (c) *Rumex obtusifolius* (d) *Papaver rhoeas* originating from the Ciba-Geigy Weed Tables (HÄFLIGER and BRUN-HOOL 1968/1975).

Abb. 1 *Beispiele von Aquarellen aus den Ciba-Geigy Unkraut-Tafeln: (a) Lolium perenne (b) Taraxacum officinale (c) Rumex obtusifolius (d) Papaver rhoeas (HÄFLIGER and BRUN-HOOL 1968/1975).*

In addition to such encyclopedic knowledge about plant species, the actual plant biodiversity in fields has been always of great interest as well. It has been captured for example in publications like "Weed Communities of Europe" (HÄFLIGER and BRUN-HOOL, 1971) which nicely illustrates weed species communities typically present together with certain crops (Fig. 2).



Fig. 2 Maize weed community, sandy loam, fluvisol, 295 m a.s.l., table no. 4 (HÄFLIGER and BRUN-HOOL, 1971).

Abb. 2 *Unkrautgemeinschaft in Mais, sandiger Lehm, Fluvisol, 295 m ü.NN, Tabelle Nr. 4 (HÄFLIGER and BRUN-HOOL, 1971).*

Mobile apps, especially for smartphones, may allow in the future more targeted approaches regarding weed identification and information. Proximais® for example contains a database with pictures and information for automated plant species identification. It holds currently 320 plant species of which a subset of 179 weed species, with 621 weed pictures and roughly 10.000 words of description are currently directed towards maize growers in Germany. With regards to automated weed identification or GIS based field information (e.g. soil type, erosion probability, etc.) it will be possible in future to provide famers with even more precise information targeted to the specific situation in their fields.

We focused our investigation on apps delivering an automated or manual plant identification capability across a variety of suppliers. Particularly noteworthy offers are Proximais® from Syngenta, Xarvio® from BASF, PlantSnap® (RALLS, 2018) and Flora Incognita® (WÄLDCHEN and MÄDER, 2019) since they have been pioneers in the field of automated weed identification based on submitted digital pictures. Useful apps might also include Google Lens® (KO et al., 2017), for which the identification of plant species is not even a focus point but might work in future as good as dedicated plant identification apps. Despite this automated weed identification feature, several other apps are available supporting users with the classical text driven way to identify plants. Tab. 1 contains a current overview of important plant identification apps in Germany.

Tab. 1 Mobile applications (apps) supporting identification of plant species.

Tab. 1 *Mobile Applikationen (Apps) zur Bestimmung von Pflanzenarten.*

App name	Owner	Plant scope	Automated identification	Identification key
Google Lens	Google LLC	All	yes	no
Flora Incognita	TU Ilmenau	Flowering plants	yes	no
Plantsnap	PlantSnap Inc.	Flowering plants	yes	no
Xarvio	BASF digital farming GmbH	Crop weeds	yes	no
Proximais*	Syngenta Agro GmbH	Maize weeds	yes	yes
Agrar Bestimmer	Bayer CropScience Deutschland GmbH	Crop weeds	no	yes
top-Unkraut	Landwirtschaftsverlag Münster	Crop weeds	no	yes
DLG-Unkräuter	Landwirtschaftsverlag Münster	Crop weeds	no	yes
LIZ-Unkraut-Bestimmung	Onlinewerft GmbH (Pfeifer&Langen)	Sugarbeet weeds	no	yes
iGräser	ZHAW	Grass weeds	no	yes
Agrobase Unkräuter+	farmis	Crop weeds	no	no

*contains an automated plant identification capability as well as an identification key for grasses

Syngenta will further invest into Proximais® software development and enhancement and likes to extend its geographical focus (beyond France and Germany), its crop focus (beyond maize) and its weed knowledge database (beyond 320 species, beyond current weed knowledge).

Our internal market studies confirm openness and demand of farmers for weed identification apps like Proximais® together with automated weed identification capabilities (data not shown). We believe that very soon it might become a standard capability of every serious app regarding weed management.

A search in Google Play® using selected industry owner names ("ADAMA", "BASF", "BAYER", "CORTEVA", and "SYNGENTA") delivered on average 34 active apps by company. Specifically, from Syngenta 32 apps with focus on agricultural use have been available, which we confirmed against our internal records of currently supported apps.

We believe that connection to farmers through apps is a sustaining new way to communicate with customers for the crop protection industry in the future. The question we like to ask is: Can those apps, and specifically crop protection apps, help generating valuable insights into biodiversity status and development in Germany? We like to discuss this question in the following.

Discussion

Biodiversity is a highly regarded and respected value in Germany. On the same time, taxonomic knowledge for example of plants is low and might even decline (BUCK et al. and references therein, 2019) challenging directly the goal to protect biodiversity from a knowledge perspective.

It has been suggested that for example digital plant identification apps could stop this and provide an elegant way for interested people to recognize and learn about plants (WÄLDCHEN et al., 2018). The breakthrough here might have been the automated plant identification capability which can determine plants based on digital pictures. This feature could be the long-awaited tool (GASTON and O'NEILL, 2004) enabling everybody to recognize plant species, be they protected, weedy or just beautiful.

Plant protection apps can therefore play several important roles in the future. They will provide additional support for safe and sustainable application of plant protection products according to integrated weed management. They will be easily accessible sources of knowledge around crop protection products, crops and pests. And they could train all interested people on plant identification with a special focus on plants in agricultural areas.

Despite of such common digital improvements, the exiting new feature is the direct, continuous and bidirectional interaction with farmers. Specifically, the automated weed identification capability would allow farmers immediate weed identification in the field, which facilitates the best choice and use of plant protection products according to their specific situation. Vice versa and importantly, such recorded plant species could be further used to establish an independent assessment of plant biodiversity in agricultural areas, be they recorded in fields, flower strips, buffer zones or hedges. Such new insights into plant biodiversity could serve as additional input to consider biodiversity measures and importantly serve as data pool for retrospective analysis on outcomes of regulations from the past.

Therefore, Syngenta would like to explore the idea to use such apps as a data source regarding plant biodiversity. We offer to facilitate or take part in a discussion between all interested parties owning or developing apps with automated plant identification capability. We believe that species data generated throughout such apps would provide very interesting and valuable insights into plant biodiversity in Germany, especially in agricultural areas in a way and richness which has never been possible before.

This would elegantly address the long-standing request for additional assessments of taxa other than birds (DRÖSCHMEISTER and SUKOPP, 2009) and importantly include farmers in an adequate way since they are the biggest and most experienced group of people in Germany working with biodiversity.

References

ANONYMOUS, 2016: German Sustainable Development Strategy 2016. The Federal Government.

ANONYMOUS, 2018: Umwelt und Landwirtschaft 2018. Umweltbundesamt.

BAYRISCHER LANDTAG DRUCKSACHE 18/1736, 2019: Gesetzentwurf nach Art. 74 der Verfassung des Freistaates Bayern Volksbegehren „Artenvielfalt und Naturschönheit in Bayern – Rettet die Bienen!" Gesetzentwurf zur Änderung des Bayerischen Naturschutzgesetzes zugunsten der Artenvielfalt und Naturschönheit in Bayern („Rettet die Bienen!").

BUCK, T., I. BRUCHMANN, P. ZUMSTEIN, C. DREES, 2019: Just a small bunch of flowers: the botanical knowledge of students and the positive effects of courses in plant identification at German universities. PeerJ **7**, e6581.

DRÖSCHMEISTER, R., U. SUKOPP, 2009: Indicators and conservation policy: the German Sustainability Indicator for Species Diversity as an example. Avocetta **33**, 149-156.

GASTON, K.J., M.A. O'NEILL, 2004: Automated species identification: Why not? Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2004; **359(1444)**, 655–667.

HÄFLIGER, E., J. BRUN-HOOL, 1968/1975: Ciba-Geigy Unkrauttafeln. Eine synoptische Darstellung der Begleitflora der landwirtschaftlichen Kulturen. CIBA-GEIGY Limited, Agrochemicals Division.

HÄFLIGER, E., J. BRUN-HOOL, 1971: Weed Communities of Europe, Documenta CIBA-GEIGY, CIBA-GEIGY Limited.

HÄFLIGER, E., H. SCHOLZ, 1980: Grass Weeds 1, Documenta CIBA-GEIGY.

HÄFLIGER, E., H. SCHOLZ, 1981: Grass Weeds 2, Documenta CIBA-GEIGY.

HÄFLIGER, E., 1982: Monocot Weeds 3, Documenta CIBA-GEIGY.

HÄFLIGER, T.J., M. WOLF, 1988: Dicot Weeds 1, Documenta CIBA-GEIGY.

KO, T., H. ADAM, M. CRONE KOSER, A. MASTEROV, A.-J. KIMBENBE, M.J. BRIDGES, P. CHANG, D. PETROU, A. BERENZWEIG, 2017: SMART CAMERA USER INTERFACE. US 2017 / 0155850 A1 (43).

KÜCHLER-KRISCHUN, J., A.M. WALTER, 2007: National Strategy on Biological Diversity (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU).

PASCHER, P., U. HEMMERLING, S. NAß, 2018: Situationsbericht 2018/19 Trends und Fakten zur Landwirtschaft. Deutscher Bauernverband e.V.

RALLS, E., 2018: Systems and methods for electronically identifying plant species. US 2018 / 0322353 A1 Patent Application Publication.

REGULATION (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 concerning the placing of plant protection products on the market and repealing Council Directives 79/117/EEC and 91/414/EEC.

SCHERFOSE, V., 2011: Das deutsche Schutzgebietssystem - Schwerpunkt: Streng geschützte Gebiete - BfN-Skripten **294**, 197 S.

WÄLDCHEN, J., P. MÄDER, 2019: Flora Incognita – how artificial intelligence revolutionizes plant identification. Biol. Unserer Zeit, **49**, 99-101.

WÄLDCHEN J, M. RZANNY, M. SEELAND, P. MÄDER, 2018: Automated plant species identification—Trends and future directions. PLoS Comput Biol **14(4)**, e1005993.

Eignung einer mehrjährigen Biogas-Blühpflanzenmischung für den Anbau auf sandigen Böden in Brandenburg

Suitability of a perennial biogas flower mixture for cropping on sandy soils in Brandenburg

Laura Tamms[1*], Friederike de Mol[1], Michael Glemnitz[2], Bärbel Gerowitt[1]

[1]Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaften, Arbeitsgruppe Phytomedizin, Satower Straße 48, 18059 Rostock

[2]Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg

*Korrespondierende Autorin, laura.tamms@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.031

Zusammenfassung

Mehrjährige Blühmischungen für die Biogasproduktion könnten durch ihre breite Standortanpassung auch in ertragsschwachen Regionen eine Alternative zum Maisanbau sein, wenn sie durch wüchsige Arten hohe Erträge liefern und nebenbei die Biodiversität fördern. Um die Anbaueignung einer Wildpflanzenmischung auf sandigem Boden hinsichtlich der Entwicklung des Artenreichtums der ausgesäten Wildarten über eine dreijährige Nutzungsdauer zu prüfen, wurden im Frühjahr 2015 an zwei Standorten in Brandenburg Feldversuche mit der Wildpflanzenmischung „BG 70" angelegt. Die Mischung ist mehrjährig, enthält 23 Arten und wurde speziell für die Biogasproduktion entwickelt. Von 2015 bis 2017 wurden jedes Jahr Parzellen mit der Wildpflanzenmischung angesät. Die gewachsene Vegetation wurde in mehreren Erhebungsterminen artspezifisch gezählt. Eine sinkende Biodiversität der Wildarten über die Standjahre wurde festgestellt. Ab dem zweiten Standjahr dominierten die perennierenden Arten *Centaurea nigra* und *Artemisia vulgaris* aus der Blühmischung. Die Individuenzahlen der Wildarten war zu Beginn des ersten Standjahr gering und sank weiter. Überraschenderweise sank auch die Unkrautdichte über die Jahre. In den Spätsommermonaten (August und September) komplementieren die Wildarten das Nahrungsangebot für Tiere zu der natürlichen gewachsenen Vegetation.

Stichwörter: Anbaueignung, Artenreichtum, Blühmischung, Unkrautdichte

Abstract

Due to their broad site adaptation perennial wildflower mixtures for biogas production could be an alternative to maize cropping. If they provide high biomass yield from vital growing species and promote biodiversity even in low yielding regions. Field trails were established in order to test the ability of a perennial flower mixture on sandy soils to promote species rich vegetation. The wild flower mixture "BG 70" was sown at two sites in Brandenburg. This mixture contains 23 species and was especially developed for biogas production. From 2015 until 2017, new plots were sown with the mixture every year. Wild flowers and weed species were counted at several dates. The diversity of the wild flower mixtures decreased over the years. In the second year after sowing, the perennial wild flower species *Centaurea nigra* and *Artemisia vulgaris* dominated. The number of individual wild flower plants was low at the beginning and declined further. Surprisingly, the weed density also dropped enormously over the years. In the late summer months (August and September) the wild species complement the food supply for animals to the natural grown vegetation.

Keywords: Cropping suitability, flower mixture, species richness, weed density

Einleitung

In Zeiten der globalen Erwärmung und der „Fridays for Future"-Bewegungen wird die Forderung nach alternativen Energiequellen zu den fossilen Brennstoffen wie Kohle und Erdöl lauter. Die Reduzierung der CO_2-Emissionen steht im Vordergrund. Das Interesse an Erneuerbaren Energien, welche als Basis regenerative Energiequellen wie Wasser, Wind und Biomasse nutzen und dabei nachhaltig und ökologisch produziert werden, ist groß. Die Energiegewinnung durch Biogasanlagen ist eine Option. Möglich wäre es, anfallende Grünabfälle von Parkanlagen, Gärtnereien und der Landwirtschaft für die Biogas-Produktion zu verwenden. Dagegen hat die tatsächliche Entwicklung den Mais zur anbaustärksten Kultur zur Biogasproduktion befördert (BMEL, 2019). Die daraus resultierenden Maismonokulturen gehen mit Verlusten von kleinräumigen Strukturen, Ökosystemleistungen und Artenreichtum einher, die gesellschaftlich aus verschiedenen Gründen negativ bewertet werden (Linhart und Dhungel, 2013). Der „Vermaisung" entgegenwirken

könnten Anbauverfahren von Wildpflanzen für die Biogasproduktion (VOLLRATH, 2012). In kleinräumigen Strukturen können diese als Alternative zum Mais angebaut werden, liefern dabei Biogassubstrat, erhöhen die Agrarbiodiversität und stellen Nahrung und Habitat für Tiere (UYTTENBROECK, 2015). Besonders mehrjährige Wildpflanzenflächen bieten zusätzlich den Vorteil der Bodenruhe. Heimische Wildpflanzenmischungen bieten dazu noch eine breite Standortanpassung. Dieser Beitrag ermittelt, wie sich die Artenvielfalt von den Wildpflanzenarten aus der Biogasmischung bei ein- bis dreijährigen Nutzung über die Standjahre entwickelt. Kommt es zu einer Verunkrautung der Flächen durch eine schlechte Etablierung der Wildpflanzenarten? Sind die Unkräuter besser an den sandigen Standort adaptiert als die Wildpflanzen? Wie entwickelt sich die Vegetation von Wildpflanzen Unkrautarten innerhalb einer Vegetationsperiode?

Material und Methoden

Versuchsaufbau

Im Frühjahr 2015 wurden an zwei Standorten in Brandenburg, auf Versuchsfeldern des „Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.“, Feldversuche angelegt. Die vorherrschende Bodenart am Standort Dedelow ist sandiger Lehm (Ackerzahl 42) und am Standort Müncheberg lehmiger Sand (Ackerzahl 25). Die klimatischen Gegebenheiten sind ähnlich. Die Jahresdurchschnittstemperatur in Dedelow liegt bei 9,4 °C mit einer Niederschlagsmenge von 531 mm im Mittel der Jahre 2015 bis 2017. Die drei-Jahres-Mittelwerte in Müncheberg liegen bei einer Niederschlagsmenge von 520 mm und einer Durchschnittstemperatur von 9,9 °C. Die Feldversuche wurden als vollständig randomisierte Blockanlage mit zwei Faktoren (Aussaatdichte und Ansaatjahre) und vier Wiederholungen angelegt. Die Parzellen besitzen eine Größe von 64 m^2 (Müncheberg) bzw. 48 m^2 (Dedelow). Beginnend im Jahr 2015 wurden jährlich Anfang Mai zwei Parzellen pro Block mit der Biogasmischung BG 70 vom Saatguthersteller „Saaten Zeller GmbH & Co. KG“, mit der empfohlenen Saatgutmenge von 10 kg/ha und eine um ein Drittel reduzierter Menge von 6,7 kg/ha neu besät. Somit standen im Jahr 2017 die Bestände der Biogasmischung im ersten, zweiten und dritten Standjahr. Die Ansaat erfolgte von Hand, wobei die Biogasmischung mit Sojaschrot gemischt wurde, um die Flugeigenschaften und Verteilung der Samen zu verbessern. Anschließend wurde das Saatgut angewalzt. Jedes Jahr wurden vier zufällig verteilte Punkte pro Parzellen mit einem Holzrahmen von einem Quadratmeter belegt und die gewachsene Vegetation (Wildpflanzen und Unkrautarten) artspezifisch gezählt. Bei nicht eindeutiger Bestimmung wurden Arten in ihren Gattungen zusammengefasst (*Veronica* spp., *Trifolium* spp.) und bei geringer Individuenanzahl ($n < 4$) zu der Art mit der jeweils höchsten Dichte zugeordnet (*Melilotus albus*, *Matricaria inodora*, *Vicia angustifolia*, *Rumex acetosa*). Um zu gewährleisten, dass jedes Jahr dieselbe Boniturfläche erfasst wird, sind die Punkte mittels GPS standortgenau eingemessenen worden. Im zweiten Versuchsjahr wurde für eine genaue Beschreibung der Vegetationsentwicklung ab Juni monatlich Felderhebungen bis September durchgeführt (Termine in Tab. 1). Am Ende der Vegetationsperiode, Ende August/Anfang September, wurde die Biomasse der Bestände geerntet und abgefahren.

Tab. 1 Felderhebungstermine an den Standorten Müncheberg und Dedelow.

Tab. 1 *Field survey dates at the locations Müncheberg and Dedelow.*

	Dedelow	**Müncheberg**
2015	18.06.	19.06.; 31.07.
2016	08/09.06.; 27.06.; 04.08.; 31.08.; 28.09.	03 -10.06.; 07/08.07.; 08.08.; 09.09.
2017	02.08.; 30.08.	04 -12.07.; 08.08; 15 -18.09.

BG 70 beinhaltet einjährige, überjährige und mehrjährige Wildpflanzenarten (Tab. 2), welche über eine lange Standzeit gleichbleibend Ertrag liefern sollen. Dabei bietet die Biogasmischung eine ökologische und Ressourcen schonende Möglichkeit Biogas zu produzieren (SAATEN ZELLER, 2019). Für Bienen interessante Arten sind zum Beispiel Wilde Malven, Echte Natternkopf und Buchweizen. Zur Biomassenproduktion sind Rainfarn, Schwarze Flockenblume und Beifuß sehr gut geeignet.

Tab. 2 Artenzusammensetzung der Biogasmischung BG 70 (Saaten Zeller GmbH & Co. KG). Deutscher Name, *Botanischer Name*, Gewichtsanteil in der Mischung.

Tab. 2 *Species of the biogasmixture BG 70 (Saaten Zeller GmbH & Co. KG). German name, botanical name, weight proportion in the mixture.*

	dt. Name	**bot. Name**	**Gewichtsanteil**
Annuelle Arten	Buchweizen	*Fagopyron esculentum*	8,0
	Quirlmalve	*Malva verticillata*	7,5
	Sonnenblume	*Helianthus annuus*	8,0
Zweijährige Arten	Färber-Wau	*Reseda luteola*	0,3
	Wilde Möhre	*Daucus carota*	0,1
	Wilde Karde	*Dipsacus sylvestris*	0,5
	Kleinblütige Königskerze	*Verbascum thapsus*	0,5
	Gemeiner Natternkopf	*Echium vulgare*	0,5
	Echter Steinklee	*Melilotus officinalis*	7,0
	Weißer Steinklee	*Melilotus albus*	3,5
Perennierende Arten	Echter Alant	*Inula helenium*	5,0
	Gemeiner Beifuß	*Artemisia vulgaris*	1,0
	Echter Eibisch	*Althaea officinalis*	5,5
	Saat-Esparsette	*Onobrychis viciifolia*	9,0
	Färberhundskamille	*Anthemis tinctoria*	0,1
	Schwarze Flockenblume	*Centaurea nigra*	20,0
	Roe Lichtnelke	*Silene dioica*	0,2
	Saat-Luzerne	*Medicago sativa*	2,0
	Wilde Malve	*Malva sylvestris*	7,0
	Rosen- Malve	*Malva alcea*	0,6
	Rainfarn	*Tanacetum vulgare*	5,0
	Gemeine Wegwarte	*Cichorium intybus*	2,0
	Fenchel	*Foeniculum vulgare*	4,0

Datenauswertung

Für die statistische Auswertung wurden die Standorte getrennt betrachtet. Die Daten wurden innerhalb einer Parzelle gepoolt. Die Biodiversität wurde getrennt für Wildpflanzen und Unkrautarten anhand der Dichte, des Artenreichtums, des Shannon-Index und des reziproken Berger-Parker-Index beschrieben. Unterschiede wurden mit dem Friedman-Test untersucht. Statistisch waren zwischen empfohlener und reduzierter Saatmenge keine Unterschiede zu finden. Die Aussaatmenge wurde deshalb in den weiteren Auswertungen nicht betrachtet, und die Daten der beiden Parzellen pro Block wurden gepoolt. Es wurden zwei Analysen durchgeführt. Zum einen wurde die Entwicklung der Vegetation über drei Jahre betrachtet. Dazu wurden ausschließlich Daten des Standorts Müncheberg und nur die im Jahr 2015 bestellten Parzellen herangezogen. Mit der zweiten Analyse wurde die Bestandsentwicklung innerhalb des Jahres 2016 für beide Standorte und für die Aussaatjahre 2015 und 2016 untersucht.

Ergebnisse

Bestandsentwicklung am Standort Müncheberg über eine dreijährige Nutzungsdauer

Die Dichten der Wildpflanzenarten veränderten sich signifikant über die drei Standjahre (Abb. 1). Wurden im ersten Versuchsjahr Pflanzendichten von 11 Pflanzen/m² gezählt, so nahmen die Dichten im folgenden Jahr um ein Viertel ab und stiegen im dritten Standjahr etwas an. Hier wuchsen im Mittel 3 Pflanzen/m². Im Vergleich dazu sank die Unkrautdichte vom ersten zum letzten Standjahr auf ein Drittel ihrer Ausgangsdichte von 200 Pflanzen/m². Der Artenreichtum der Wildpflanzenarten halbierte sich vom ersten Standjahr zum letzten Standjahr, von 6 Arten/m² auf 3 Arten/m². Somit sank die Diversität der Wildarten mit zunehmendem Alter der Bestände. Auch die Artenzusammensetzung veränderte sich signifikant (Permutationstest $r^2 = 0{,}72$ mit $p(r) < 0{,}001$).

Wuchsen im Aussaatjahr vermehrt die einjährigen Arten *Malva verticillata* und *Fagopyron esculentum* aus der Blühmischung, wurden diese Arten ab dem zweitem Jahr durch die perennierenden Arten *Centaurea nigra* und *Artemisia vulgaris* verdrängt. Der Berger-Parker-Index zeigte für die Wildpflanzen keine signifikante Änderung, jedoch änderte sich die dominanteste Art. Indessen zeigte der Index für die Unkrautarten einen signifikanten höheren Wert im dritten Standjahr an. Hier dominierte *Chenopodium album* in den ersten beiden Jahren und machte mit einem Berger-Parker-Wert von ca. 1,6 mehr als die Hälfte der Dichte der Unkräuter aus. Ab dem dritten Jahr dominierten das Ungras *Apera spica-venti* und das Unkraut *Erigeron canadensis*.

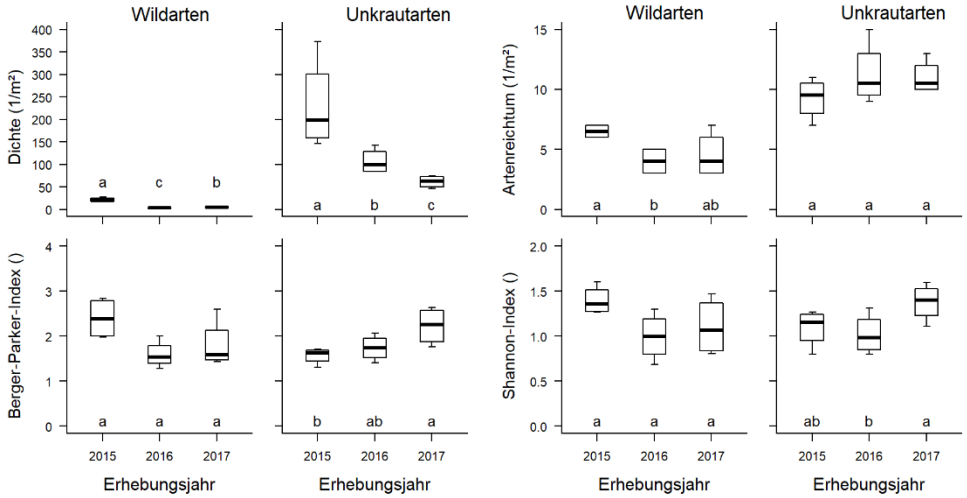


Abb. 1 Dichte, Artenreichtum, Shannon-Index und Berger-Parker-Index von Wild- und Unkrautarten auf dem Versuchsstandort Müncheberg in den Jahren 2015 bis 2017 (n = 8). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren (Friedman-Test, α = 0.05).

Fig. 1 *Plant density, species richness, Shannon index and Berger-Parker-index of wild flowers and weeds on the experimental site Müncheberg from year 2015 until 2017 (n = 8). Different letters indicate significant differences between years (Friedman test, α = 0.05).*

Bestandsentwicklung an den Standorten Dedelow und Müncheberg im Versuchsjahr 2016

Im Betrachtungsjahr 2016 standen in Dedelow und Müncheberg jeweils vier Bestände im ersten und im zweiten Standjahr. Am Standort Müncheberg waren zum ersten Erhebungstermin weder Pflanzen aus der Blühmischung noch Unkrautarten auf den Flächen gewachsen (Abb. 2). In den neu ausgesäten Beständen stiegen auf beiden Standorten der Artenreichtum und die Dichten der Wildarten von Juni bis September an. Im Mittel etablierten sich drei Wildarten in Dedelow und sieben Wildarten in Müncheberg. Die Unkrautdichten waren im Juli am höchsten mit 28 Pflanzen/m² (Dedelow) und 181 Pflanzen/m² (Müncheberg) und sanken auf 1 bzw. 98 Pflanzen/m² im Laufe der Betrachtung.

Die zweijährigen Bestände starteten mit einer relativen hohen Anzahl von Wildarten, vermutlich jenen Arten, welche sich im Vorjahr in den Beständen etabliert hatten. In Dedelow wiesen diese Bestände darum höhere Dichten auf als die neu gesäten Bestände. Die Dichten sanken im Laufe der Vegetationsperiode wieder auf ein Niveau, welches die Bestände im ersten Standjahr zeigten. Der Artenreichtum war in den Sommermonaten Juni und Juli mit sechs Arten aus der Blühmischung am höchsten. Zum September hin sank die Artenanzahl. Vermehrt waren die Arten *Artemisia vulgaris*, *Centaurea nigra* und *Tanacetum vulgare* zu finden, welche als Hemikryptophyten überwintert hatten. Einen ähnlichen Entwicklungsverlauf zeigten die Unkrautarten. Im Juni waren hohe

Unkrautdichten von 186 Pflanzen/m² zu sehen. Diese sanken, bei steigender Dichte der Wildpflanzenarten, auf 1 Pflanze/m².

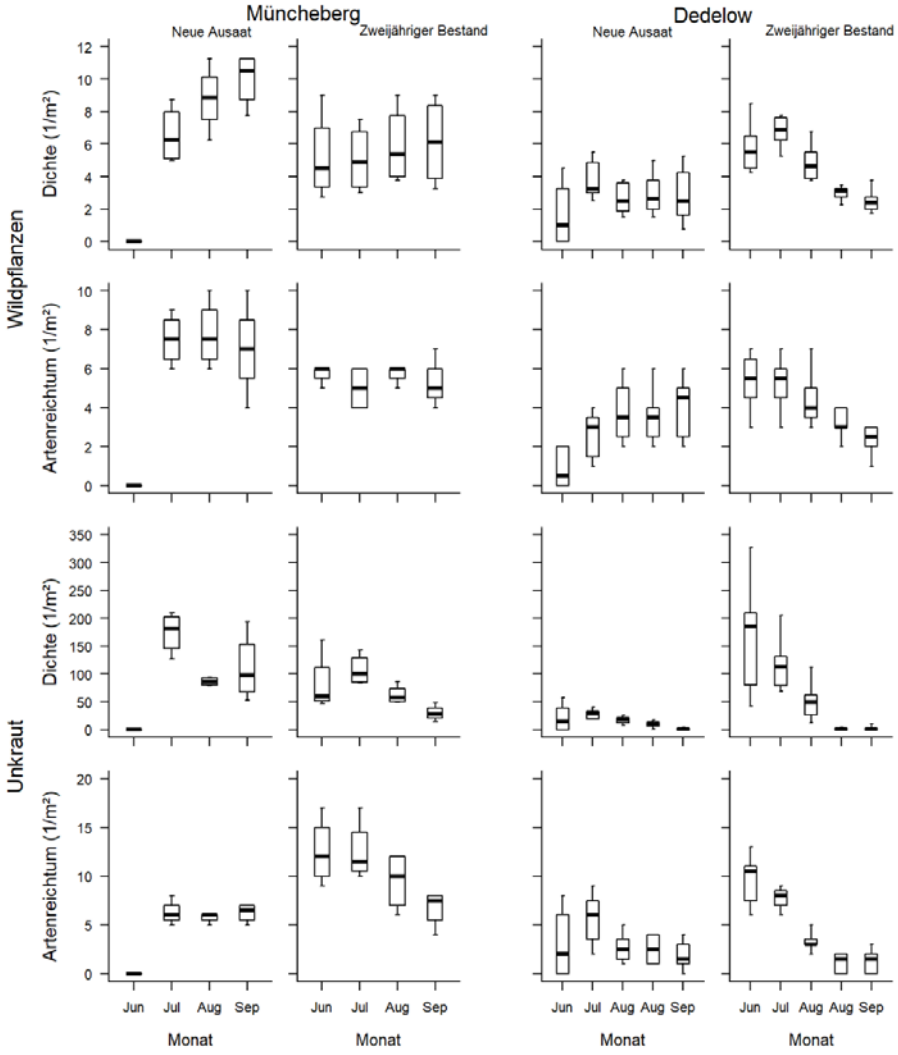


Abb. 2 Pflanzendichten und Artenreichtum von Wild- und Unkrautarten auf den Versuchsstandorten Müncheberg und Dedelow im Erhebungsjahr 2016 in den Monaten Juni bis September (n = 8). Es wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden (Friedman-Test, α = 0.05).

Fig. 2 *Plant density and species richness of wild flowers and weeds on the experimental sites Müncheberg and Dedelow from survey year 2016 from june to september (n = 8). There was no significant difference between month (Friedman test, α = 0.05).*

Auch der Artenreichtum verringerte sich von zehn Arten auf zwei Unkrautarten, wobei *Matricaria inodora* dominierte. Am Standort Müncheberg blieben die Dichten bei 5 Pflanzen/m² und der Artenreichtum von fünf Wildarten über die Vegetationsperiode konstant. Die Dichte der Unkrautarten hingegen sank von Juni bis in den September stetig.

Diskussion

Am Standort Müncheberg konnten sich die Wildpflanzenarten über die dreijährige Nutzungsdauer nur schlecht etablieren. Kritisch sind der geringe Artenreichtum und die Dichten der Wildarten zu bewerten. Von den 23 ausgesäten Wildarten sind gerade einmal elf Arten unterschieden worden. Bei identischen Feldversuchen in Rostock und Malchow (DE MOL, 2018) und ähnlichen im Südwesten Deutschlands (VON COSSEL et al., 2016) konnten bis zu dreiundzwanzig Wildarten unterschieden werden. Die schlechte Etablierung kann zum einen durch die schlechte Adaptierung einiger Wildarten an sandigen Böden liegen und zum anderen auch durch die manuelle Aussaat bedingt sein, wobei durch Wind Samen verweht werden. Um den Etablierungserfolg auf den leichten Standorten zu erhöhen, sollte in Erwägung gezogen werden, die Mischung mit einer anderen Aussaattechnik oder in einer Kombination mit einer Deckfrucht auszusäen (VOLLRATH, 2016). Positiv ist, dass weder der Unkraut-Artenreichtum noch die Unkrautdichte im betrachteten Zeitraum zunehmen. Die erwartete Verunkrautung der Flächen tritt nicht ein, obwohl die Dichten der Wildarten so gering sind. In den Monaten August und September sind kaum noch Unkrautarten präsent. Dabei bieten die Wildarten Rainfarn und die Malven ein reiches Blütenangebot (BÜCHLER, 2015). Die Bestandsentwicklung an den Standorten Dedelow und Müncheberg im Versuchsjahr 2016 zeigt, dass sowohl in den einjährigen wie auch in den zweijährigen Beständen die Wildarten das Nahrungsangebot für Tiere in diesen Monaten komplementieren. Interessanterweise zeigte der zweijährige Bestand in Dedelow eine höhere Unkrautdichte als der neu ausgesäte Bestand. In den Monaten Juni und Juli dominierten die sommerannuellen Arten *Tripleurospermum maritimum*, *Matricaria inodora* und *Chenopodium album*. Da sich die Dichte von 186 Pflanzen/m² im August auf 50 Pflanzen/m² reduzierte, wird es sich hierbei um Keimlinge gehandelt haben, welche sich nicht weiter als Pflanze etablierten. Zusammenfassend ist die hier getestete Wildpflanzenmischung für sandige Böden eher ungeeignet. Eine spezielle Wildpflanzenmischung muss für diese Standorte entwickelt werden, damit das volle Potenzial der Wildarten ausgeschöpft werden kann. Trotz allen Schwierigkeiten, wird die Diversität erhöht.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Gernot Verch, Dedelow und Dietmar Barkusky, Müncheberg für die Durchführung der agronomischen Arbeiten. Bei den Vegetationserhebungen halfen: Cornelia Fischer, Ingolf Gliege, Ines Heyer, Maren Knipping, Rosa Minderlen und Christoph v. Redwitz.

Literatur

BMEL, 2019: Bioenergie, unter https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachwachsende-Rohstoffe/Bioenergie/_texte/Biogas.html, Zugriff am 18.11.2019

BÜCHLER, R., G. TRAUTMANN., D. SKOETSCH., S. BRAND, K. PREUSCHE., B. BINDER-KÖLLHOFER., U. WILLIGES, 2015: Landwirtschaft und Imker in Partnerschaft, Broschüre vom HMUKLV und LLH, Fachgebiet Bieneninstitut Kirchhain, 15.

DE MOL, F., L. TAMMS , B. GEROWITT, 2018: Biodiversität einer mehrjährigen Wildpflanzenmischung für die Biogasproduktion. Julius-Kühn-Archiv **458,** 35-40.

LINHART, E., A. K. DHUNGEL, 2013: Das Thema Vermaisung im öffentlichen Diskurs. Berichte über Landwirtschaft, Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, **91**(2), 1–22.

SAATEN ZELLER GMBH & CO KG, 2019: Biogasmischungen für innovative Landwirte. unter: http://www.saaten-zeller.de/landwirtschaft/biogas-i, aufgerufen am 09.10.2019.

UYTTENBROECK, R., S. HATT, J. PIQUERAY, A. PAUL, B. BODSON, F. FRANCIS, A. MONTY, 2015: Creating perennial flower strips: Think functional!, Agriculture and Agricultural Science Procedia **6**, 95–101.

VOLLRATH, B., A. WERNER, 2012: Wildpflanzen zur Biogasgewinnung – eine ökonomische Alternative zur Silomais. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau Sonderdruck aus: LandInForm **3/12**, 36-37.

VOLLRATH, B., K. MARZINI, 2016: Mehr Vielfalt und rentable Biogasproduktion -mit den richtigen Blühmischungen ist beides möglich, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau Sonderdruck aus: **2016**, 5.

VON COSSEL, M., I. LEWANDOWSKI, 2016: Perennial wild plant mixtures for biomass production: Impact of species composition dynamics on yield performance over a five-year cultivation period in southwest Germany, Europ. J. Agronomy **79**,74–89.

Alte Daten, neuer Nutzen – Unkrauterhebungen europaweit kombiniert

Old data, new benefit – weed surveys combined throughout Europe

Christoph von Redwitz[1*], Jana Bürger[2]

[1] Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Julius Kühn-Institut (JKI), Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig
[2] Professur Phytomedizin, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, Satower Straße 48, 18059 Rostock
*Korrespondierender Autor, christoph.redwitz@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.032

Zusammenfassung

Die Unkrautbekämpfung wird sich in den nächsten Jahren weiterhin verändern, mit geringerem Einsatz von Herbiziden und einem Blick auf alternative Verfahren des Unkrautmanagements. Um diese komplexere Unkrautkontrolle effektiv zu nutzen, wird auch wieder vermehrt breites Wissen der Unkrautökologie benötigt.

Dieses Wissen basiert in vielen Fällen auf lokal oder regional erhobenen Daten. Die daraus abgeleiteten Schlüsse können nur mit gebotener Vorsicht verallgemeinert werden. Der Schritt von der lokalen Beobachtung zur generellen Regel ist naturgemäß unsicher. Die Kombination vieler verschiedener Datensätze bietet prinzipiell eine Möglichkeit, diesen Schritt der Ableitung sicherer zu machen, da ein größerer Teil der auf Feldern real vorliegenden Unterschiede abgebildet wird. Das von einem solchen größeren Datensatz abgeleiteten Wissen hat eine breitere Gültigkeit.

Hier zeigen wir beispielhaft, wie es funktionieren kann, Datensätze verschiedener regionaler oder nationaler Herkunft zu recherchieren und zu sammeln, und wie die Kombination einen Mehrgewinn an wissenschaftlicher Erkenntnis bringt. Im Rahmen der Arbeitsgruppe „Weeds and Biodiversity" der European Weed Research Society (EWRS) werden Unkrauterhebungen aus verschiedenen europäischen Ländern kombiniert, um die Einflussfaktoren auf das Unkrautauftreten auf der kontinentalen Skala zu analysieren.

Wir zeigen aber auch, welche Hürden die Vielfältigkeit der diversen Datensätze mit sich bringt.

Stichwörter: Ackervegetation, Datenbank, Monitoring, Relevé, Unkrauterhebung

Abstract

The weed management of modern agriculture will continue its change to less intense use of herbicides and more prominent use of alternative measures. For an effective use of this more complex weed control, a better knowledge and understanding of weed ecology and of reactions to management measures is necessary. In many cases, this knowledge is based on regionally or nationally collected data. The derived conclusions can only be extrapolated with caution. It is difficult to extract a general rule from local observations, and sometimes not possible. In principal, the combination of different datasets from different regions and times provides the possibility to overcome this problem, because a larger part of the existing differences is addressed. The knowledge generated in this way is more general.

We show how we approached such a data collection of European weed data and provide an overview of the data gathered so far. We discuss some of the arising problems caused by the high heterogeneity of the data and how we handle them. The data collection was conducted within the framework of the working group "Weeds and Biodiversity" of the European Weed Research Society" (EWRS) with the aim to analyse the factors influencing the occurrence of weeds.

Keywords: Data base, field survey, relevé, weed monitoring, weed survey

Einleitung

Unkrautbekämpfung ist ein wesentlicher Bestandteil des Pflanzenbaus und wird seit Jahrzehnten maßgeblich unter Einsatz von Herbiziden durchgeführt (Davis und Frisvold, 2017). Dieses Vorgehen wird aber zunehmend problematischer: Die Zahl von herbizidresistenten Unkräutern wächst (Heap, 2019) und zeitgleich gibt es keine neuen Herbizide mit neuen Wirkmechanismen (Duke, 2012; Pallett, 2016). Im Gegenteil, es wird beklagt, dass immer weniger Wirkstoffe verfügbar sind. Zudem wächst auch die gesellschaftliche Kritik am Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel (Volksbegehren-artenvielfalt, 2018). Daher werden verstärkt alternative Verfahren zur Unkrautbekämpfung gesucht. Das sind zum einen alte Ansätze in neuer Umsetzung, wie es beim Striegel- oder Hackeinsatz der

Fall ist, zum anderen aber auch gänzlich neue Verfahren in der Unkrautbekämpfung, wo z. B. automatisierte Unkrauterkennung und teilflächenspezifische Unkrautkontrolle genannt werden können (CHRISTENSEN et al., 2009). Egal welches Verfahren aber betrachtet wird, die Wirksamkeit und die Bewertung der Verfahren hängen auch von den Eigenschaften der einzelnen Unkrautarten ab. Es ist wichtig, die Ökologie der Unkräuter zu kennen, um ihr Verhalten und ihre Dynamik auf den bewirtschafteten Flächen abschätzen zu können. Tatsächlich können viele neu gestellte Fragen mit bereits vorhandenen Daten beantwortet werden. Für andere Fragen hingegen müssen neue Daten erhoben werden.

In Europa werden seit sehr vielen Jahren Unkrauterhebungen durchgeführt (z. B. MEYER et al., 2013). Viele werden im Rahmen der Unkrautkontrolle und der Ertragssicherung genutzt (z.B. durch die Pflanzenschutzdienste). Andere dienen Fragestellungen des Umweltschutzes wie Nährstoffaustrag oder Gewässerbelastungen. Wieder andere Erhebungen werden mit ökologischen Fragestellungen, wie z. B. der Zusammensetzung der Artengemeinschaft oder der Verteilung von Unkrautarten durchgeführt (FRIED et al., 2008; DE MOL et al., 2015). In den allermeisten Fällen ist nicht ausschließlich die Art und die Dichte eines Unkrauts von Interesse, sondern auch das Wirkungsgefüge Standort - Management – Klima, weshalb neben den Vegetationsdaten auch solche Umwelt- und Managementdaten erhoben werden.

Die Erhebung von Daten ist meistens räumlich und zeitlich limitiert, enger oder weiter, je nach Projektzusammenhang oder der Forschungsfrage, die bearbeitet wird. Entsprechend limitiert auf einen bestimmten Raum oder den konkreten Kontext eines Anbausystems sind darum oft auch die aus ihnen abgeleiteten Schlüsse. Eine Vernetzung von Datensätzen aus verschiedenen Quellen, Regionen oder Zeiträumen verspricht, diese Einschränkung zumindest zum Teil zu beheben und zu grundlegenderen Ergebnissen zu kommen. Wir stellen hier den Versuch vor, Daten von Unkrauterhebungen europaweit zu sammeln und kombiniert auszuwerten.

Material und Methoden

Die Datensammlung erfolgte mehrgleisig: zunächst wurden die Autoren von veröffentlichten europäischen Unkrauterhebungen gezielt angesprochen, ob sie Interesse hätten, ihre Daten in solch ein kombiniertes Vorhaben einzubringen. Dann wurde im Juli 2019 auf dem Workshop der Arbeitsgruppe „Weeds and Biodiversity" aus der European Weed Research Society (EWRS) ein Kooperationsvorhaben gestartet und so weitere Arbeitsgruppen erreicht.

Die Vorgehensweise konzentrierte sich darauf, den Nutzen einer großräumigen Datensammlung aufzuzeigen, einen Anreiz für den Aufwand bei der Daten-Übermittlung zu setzen, und insbesondere Vertrauen in den verantwortungsvollen Umgang mit den Daten zu schaffen. Es wurden zwei Publikationen konzipiert, die verschiedene Aspekte einer solchen Datensammlung behandeln. Allen Datengebern wurde eine Co-Autorschaft offeriert und zugesichert, dass die Daten ausschließlich für die vorgestellten Pläne verwendet würden. Daher wird die vorgestellte Datensammlung vorerst auch nicht öffentlich zugänglich sein.

Ergebnisse

Es zeigte sich, dass die Motivation, Daten kollektiv zu nutzen, groß ist. Eine Bereitstellung von Daten war dennoch zum Teil problematisch. Zum einen gab es verständliche Vorbehalte bei unveröffentlichten Daten. Eine große Hürde war in einigen Fällen die benötigte Zeit, um bereits veröffentlichte Daten herauszusuchen und für die Weitergabe vorzubereiten.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus weiten Teilen Europas waren vom vorgeschlagenen Ansatz überzeugt. Es konnten mehr als 30 Datensätze aus Erhebungen zwischen 1996 und 2016 gesammelt werden. Die Unkrauterhebungen stammen aus elf Ländern, vornehmlich aus Ost-, Mittel- und Westeuropa (Abb. 1). Sie umfassen mehr als 10.000 Flächen und fast 50.000 einzelne Erhebungen (Tab. 1).

Tab. 1 Anzahl von Unkrauterhebungen einzelner Fruchtarten in der vorgestellten europaweiten Datensammlung.

Tab. 1 *Number of weed records in different crops in a collection of weed surveys across Europe.*

Fruchtart	Felder	darauf einzelne Erhebungen
Raps	2.289	13.053
Winterweizen	3.155	4.138
Andere Wintergetreide	876	1.062
Sommergetreide	775	801
Mais	4.906	16.432
Zuckerrüben	401	11.075
Sojabohnen	333	333
Sonnenblumen	339	339
anderes	966	966

Die Datensätze in der Sammlung sind sehr vielfältig und heterogen. Ähnlich wie es in einem Review über Methoden der Unkraut-Erhebung (HANZLIK und GEROWITT, 2016) zusammengefasst wurde, unterscheiden sich die eingereichten Datensätze deutlich in den Aspekten des Sampling-Designs (Auswahl der Felder; Größe der Plots; Anzahl von Wiederholungen) und des verwendeten Systems für die Unkrauterfassung (Dichte vs. Deckung; verwendete Skalen).

Die Heterogenität stellt eine große Herausforderung an die Analyse sowie die Interpretation der Ergebnisse. Sie bietet aber auch eine Chance, die mindestens ebenso komplexe Realität auf den landwirtschaftlichen Flächen eingehender zu untersuchen.

Zum Sampling-Design

Ursprünglich wurden die gesammelten Studien mit sehr unterschiedlichen Fragestellungen durchgeführt, darunter waren z.B.: „den Einfluss der Fruchtfolge auf die Unkrautgemeinschaften abzuschätzen", „den Einfluss neuer Anbauverfahren auf das Unkrautvorkommen zu messen", „das Auftreten seltener, gefährdeter Arten einzuschätzen", oder „Effekte des Anbaus von gentechnisch veränderten Sorten auf Unkräuter zu testen". Dieses spiegelt sich in der Auswahl der untersuchten Flächen und der Methoden wieder.

Fünf der Studien hatten einen nationalen Fokus, und versuchten, das gesamte relevante Anbaugebiet in ihrem jeweiligen Land durch Erhebungen abzudecken. Die meisten Datensätze allerdings konzentrierten sich auf ein bis sechs Untersuchungsregionen. Einige wenige Datensätze haben nur einen lokalen Umfang (bis zu 10 km^2).

Der Erhebungszeitpunkt unterschied sich, da manche Untersuchungen eher das Ziel hatten, die Verunkrautung zum Bekämpfungszeitpunkt abzubilden, und daher in frühen Entwicklungsstadien der Kultur stattfanden. Andere Untersuchungen hingegen rückten sich reproduzierende Unkrautpopulationen in den Fokus und wurden daher zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt. In manchen Studien wurden aber auch Erhebungen zu mehreren Zeitpunkten gemacht.

Die Größe der Erhebungsfläche schwankte ebenso wie deren Aufbau. So wurden in einigen Fällen Spritzfenster genutzt, in anderen aber nicht, manche Erhebungen wurden am Feldrand und manche in der Feldmitte durchgeführt, manchmal wurde nur ein Wert je Fläche erhoben, manchmal wurde die Erhebung wiederholt. Zehn Studien verglichen explizit konventionell und ökologisch bewirtschaftete Felder.



Abb. 1 Alle bislang gesammelten Unkrautaufnahmen. Jeder schwarze Punkt stellt eine Fläche in mindestens einem Jahr dar.

Fig. 1 *All collected weed surveys. Every black dot represents a field in at least one year.*

Zum System der Unkrauterfassung

Es wurden verschiedene Skalen zur Schätzung der Unkrautdeckung, aber auch zur Bestimmung der Unkrautdichte genutzt. Einige der unterschiedlichen Skalen sind vergleichbar oder können durch Transformation vergleichbar gemacht werden (z.B. Dichteschätzungen nach Braun-Planquet und Londo).

Die hohe Zahl der gesammelten Erhebungen lässt eine großzügige Auswahl von Datensätzen zu, so dass für eine spezifische Fragestellung passende gefunden werden.

Die zusätzlich zu den Unkrautdaten gesammelten Umweltparameter decken viele für die Verunkrautung wichtige Aspekte des Managements und einige wichtige Aspekte des Bodens ab. Darunter sind die Bodenbearbeitung, Kultur, oder Herbizide im Management oder der Boden pH und der Bodentyp (Tab. 2).

Tab. 2 Anzahl der Datensätze mit Angaben zu den verschiedenen Umwelt- und Managementgrößen.

Tab. 2 *Number of datasets including certain environmental and management variables.*

Gruppe	Messgröße	Anzahl
Boden	Bodentyp bzw. -textur	17
	pH	12
	Humusgehalt	9
	Nährstoffe	7
Anbausystem	ökologisch	11
	konventionell	23
Management	Düngung	19
	Bodenbearbeitung	22
	Tiefe der Bodenbearbeitung	5
	Fruchtfolge bzw. Vorfrucht	21
	Herbizide	23
	mechanische Unkrautbekämpfung	8
	Deckung der Kultur (%)	13
	Abstand der Saatreihen	6
	Dichte der Kultur (Pflanzen/m²)	9
	Datum der Aussaat	16
	Aussaatdichte	8

Ausblick

Nach der Aufbereitung aller Daten in ein einheitliches Format ist die Anfertigung von Fallstudien geplant, mit denen wir Vor- und Nachteile der großen räumlichen Skala gegenüber regional begrenzteren Studien abschätzen werden.

Außerdem stellen wir unsere Datensammlung einer Datenbank mit 40.000 pflanzensoziologischen Erhebungen von Ackerflora (KÜZMIČ et al., 2018) gegenüber, um die enthaltenen Informationen zur Artenvielfalt zu vergleichen. Langfristig besteht die Möglichkeit, unsere Datensammlung in eine reguläre Datenbank umzuwandeln, und sie z. B. durch die Listung im Global Index of Vegetation Databases (GIVD, DENGLER et al., 2011) einer breiteren wissenschaftlichen Öffentlichkeit bekannt und zugänglich zu machen. Die Beteiligung weiterer Datengeber ist dazu ausdrücklich willkommen.

Beteiligte

Bislang beteiligen sich folgende Personen an dem gemeinsamen Vorhaben: Alicia Cirujeda, Silvia Fogliatto, Guillaume Fried, Denise Fu Dostatny, Michael Glemnitz, Eva Hernandez Plaza, Jordi Izquierdo, Michaela Kolářová, Helen Metcalfe, Jevgenija Ņečajeva, Sandrine Petit, Gyula Pinke, Matthias Schumacher und Lena Ulber.

Literatur

CHRISTENSEN, S., H.T. SØGAARD, P. KUDS, M. NØRREMARK, I. LUND, E.S. NADIMI und R. JØRGENSEN, 2009: Site-specific weed control technologies. Weed Research **49** (3), 233–241, DOI:10.1111/j.1365-3180.2009.00696.x.

DAVIS, A.S. und G.B. FRISVOLD, 2017: Are herbicides a once in a century method of weed control? Pest management science **73** (11), 2209–2220, DOI:10.1002/ps.4643.

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** (6), 574–585, DOI:10.1111/wre.12169.

DENGLER, J., F. JANSEN, F. GLÖCKLER, R.K. PEET, M. de CÁCERES, M. CHYTRÝ, J. EWALD, J. OLDELAND, G. LOPEZ-GONZALEZ, M. FINCKH, L. MUCINA, J.S. RODWELL, J.H.J. SCHAMINÉE und N. SPENCER, 2011: The Global Index of Vegetation-Plot Databases (GIVD): a new resource for vegetation science. Journal of Vegetation Science **22** (4), 582–597, DOI:10.1111/j.1654-1103.2011.01265.x.

DUKE, S.O., 2012: A time for herbicide discovery. Pest management science **68** (4), 493, DOI:10.1002/ps.3272.

FRIED, G., L.R. NORTON und X. REBOUD, 2008: Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. Agriculture, Ecosystems & Environment **128** (1-2), 68–76, DOI:10.1016/j.agee.2008.05.003.

HANZLIK, K. und B. GEROWITT, 2016: Methods to conduct and analyse weed surveys in arable farming: a review. Agronomy for Sustainable Development **36** (1), 375, DOI:10.1007/s13593-015-0345-7.

HEAP, I., 2019: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Zugriff: 16. Oktober 2019, URL: www.weedscience.com.

KÜZMIČ, F., U. ŠILC, Z. LOSOSOVÁ und L. MUCINA, 2018: European Weed Vegetation Database. Wroclaw, Poland, Poster, 27th Congress of the European Vegetation Survey.

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 Distributions **19** (9), 1175–1187, DOI:10.1111/ddi.12102.

PALLETT, K., 2016: Can We Expect New Herbicides with Novel Modes of Action in the Foreseeable Future? Outlooks on Pest Management **27** (1), 39–43, DOI:10.1564/v27_feb_09.

VOLKSBEGEHREN-ARTENVIELFALT, 2018: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Bayerischen Naturschutzgesetzes zugunsten der Artenvielfalt und Naturschönheit in Bayern. Zugriff: 16. Oktober 2019, URL: www.volksbegehren-artenvielfalt.de.

Sektion 5: Verfahren zur Herbizidreduktion
Session 5: Methods for herbicide reduction

Assistenzsystem für den teilflächenspezifischen Einsatz von Herbiziden

Assistance system for the site-specific use of herbicides

Jan-Philip Pohl[1*], Dieter von Hörsten[1], Jens Karl Wegener[1], Burkhard Golla[2], Isabella Karpinski[2], Sandra Rajmis[2], Christoph Sinn[2], Henning Nordmeyer[3], Christina Wellhausen[3], Benno Kleinhenz[4], Marco Herrmann[4], Hilmar Dunekacke[5], Asmus Matthiesen[5], Frank von Bargen[5], Daniel Jahncke[6], Dirk Feise[6], Manfred Röhrig[7], Reinhard Sander[7]

[1]Julius Kühn-Institut, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig
[2]Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow
[3]Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig
[4]Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz, Rüdesheimer Str. 60 - 68, 55545 Bad Kreuznach
[5]HERBERT DAMMANN GmbH, Dorfstraße 17, 21614 Buxtehude-Hedendorf
[6]GeoInformationsDienst GmbH, Götzenbreite 10, 37124 Rosdorf
[7]Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion e.V., Rüdesheimer Straße 60-68, 55545 Bad Kreuznach
[*]Korrespondierender Autor, jan-philip.pohl@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.033



Zusammenfassung

Die teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden zur Unkrautbekämpfung ist ein Ansatz, mit dem eine Reduktion und Spezifikation angewendeter Pflanzenschutzmittel und somit eine umweltschonendere und nachhaltigere Agrarproduktion möglich wird. Im Rahmen des BLE-Projektes "Entwicklung und Praxistest eines Direkteinspeisungssystems ohne Verzögerungszeiten zur Teilflächenapplikation von Pflanzenschutzmitteln" konnte erstmals eine technisch ausgereifte Direkteinspeisungsfeldspritze genutzt werden, mit dieser die bislang bekannten Probleme der Direkteinspeisung gelöst wurden. Um mit dieser Technik jedoch eine tatsächliche Teilflächenapplikation unter Praxisbedingungen umzusetzen, bedarf es der zusätzlichen Entwicklung einer Systemumgebung, welche eine Vielzahl von satelliten-, sensor- und geodatengestützten Informationen über Schnittstellen integrieren kann und mit dessen Hilfe Teilflächen innerhalb der gesamten Applikationsfläche für unterschiedliche Applikationsmaßnahmen identifiziert und näher charakterisiert werden können. Zielsetzung ist die Entwicklung eines Assistenzsystems basierend auf der Direkteinspeisung zur orts- und zeitabhängigen teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmitteln. Erste Ergebnisse zeigen eine wirtschaftliche Kosteneinsparung und eine umweltschonendere Herbizideinsatz durch teilflächenspezifische Applikation.

Stichwörter: Assistenzsystem, Direkteinspeisung, Pflanzenschutzmittel, teilflächenspezifische Applikation

Abstract

The site-specific application of herbicides for weed control is an approach that enables the reduction and specification of pesticides and thus a more environmentally friendly and sustainable agricultural production. Within the scope of the BLE project "Development and practical test of a direct feed system without delay times for partial area application of crop protection agents", a technically mature direct feed field sprayer could be used for the first time, which solved the previously known problems of direct injection. However, in order to implement an actual partial area application under practical conditions with this technology, it is necessary to additionally develop a system environment which can integrate a large number of satellite-, sensor- and geodata-supported information via interfaces and with the help of which partial areas within the entire application area can be identified and characterised in more detail for different application measures. The aim is to develop an assistance system based on direct feeding for the location- and time-dependent sub-area-specific application of pesticides.

Keywords: Assistance system, direct injection, pesticides, site-specific application

Einleitung

Präzisionslandwirtschaft kann mit einer gezielten und hocheffizienten Ausbringung von Produktionsfaktoren (Pflanzenschutzmittel, Dünger, etc.) die natürlichen Ressourcen und die Biodiversität auf dem Schlag und in unmittelbarer Umgebung schonen. Im Bereich des Pflanzenschutzes ist dazu die teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln eine notwendige Grundvoraussetzung (KREBS et al., 2015). Ziel des hier vorgestellten Forschungsvorhabens ist eine deutliche Reduktion und Spezifikation zur Behandlung vorgesehener Herbizide und somit eine situationsgerechte und umweltschonendere Agrarproduktion. Es wird anhand von Feldversuchen systematisch untersucht, ob die teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden wirtschaftlich ist.

Der Anteil an Herbiziden bzw. Wirkstoffen, der potentiell in die verschiedenen Kompartimente des Naturhaushaltes verfrachtet werden kann, wird im Sinne einer modernen, standortangepassten und ressourceneffizienten Bewirtschaftung reduziert, indem der Wirkstoff positionsgenau auf der Zielfläche, dem Ort des tatsächlichen Bedarfs, appliziert wird. Bisher basiert die Teilflächenbehandlung auf dem Wissen und der Erfahrung des Anwenders/Betriebsleiters und auf Bonituren. Dies wird sich mit dem zunehmenden Einsatz von digitalen Systemen, wie Sensorik, Satellitendaten und Drohnen wesentlich vereinfachen (NORDMEYER und PFLANZ, 2016). Dieses Ziel wird mit verschiedenen Projektpartnern im laufenden Projekt „Assistenzsystem zur teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmittel" verfolgt und umgesetzt. Es wird ein Assistenzsystem entwickelt, das mit Hilfe verschiedener Webservices die Erstellung von Applikationskarten ermöglicht und dabei verschiedenste Informationsquellen als Webservices zur Verfügung bereitstellt. Die Dateninputs bestehen zum Beispiel aus langjährigen Ertragsdaten, Unkrautkarten, Satellitendaten aber auch Bestandsaufnahmen per Drohne, die im Assistenzsystem prozessiert werden und vom Feldspritzgerät mit Hilfe des erzeugten Kartenmaterials vollautomatisch und teilflächenspezifisch appliziert werden. Dies ist ein wichtiger Schritt für die Effizienzsteigerung im Pflanzenbau. Der Beitrag zeigt den aktuellen Entwicklungsstand des Assistenzsystems auf und informiert über Versuchsergebnisse und Lösungen im Projekt. Aufgezeigt werden sollen Verfahrensabläufe und erforderliche Daten, die über eine Schnittstelle zu den bereits in der Praxis vorhandenen elektronischen Ackerschlagkarteien bereitgestellt werden. Zusätzlich sollen weitere für die Durchführung eines sach- und fachgerechten Pflanzenschutzes wichtige Online-Daten (z. B. lokale Wetterdaten, Maschinenparameter, Schaderregerprognosemodelle, Geländeprofilerkennung, Kleinstrukturen) berücksichtigt werden. Das Assistenzsystem begleitet den Anwender durch den gesamten Prozess - Planung, Vorbereitung, Applikation und Dokumentation - des Pflanzenschutzes. Viele der dazu notwendigen Informationskomponenten sind heute bereits verfügbar und können zur Steuerung, Regelung sowie Überwachung und Automation herangezogen werden.

Material und Methoden

Im Rahmen des IGreen-Projektes (FLEUREN, 2009) wurde bereits ein Applikationsassistent entwickelt, der prinzipiell in der Lage ist, den Fahrer bei der Einhaltung von Anwendungsbestimmungen festgelegten Abständen zu Gewässern und Saumstrukturen zu unterstützen. Dieser Ansatz wurde in dem bis April 2016 durchgeführten BLE-Innovationsvorhaben „Pesticide Application Manager" (PAM – Pflanzenschutzanwendungs-Manager) aufgegriffen und in eine Prozesskette integriert. Der Fokus lag hier auf der Einhaltung von Anwendungsbestimmungen (Technik und Abstand) zum Schutz von Oberflächengewässern und Saumbiotopen (z. B. SCHEIBER et al., 2015; RAJMIS et al., 2016). Beim PAM-Projekt standen jedoch nicht der reduzierte Einsatz von PSM sowie die Optimierung der eigentlichen Applikation auf der Anwendungsfläche im Vordergrund. Des Weiteren wurden keine Methoden für die erforderliche Bündelung von On- und Offline-Informationen mit dem Ziel einer standortangepassten und ressourceneffizienten PSM-Anwendung im Sinne einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung auf der gesamten Anbaufläche entwickelt. Gerade diese Informationen sind jedoch für eine teilflächenspezifische Applikation von großer Bedeutung. An

dieser Stelle setzt das vorliegende Vorhaben an und vervollständigt die technologischen Möglichkeiten zur Prozessoptimierung und Risikominimierung. Dabei unterstützt das System den Anwender bei seinen Entscheidungen im Sinne einer sach- und fachgerechten Applikation. Ein vollkommen automatisierter Prozess, ohne Eingriffsmöglichkeiten durch den Anwender, ist jedoch nicht das Ziel des Assistenzsystems. Vielmehr sollen alle hierfür benötigten und verfügbaren Daten zusammengeführt und dem Anwender in aufbereiteter Form zur Entscheidungsunterstützung und Empfehlung zur Verfügung gestellt werden. Moderne Pflanzenschutzgeräte verfügen heute bereits über eine Vielzahl verschiedener Assistenzsysteme, mit deren Hilfe der Anwender bei der Applikation entlastet wird. Dazu gehören z. B. GPS-gesteuerte automatische Teilbreitenschaltungen und Gestängesteuerungen, Tools zur Minimierung von Restmengen sowie automatische Reinigungseinrichtungen. Die Anwendung von Pflanzenschutzmaßnahmen kann im Vorfeld in Farm Management-Informations-Systemen (FMIS) geplant und dokumentiert werden. Der Anwender hat die Möglichkeit, sich durch Prognosetools über die Notwendigkeit von Anwendungen und deren optimalen Zeitpunkt zu informieren. Darüber hinaus muss er die Anwendungsbestimmungen der von ihm genutzten Herbizide kennen, das Unkrautaufkommen auf den Zielflächen identifizieren und im Kontext zur Bestandsentwicklung analysieren und interpretieren. Vor und während der Applikation sind zudem die Wetterbedingungen für eine erfolgreiche Behandlung zu beachten. In der Abbildung 1 ist die Systemarchitektur hinter dem geplanten Assistenzsystem dargestellt. Zentrales Element des Gesamtsystems ist ein GIS-gestützter, webbasierter Applikationskartenservice. Mittels offener, standardisierter bzw. dokumentierter Schnittstellen, welche die standardisierten Formate XML, GeoJSON und GML sowie GeoTIFF für den Datenaustausch nutzen, können externe Webservices eingebunden werden. So wird auf z.T. vorprozessierte satelliten-, sensorgesteuerte und geodatengestützte Informationen und weitere Informationsquellen, wie Prognosemodelle, Webservice für Abstandsauflagen bis hin zum Linked-Open-Data BVL-PSM-Verzeichnis (PAM-Dienst), zugegriffen. Auf Grundlage dieser Daten wird mit dem Applikationskartenservice eine Applikationskarte erstellt und in das Assistenzsystem übertragen.

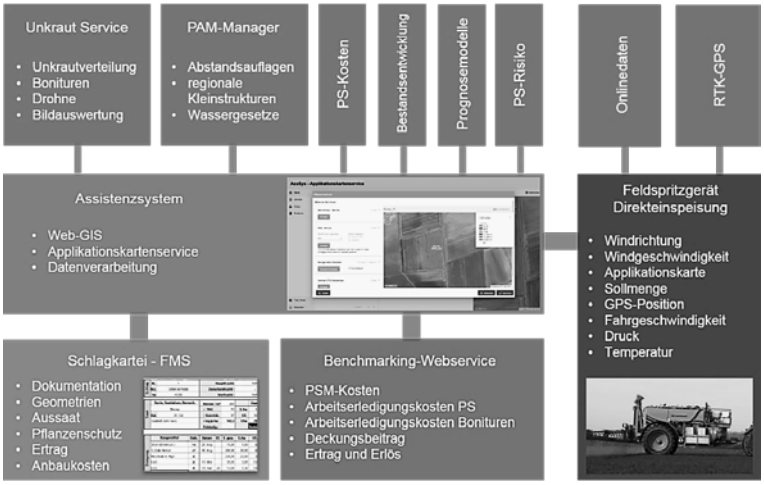


Abb. 1 Systemarchitektur des Assistenzsystems zur teilflächenspezifischen Applikation.

Fig. 1 *System architecture of the application assistant for site-specific application.*

Im Servicemodul Unkraut, wird an einer automatischen Unkrauterkennung für Bilder gearbeitet. Unkräuter zählen nach wie vor zu den wichtigsten Schadorganismen im Ackerbau. Obwohl schon lange über Unkräuter geforscht wird, sind sowohl klimatische, technische oder ökonomische Rahmenbedingungen für das Projekt neu zu betrachten. Für eine teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung ist eine Erfassung von Unkrautdichte und –arten mit hoher räumlicher

Auflösung erforderlich (NORDMEYER, 2006). Manuelle Unkrautbonituren, wie sie durchgeführt werden, sind in der Praxis kaum realisierbar. Eine höhere Auflösung könnte mit Unkrautsensoren oder wie aktuell schon eingesetzt mittels kameragestützter Bonitur per Drohne erreicht werden. Aus Sicht einer teilflächenspezifischen Herbizidapplikation ist die Erfassung und Analyse raumbezogener Unkrautinformationen zwingend erforderlich. Dazu gehören die Erkennung verschiedener Unkrautarten und deren Dichte sowie ihre räumliche Verteilung auf einer Fläche. Während manuelle Bonituren zu kostenintensiv und nicht praxistauglich sind, kann die Unkrauterfassung stattdessen mit Hilfe optischer Sensoren im Offline-Verfahren erfolgen. An der Online-Erkennung von Unkräutern durch Sensoren wird seit Jahren in vielen öffentlich geförderten Projekten und auch in Industrieprojekten geforscht. Ein aus heutiger Sicht absehbarer Durchbruch ist im Rahmen der Projektlaufzeit jedoch nicht zu erwarten (NORDMEYER, 2015).

Für die Feldversuche werden Ackerflächen in Testgebieten ausgewählt. Es sollen Testflächen sein auf denen bisher ein normales Unkrautvorkommen aufgetreten ist, um ein breites Herbizidspektrum einsetzen zu können. Die Testgebiete werden auf der Grundlage unterschiedlicher klimatischer Bedingungen und Bodenverhältnisse zur Überprüfung des Assistenzsystems ausgewählt. Dort werden GPS-gestützte Feldbonituren in Ackerkulturen (Schwerpunkt Getreide) durchgeführt. Dies erfolgt durch manuelle (Feldbegehung) und luftgestützte Vegetationserfassung mittels Drohnen (Einzelpflanzen und Pflanzendeckungsgrad) zu verschiedenen Zeiten während der Vegetationsperioden bzw. vor und nach Pflanzenschutzmaßnahmen, wie in Abbildung 2 zu sehen. Es wird ein Multikopter zur Erstellung von Orthofotos (Position und Dimension) und zur Überprüfung von Pflanzenschutzmaßnahmen eingesetzt. Die georeferenzierten Unkrautsituationen werden in einer Geodatenbank abgelegt. Anschließend erfolgt die Datenaufbereitung für die Systemintegration sowie für Prognose- und Entscheidungsmodelle. Schlagspezifische Unkrautkarten werden mit einer GIS-Software erstellt und dienen als Grundlage für die Feldversuche zur Unkrautbekämpfung. Die Kontrolle der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen im Feld erfolgt als Bonitur 4 bis 6 Wochen nach der Applikation. Abschließend erfolgt die Validierung des Assistenzsystems bezüglich Unkrautbekämpfung und die Überprüfung und Anpassung der einzelnen Systemkomponenten (Identifikation, Navigation, Applikation).

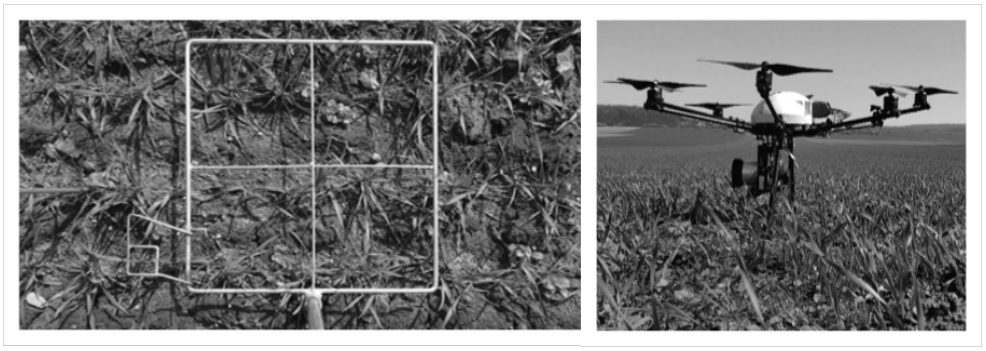


Abb. 2 Bonituren mit digitalem Zählrahmen und Multikopter zur Erstellung von RGB-Aufnahmen für die automatische Unkrauterkennung.

Fig. 2 *Monitoring with digital counting frame and multicopter to generate RGB images for automatic weed detection.*

Bereits seit mehreren Jahrzehnten werden Verfahren zur Vegetationsfernerkundung genutzt. In der Regel werden Satellitenbilder oder Aufnahmen aus bemannten Befliegungen analysiert, um die räumliche Variabilität einer landwirtschaftlichen Kulturfläche zu identifizieren und Kulturmaßnahmen (z. B. Düngung) teilflächenspezifisch anzupassen. Die zeitliche Verfügbarkeit von Satellitenbildern ist jedoch begrenzt. Alternativ ermöglicht der technische Fortschritt auf den

Gebieten der Robotik und Informatik neue Möglichkeiten, die die Entwicklung von autonomen Flugsystemen und leistungsfähigen Bildverarbeitungsalgorithmen auch für die Landwirtschaft erschwinglich machen. So konnte die photogrammetrische Abbildungsleistung durch den Einsatz von Flugrobotern in geringer Höhe in den letzten Jahren erheblich gesteigert werden, was die artspezifische Erfassung von Einzelpflanzen auf einer Kulturfläche potentiell möglich macht. Ausreichende Erfahrungen bezüglich der Navigation in geringen Flughöhen werden gegenwärtig gesammelt und sollen im Rahmen des Projektes ausgewertet werden. Die Zusammenführung und Nutzung von unterschiedlichen pflanzenschutzrelevanten Webservices und die Implementierung in bzw. die Erweiterung von bestehenden FMIS ist eines der wichtigsten Ziele im Projekt.

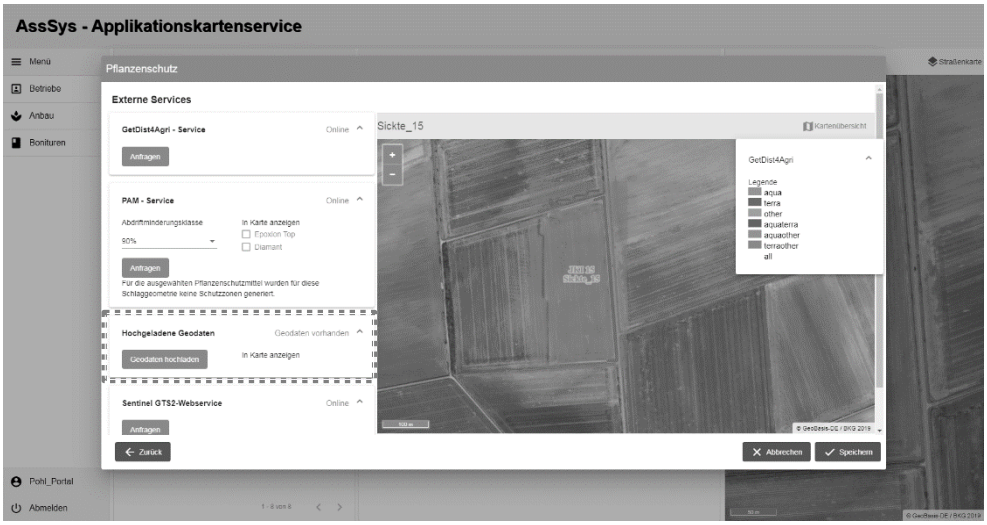


Abb. 3 Assistenzsystem in der Maske der externen Services. Der gepunktete Kasten, markiert den Service zum Import von Unkrautkarten. Auf der rechten Seite ist die Schlaggeometrie zu erkennen mit den Saumstrukturen und dem NDVI (normierter differenzierter Vegetationsindex) aus Satellitendaten.

Fig. 3 *Application assistant in the mask of external services. The dotted box marks the service for importing weed maps. In the right corner, the geometry of the field with the vegetative strips and the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) from satellite data is visible.*

Abbildung 3 zeigt die Version Oktober 2019 des Assistenzsystems in der Maske der externen Webservices. Die Services werden online angesprochen und können über standardisierte Schnittstellen genutzt werden. Der gepunktete markierte Bereich zeigt die Möglichkeit zur Einbindung von Unkrautkarten, die von einem beliebigen Dienstleister eingebunden werden können. In der Kartenübersicht ist die Schlaggeometrie zu erkennen, sowie die erkannten Saumstrukturen. Des Weiteren ist ein Satellitenbildlayer (NDVI - normierter differenzierter Vegetationsindex) über den Schlag gelegt. Die Webservices von Drittanbietern sollen weiter ausgebaut werden, um eine möglichst optimale Applikationskarte mit dem System erzeugen zu können.

Ergebnisse

Mit der Entwicklung des geplanten Assistenzsystems wird für die Technologie der Direkteinspeisung die notwendige Infrastruktur bereitgestellt, mit deren Hilfe eine teilflächenspezifische Applikation ohne Restmengen sowie kurze Reinigungszeiten in der Praxis tatsächlich umgesetzt werden kann (POHL et al., 2017). Dies ist eine Grundvoraussetzung dafür, dass sich die Technologie der Direkteinspeisung am Markt zukünftig etablieren kann (KREBS et al., 2016). Darüber hinaus ist das Assistenzsystem in der Lage, den Anwender beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im gesamten Prozessverlauf, von der Planung der Maßnahme bis zur

abschließenden Dokumentation unterstützend zu begleiten. Dieser Sachverhalt stärkt sowohl den Anwenderschutz als auch den Schutz des Naturhaushalts, da gesetzliche Anforderungen sowie Vorgaben eines sach- und fachgerechten Pflanzenschutzes in Form von Entscheidungsunterstützung oder automatischer Prozessführung umgesetzt werden. Durch Optimierung des Zeitpunkts der Pflanzenschutzmaßnahme sowie der Prozessparameter können Ressourcen geschont werden. Die im Assistenzsystem erzeugten Daten lassen sich vom Anwender in seine FMS/FMIS integrieren und sind somit für das Betriebsmanagement weitgehend nutzbar. Zudem trägt das Assistenzsystem zur Digitalisierung der Prozesse in der Landwirtschaft bei.

Fazit

Die örtlich und zeitlich differenzierte teilflächenspezifische Applikation auf Grundlage der Direkteinspeisung ist technologisches Neuland und kann durch die Einsparung von PSM maßgebliche Vorteile für den Anwender und die Umwelt bringen (POHL et al., 2016). Zur erfolgreichen Umsetzung dieses Konzepts ist das in diesem Projekt beschriebene Assistenzsystem als zwingend notwendig einzustufen. Bei der Entwicklung des Assistenzsystems zur Applikation von PSM sollen alle erforderlichen Offline-Daten über eine Schnittstelle zu den bereits in der Praxis vorhandenen digitalen Ackerschlagkarteien bereitgestellt werden. Zusätzlich sollen weitere für die Durchführung eines Pflanzenschutzes nach guter fachlicher Praxis bzw. IPS wichtige Online-Daten (z. B. lokale Wetterdaten, Maschinenparameter, Unkrauterkennung, Geländeprofilerkennung) über zusätzliche Schnittstellen direkt während des Applikationsprozess berücksichtigt werden. Teile der dazu notwendigen Informationskomponenten sind heute bereits verfügbar und können zur Steuerung und Regelung sowie Überwachung und Automation des Gesamtprozesses herangezogen werden. Die Entwicklung eines Assistenzsystems, das diese Informationen für die Applikation unterstützend bereitstellt, führt zu einer wesentlichen Optimierung von Herbizidmaßnahmen, da hierdurch die bislang komplexen Entscheidungsprozesse durch intelligente, vernetzte Informationstechnologien erheblich vereinfacht werden.

Literatur

FLEUREN, T., 2009: iGreen - Landwirtschaft der Zukunft. ICSY Report, TU Kaiserslautern, **4**, 1-2.

KREBS, M., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, 2016: Situationsgerechte Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln. Julius-Kühn-Archiv **452**, 232-240.

KREBS, M., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, 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., 2015: Herbicide application in precision farming based on soil organic matter. American Journal of Experimental Agriculture **8(3)**, 144-151.

NORDMEYER, H., M. PFLANZ, 2016: Aus der Vogelperpektive betrachtet: Drohnen helfen bei der Unkrautbekämpfung. Der Pflanzenarzt **69**, 7-9.

POHL, J.P., D. RAUTMANN, D. VON HÖRSTEN, H. NORDMEYER, M. KREBS, 2016: Präzise Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung. Der Pflanzenarzt **69**, 12-14.

POHL, J., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, 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. doi:10.1017/S2040470017000255.

RAJMIS, S., B. GOLLA, B. UHL, D. MARTINI, H. KEHLENBECK, 2016: Ökonomische Bewertung eines Entscheidungshilfesystems im Pflanzenschutz am Beispiel von Winterweizen (PAM - Pesticide Application Manager). Julius-Kühn-Archiv **454**, 551-552.

SCHEIBER, M., C. FEDERLE, J. FELDHAUS, B. GOLLA, B. HARTMANN, B. KLEINHENZ, D. MARTINI, M. RÖHRIG, 2015: Automatisch auf Abstand. DLZ-Agrarmagazin **4**, 70-75.

Generierung von Unkrautverteilungskarten auf der Basis automatischer Annotierungen in Feldaufnahmen

Generation of weed distribution maps based on automatic annotations in field images

Christina Wellhausen[1*], Michael Pflanz[1], Jan-Philip Pohl[2], Henning Nordmeyer[1]

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

[2]Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig

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

DOI 10.5073/jka.2020.464.034

Zusammenfassung

Moderne Applikationstechnik, wie z. B. Mehrkammersysteme, ermöglicht inzwischen sowohl eine an die räumlich variable Unkrautverteilung angepasste Herbizidaufwandmenge als auch die Herbizidwahl. Für die Umsetzung einer solchen teilflächenspezifischen Applikation ist neben einem geeigneten Pflanzenschutzgerät auch die Integration von Metainformationen zur exakten Charakterisierung von Teilflächen und zur Berücksichtigung von Abstandsauflagen in Randbereichen sinnvoll. Dazu wird zurzeit ein Assistenzsystem entwickelt, das unter anderem auch Informationen über die Unkrautverteilung beinhaltet. Ein möglicher Ansatz, die für eine teilflächenspezifische Herbizidapplikation notwendigen Unkrautverteilungskarten zu generieren, ist die objektbasierte Analyse von georeferenzierten Bilddaten unter Verwendung von Modellen des maschinellen Lernens. Beispielhaft wurde ein Bag-of-Visual-Words (BoVW) Ansatz für die Erkennung von Unkrautarten in Luftbildaufnahmen aus UAV-Befliegungen (unmanned aerial vehicle) erfolgreich angewendet. Zur Erstellung von Unkrautverteilungskarten mit umfassenderem Unkrautartenspektrum ist jedoch die Analyse größerer Datensätze notwendig, für die die Verwendung von deep learning Algorithmen erforderlich ist. Die Eignung dieser Algorithmen wurde in dieser Studie unter Verwendung von convolutional neural nets (CNN)s anhand von Bildaufnahmen aus Feldversuchen überprüft. Dabei zeigte sich, dass die Präzision des verwendeten Klassifikators, mit Ausnahme von Ehrenpreis-Arten (VERSS), für die jeweiligen Klassen bei über 84 % lag. Bei Anwendung der CNN-Modelle auf Aufnahmen aus geringer Höhe konnte ermittelt werden, dass sich die getesteten Algorithmen grundsätzlich für eine Vorhersage der richtigen Pflanzen- bzw. Bodenkategorie eignen. Bei einem geringen Anteil von Acker-Fuchsschwanzpflanzen (ALOMY) in den Aufnahmen wurde jedoch der vorhergesagte Flächenanteil von ALOMY deutlich überschätzt.

Stichwörter: Assistenzsystem, Bilderkennung, deep learning, teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung, Unkrautverteilungskarten

Abstract

Modern application systems, e.g. multi-chamber systems, now allow the choice of herbicides and herbicide dose rates, which are adapted to a spatially variable weed distribution. Besides suitable plant protection equipment, the implementation of site-specific application requires the integration of the large amount of information that characterises an individual site. For this purpose an assistance system is being developed, which will also contain information about weed distribution. One approach to generate weed distribution maps, which are essential for site-specific herbicide application, is the use of models based on machine learning. Such a Bag-of-Visual-Word (BoVW) approach was already applied on UAV (unmanned aerial vehicle) images and successfully used for the recognition of few weed species. To generate weed distribution maps with a larger weed spectrum, however, the analysis of larger data sets is necessary, which requires the use of deep learning algorithms. The suitability of these algorithms was tested in this study applying convolutional neural nets (CNN)s to images generated in field trials. The classifier showed an overall accuracy of >84%, except for speedwell species (VERSS). When applying the CNN models on images acquired at low altitudes, it was shown that the tested algorithms are generally suitable for a correct prediction of different plant and soil classes. However, if the amount of black-grass (ALOMY) present in the images was low, the predicted area size for ALOMY was significantly overestimated.

Keywords: Assistance system, deep-learning, image recognition, site-specific weed control, weed distribution maps

Einleitung

Die Erfassung der räumlich variablen Unkrautverteilung auf landwirtschaftlichen Flächen ermöglicht eine lokale Anpassung von Herbizidaufwandmengen und damit eine teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung. Mit geeigneter Applikationstechnik, wie beispielsweise Mehrkammersystemen, ist es darüber hinaus bereits möglich, auch die Herbizidwahl an die variablen räumlichen Bedingungen anzupassen. Dies führt insgesamt zu einer reduzierten Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln und bietet neben ökologischen auch ökonomische Vorteile.

Als ein geeigneter Ansatz für die Generierung von pflanzenschutzrelevanten Informationen einer Fläche wurde die Anzahl und Verteilung verschiedener Unkrautarten an Hand von Luftbildern bestimmt, die mit autonom fliegenden Sensorplattformen (UAV) erstellt wurden (PFLANZ et al., 2014). Diese sind in der Lage, in einer geringen Flughöhe (5 m) über eine Fläche zu navigieren und schaffen in Kombination mit einer hochauflösenden RGB-Kamera die Voraussetzung für eine automatisierte Identifizierung von Einzelpflanzen (PFLANZ und NORDMEYER, 2016). Für die anschließende Bildverarbeitung und automatische Unkrauterkennung wurde ein zunächst objektbasierter Bag-of-Visual-Word (BoVW) Ansatz entwickelt und getestet (PFLANZ et al., 2018b). Dabei konnte gezeigt werden, dass der Ansatz eine artspezifische Unterscheidung zwischen *Matricaria recutita* L., *Papaver rhoeas* L. und *Viola arvensis* M. mit einer Erkennungsleistung von durchschnittlich 88 % sowie Winterweizen (94 %) ermöglicht (PFLANZ et al., 2018a). Bei BoVW handelt es sich um eine klassische Herangehensweise des maschinellen Lernens. Charakteristisch hierfür ist, dass bereits das Training von Vorhersagemodellen mit einem relativ kleinen Datensatz an Ausgangsbildern zu einem schnellen Lernerfolg führt. So konnten vier Unkrautarten, sowie die Kategorie Boden und Kulturpflanzen erfolgreich in Luftbildaufnahmen erkannt und segmentiert werden (PFLANZ et al., 2018a). Zur Generierung von Unkrautverteilungskarten eines umfangreicheren Unkrautartenspektrums ist es dagegen zielführend, größere Datensätze (Big Data) zu analysieren. Hier ist die Verwendung von deep learning Algorithmen erforderlich (DYRMANN et al., 2016; OLSEN et al., 2019).

Neben der Unkrauterfassung werden für ein teilflächenspezifisches Unkrautmanagement auch die entsprechenden Pflanzenschutzgeräte mit z. B. Einzeldüsen- oder Teilbreitenschaltung oder Direkteinspeisungssystemen benötigt (CHRISTENSEN et al., 2009). Ein solches Gerät mit Direkteinspeisungssystem wurde bereits entwickelt und in Praxisversuchen eingesetzt (POHL et al., 2018). Um eine teilflächenspezifische Applikation in der Praxis umzusetzen und die Vielzahl von satelliten-, sensor- und geodatengestützten Informationen, die eine Teilfläche identifizieren und charakterisieren, zu integrieren, wird zurzeit ein Assistenzsystem basierend auf der Direkteinspeisung entwickelt (POHL et al., 2020). Ziel der nachfolgend vorgestellten Feldversuche war neben der Erweiterung der Bilddatenbank die Erstellung und Einbindung von Unkrautverteilungskarten in das Assistenzsystem sowie dessen Validierung im Hinblick auf die Unkrautbekämpfung.

Material und Methoden

Feldversuche

Die Durchführung der Feldversuche erfolgte in den Jahren 2017-2019 auf Versuchsflächen des Julius Kühn-Instituts und externer Landwirte in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt. Die ausgewählten Flächen wiesen eine Größe von 4-7 ha auf und die Versuche wurden ausschließlich in Getreide (Winter- und Sommerweizen, Wintergerste) durchgeführt. Zur Erfassung der Unkräuter vor der Herbizidapplikation erfolgten GPS-gestützte Bonituren mit einem Göttinger Zählrahmen (0,1 m^2) in einem Raster zwischen 12 x 12 und 24 x 24 m auf den Versuchsflächen. Dabei wurden für jeden Boniturpunkt Bildaufnahmen mit einer in 45 cm Höhe am Zählrahmen befestigten RGB-Kompaktkamera (Alpha 6000, Sony) erstellt. Zusätzlich erfolgte eine Befliegung mit einem Multikopter (Oktopus, CiS GmbH), bei der ebenfalls mit einer RGB-Kompaktkamera (NEX 5N, Sony)

Aufnahmen an den Boniturpunkten in einer Flughöhe von 5 m erstellt wurden. Aus den manuellen Bonituren wurden im Anschluss Unkrautverteilungskarten mittels Surfer (Golden Software, LLC.) oder ArcMap (ArcGIS, esri Inc.) Software generiert, die als Grundlage für die Erstellung von Applikationskarten dienten. Auf Basis der jeweiligen Unkrautart und –dichte und den artspezifischen Schadschwellen wurden auf den Flächen Bereiche definiert, in denen eine Anwendung unterschiedlicher Herbizide mit einer Direkteinspeisungsspritze (Herbert Dammann GmbH) oder keine Anwendung erfolgte. Die Wirksamkeit der durchgeführten Herbizidmaßnahmen wurde 4 bis 6 Wochen nach der Applikation ebenfalls durch manuelle Bonitur mit einem Göttinger Zählrahmen erfasst.

Annotierung der Bildaufnahmen

Die mit der am Zählrahmen befestigten Kamera aufgenommenen Bilder wurden im Anschluss manuell am PC bonitiert. In der dafür entwickelten graphischen Oberfläche (ImageObjectLocator Version 0.38) wurden durch Auswahl und Setzen von Markierungen Einzelpflanzen identifiziert und verortet. Anschließend erfolgte eine Segmentierung 200 x 200 Pixel großer Ausschnitte auf Basis der Position der einzelnen Unkrautpflanzen (Abb. 1). Die trainierten Klassen umfassten unter anderem die Unkrautarten *Alopecurus myosuroides* (ALOMY), *Matricaria* sp. (MATSS), *Veronica* sp. (VERSS) und *Viola arvensis* (VIOAR) sowie Winterweizen (TRZAW) und Boden (SOIL). Insgesamt wurden aus den Bildaufnahmen ca. 10.000 Einzelbilder generiert.

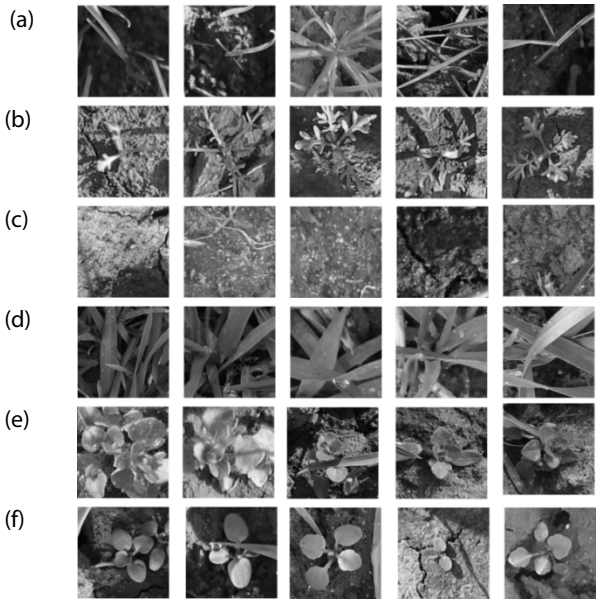


Abb. 1 Annotierter Bilddatensatz (Auswahl) verschiedener Verunkrautungssituationen für die CNN-Klassifikation. Trainiert wurden die Klassen (a) ALOMY, (b) MATSS, (c) SOIL, (d) TRZAW, (e) VERSS und (f) VIOAR.

Fig. 1 *Annotated image data set (selection) of different weed species and situations for CNN classification. Trained classes comprise (a) ALOMY, (b) MATSS, (c) SOIL, (d) TRZAW, (e) VERSS and (f) VIOAR.*

Bildanalyse und Erstellung Unkrautkarten

Eines der Ziele dieser Studie war es, die Eignung von state-of-the-art Algorithmen des deep learning unter Verwendung von convolutional neuronal nets (CNN)s, den bisher verwendeten Ansätzen des maschinellen Lernen auf Basis von BoVW gegenüberzustellen. Hierfür wurden Standard-CNNs genutzt, die leicht trainiert und eingesetzt werden können und so eine breite Verwendung

ermöglichen. Trainiert wurde mit Hilfe der deep learning-Bibliothek Keras (Version 2.2.4) und des Lernframeworks TensorFlow (Version 2.0) unter Python 3.7 (CHOLLET et al., 2015). Aufgrund seiner akzeptablen Performance gegenüber hochvariablen Datensätzen und seiner Verfügbarkeit im Keras und TensorFlow Backend wurde für die Implementierung ein einfaches CNN-Modell mit sechs Ebenen (Conv2D-Layer: 32, 32, 64, 128, 256, 16) verwendet. Trainiert wurde mit einem überschaubaren zeitlichen Aufwand in 15 Epochen mit einer BatchSize von 8 auf einer Xeon E5-Workstation mit einer Quadro P4000 Grafikkarte. Das CNN-Vorhersagemodell des Trainingsdatensatzes wurde auf einem unabhängigen Testdatensatz validiert.

Ergebnisse und Diskussion

Modelltraining und Validierung

Das Training der CNN-Modelle erfolgte auf Basis von realen Feldaufnahmen der Unkrautarten ALOMY, MATSS, VERSS und VERHE sowie der Klassen Boden (SOIL) und Kulturpflanze (TRZAW). Der Trainings- und Testverlauf für insgesamt 15 Epochen ist in Abbildung 2 dargestellt. Während die Fehler durch die Optimierungsfunktion (loss) kontinuierlich sinkt und die Trainingsgenauigkeit (accuracy) des Trainings ansteigt, deutet der Versatz zwischen Training und Validierung auf eine Überanpassung (Overfitting) des Vorhersagemodells hin. Die Folge ist, dass das Netzwerk nicht die relevanten Muster in den Trainingsdaten gelernt hat und sich die Muster aus den Trainingsdaten nicht auf die Testdaten verallgemeinern lassen. Um dies zu vermeiden, müssen mehr Trainingsdaten verwendet werden. Ein auf mehr Daten trainiertes Modell kann besser verallgemeinern.

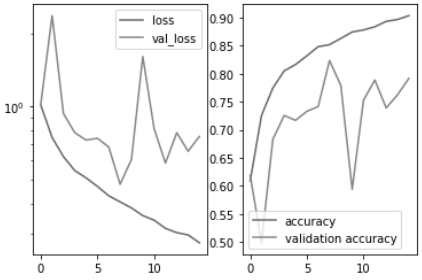


Abb. 2 Trainings- (links) und Validierungsplots (rechts). Der Bias zwischen Training und Validierung deutet auf eine Überanpassung des Modells hin.

Fig. 2 *Training (left) and validation (right) plots. The bias between training and validation indicates a model overfitting.*

In Tabelle 1 ist die Konfusionsmatrix von Training und Testung dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass eine Segmentierung sehr gut in den Klassen TRZAW, SOIL als auch in den Klassen MATSS und ALOMY möglich ist. In der Klasse VERSS sind Fehlklassifizierungen zu TRZAW und VIOAR festzustellen.

Tab. 1 Zur Bewertung des Klassifikators werden die Treffer je Klasse in einer Confusion matrix (Wahrheitsmatrix) gegeneinander abgetragen.

Tab. 1 *To evaluate the classifier, the hits per class are plotted against each other in a confusion matrix of training and testing.*

	ALOMY	MATSS	SOIL	TRZAW	VERSS	VIOAR
ALOMY	2179	67	54	0	74	79
MATSS	96	1258	8	1	84	139
SOIL	5	43	1236	0	3	5
TRZAW	2	6	53	550	746	1
VERSS	1	2	1	20	1502	32
VIOAR	12	102	5	1	739	1323

Der Klassifizierungsbericht (Tab. 2) zeigt die wichtigsten Klassifizierungskennzahlen auf Klassenbasis und gibt das Verhalten des Klassifikators bezüglich Genauigkeit und funktionaler Schwächen in einer Klasse wieder. Bis auf die Klasse VERSS lag die Präzision, also die Fähigkeit des Klassifikators, richtig positiv und nicht falsch negativ zu klassifizieren, bei über 84 %. Der Wert für Recall war in der Klasse TRZAW der geringste. Hier war der Anteil an Bildern, die als TRZAW klassifiziert wurden, aber tatsächlich einer anderen Klasse angehörten, sehr hoch. Der F1-Wert ist ein gewichteter harmonischer Mittelwert aus Präzision und Recall, so dass der beste Wert 1,0 und der schlechteste 0,0 ist. Im Allgemeinen sind F1-Werte niedriger als die Genauigkeit. Der F1-Score ist ein geeigneter Wert um Modelle zu vergleichen. Im Mittel lag die Klassifizierungsgenauigkeit (F1-Score) beim vorliegenden Versuch bei 0,77.

Tab. 2 Zusammenfassende Klassifikationsergebnisse für Precision (Genauigkeit), Recall (Trefferquote), F1Score (gewichteter Mittelwert) und Support (Anzahl getesteter Bilder).

Tab. 2 *Summarized classification results for Precision, Recall, F1Score and Support (number of images).*

	Precision	Recall	F1-score	Support
ALOMY	0,95	0,89	0,92	2453
MATSS	0,85	0,79	0,82	1586
SOIL	0,91	0,96	0,93	1292
TRZAW	0,96	0,41	0,57	1358
VERSS	0,48	0,96	0,64	1558
VIOAR	0,84	0,61	0,70	2182
Accuracy			0,77	10429
Macro avg	0,83	0,77	0,76	10429
Weighted avg	0,84	0,77	0,77	10429

Erstellung von Unkrautkarten

Die Erstellung von Unkrautverteilungskarten ist essentiell für die anschließende teilflächenspezifische Herbizidapplikation (Abb. 3). Da die Erstellung momentan jedoch aus manuellen Boniturdaten erfolgt, ist dieser Prozess sowohl arbeits- als auch kostenintensiv und für den Praxiseinsatz nicht geeignet.

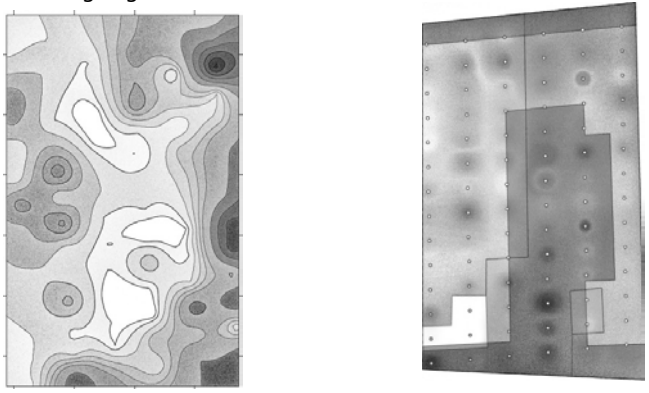


Abb. 3 Links: exemplarische Unkrautverteilungskarte einer Versuchsfläche; dunklere Farben zeigen höhere Unkrautdichten. Rechts: Applikationskarte mit Unkrautverteilung im Hintergrund; umrandete Bereiche zeigen unterschiedliche Herbizidapplikationen.

Fig. 3 *Left: exemplary weed distribution map of a trial field; darker colours show higher weed densities. Right: application map with weed distribution as a background; framed areas show different herbicide applications.*

Zur automatischen Generierung von Verteilungskarten aus Bildaufnahmen wurden die zuvor trainierten deep learning Algorithmen zunächst auf Aufnahmen aus geringer Höhe (Zählrahmen) angewendet. Die in Abbildung 4 dargestellten Vorhersagekarten für zwei der Feldaufnahmen zeigen, dass sich die getesteten Algorithmen grundsätzlich für eine Vorhersage der richtigen

Pflanzen- bzw. Bodenkategorie eignen. Die Flächenanteile für dikotyle Unkräuter (MATSS, VIOAR) werden richtig geschätzt, jedoch wird bei einem geringen Anteil monokotyler Unkräuter (ALOMY, Abb. 4b) deren Anteil durch die Modelle deutlich überschätzt. Dies ist insbesondere im Randbereich von Weizenpflanzen der Fall.

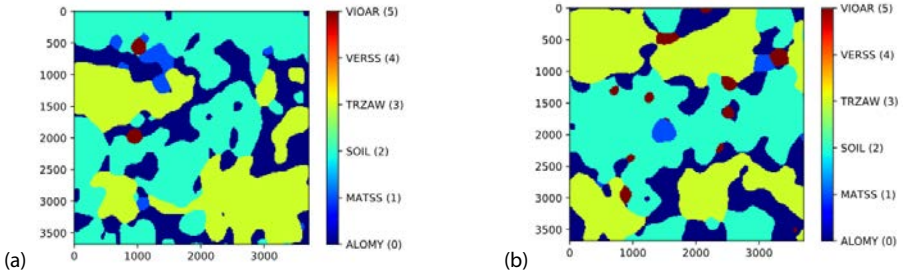


Abb. 4 Unkrautklassifizierungsergebnisse der deep learning Algorithmen auf Aufnahmen aus 45 cm Höhe (Zählrahmen) mit (a) hohem Anteil ALOMY und (b) geringem Anteil ALOMY.

Fig. 4 *Results of weed classification of deep learning algorithms on images taken in x cm height with (a) higher numbers and (b) lower numbers of ALOMY.*

Um aus den Vorhersagekarten der Aufnahmen von einzelnen Boniturpunkten ganzflächige Unkrautverteilungskarten zu erstellen, ist neben der Interpolation zwischen den Punkten auch eine Umrechnung der vom Modell geschätzten Flächenanteile (Pixel) zu der Anzahl einzelner Unkrautpflanzen je m^2 notwendig. Dies ist Voraussetzung für die Anwendung von Schadschwellenkonzepten. Da die hier verwendeten Bildaufnahmen zudem nur einen geringen Flächenausschnitt widerspiegeln, erfolgt als nächster Schritt eine Anwendung der deep-learning Algorithmen auf den ebenfalls erstellten UAV-gestützten Luftbildaufnahmen.

Danksagung

Wir danken Frau Behme, Frau Bernhard und Herrn Walter für die tatkräftige Unterstützung bei den Versuchsdurchführungen sowie den manuellen Unkrautbonituren am PC.

Literatur

CHOLLET, F., 2015: Keras, https://keras.io.

CHRISTENSEN, S., H.T. SØGAARD, P. KUDSK, M. NØRREMARK, I. LUND, E.S. NADIMI, R. JØRGENSEN, 2009: Site-specific weed control technologies. Weed Research **49** (3), 233–241.

DYRMANN M., H. KARSTOFT , H.S. MIDTIBY, 2016: Plant species classification using deep convolutional neural network. – Biosystems Engineering **151**, 72–80.

OLSEN A., D.A. KONOVALOV, B. PHILIPPA, P. RIDD, J.C. WOOD, J. JOHNS, W. BANKS, B. GIRGENTI, O. KENNY, J. WHINNEY, B. CALVERT, M.R. AZGHADI, R.D. WHITE, 2019: DeepWeeds: A Multiclass Weed Species Image Dataset for Deep Learning. Scientific Reports **9** (1), 2058.

PFLANZ, M., D. FEISTKORN, H. NORDMEYER, 2014: Unkrauterkennung mit Hilfe unbemannter Luftfahrzeuge. Julius-Kühn-Archiv **443**, 396-403.

PFLANZ, M., H. NORDMEYER, 2016: Automatisierte Unkrauterkennung auf dem Acker-Möglichkeiten und Grenzen. Julius-Kühn-Archiv **452**, 241-248.

PFLANZ, M., H. NORDMEYER, M. SCHIRRMANN, 2018a: Weed Mapping with UAS Imagery and a Bag of Visual Words Based Image Classifier. Remote Sensing **10** (10), 1530.

PFLANZ, M., M. SCHIRRMANN, H. NORDMEYER, 2018b: Räumlich hochauflösende Unkrauterkennung mittels Flugroboter und merkmalsextrahierender Bildverarbeitung. Julius-Kühn-Archiv **458**, 379–384.

POHL, J.-P., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, D. VON HÖRSTEN, 2018: Teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung - eine Innovation zur präzisen Applikation im Pflanzenbau. Julius-Kühn-Archiv **458**, 373–378.

POHL, J.-P., D. VON HÖRSTEN, J. K. WEGENER, B. GOLLA, I. KARPINSKI, S. RAJMIS, C. SINN, H. NORDMEYER, C. WELLHAUSEN, B. KLEINHENZ, M. HERRMANN, H. DUNEKACKE, A. MATTHIESEN, F. VON BARGEN, D. JAHNCKE, D. FEISE, M. RÖHRIG, R. SANDER, 2020: Assistenzsystem für den teilflächenspezifischen Einsatz von Herbiziden. Julius-Kühn-Archiv **464.**

Anwendung eines neuen Internet-basierten Entscheidungshilfemodells für das integrierte Unkrautmanagement in Winterweizen und Mais (DSS-IWM) – Erfahrungen aus der praxisnahen Anwendung

Application of a new Internet-based decision support model for integrated weed management in winter wheat and maize (DSS-IWM) - experiences from practical applications

Heidrun Bückmann[1*], **Ole Mission Bøjer**[2], **Per Rydahl**[2], **Arnd Verschwele**[1]

[1]Julius Kühn-Institut, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig
[2]IPM Consult Ltd., Hovedgaden 32, 4295 Stenlille, Denmark
*Korrespondierende Autorin, heidrun.bueckmann@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.035

Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der allgemeinen Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (Richtlinie 2009/128/EG Anhang III) wurde im Rahmen eines dreijährigen europäischen ERA-Net-Projektes (Co-ordinated Integrated Pest Management in Europe - C-IPM) ein Internet-gestütztes Entscheidungshilfemodell für die Unkrautbekämpfung in Winterweizen und Mais entwickelt (DSS-IWM). Der Prototyp dieses DSS-Modells, IPMwise, wurde Rahmen des Projektes in drei europäischen Ländern erarbeitet, geprüft und verbessert. Die Behandlungsvorschläge des Programms richten sich nach der aktuellen Verunkrautung der Fläche und beruhen auf Dosis-Wirkungsdaten und spezifischen Ziel-Wirksamkeiten. Das Programm soll sowohl Landwirte als auch Berater verlässlich dabei unterstützen, Unkräuter zum richtigen Zeitpunkt mit den geeignetsten Herbiziden in optimierter Aufwandmenge zu bekämpfen und somit dazu beitragen, den Herbizidaufwand zu reduzieren, ohne Ertragseinbußen zu riskieren. In die Entscheidungen werden lokale Bedingungen, Schadensschwellen und ökonomische Berechnungen der Behandlungen einbezogen. Das Programm soll zukünftig auch als Tablet- oder Smartphone-Version dem Anwender zur Verfügung stehen.

Validierungsversuche an verschiedenen Standorten in Deutschland zeigten, dass Wirkungsgrade sowohl im Mais als auch im Winterweizen nach Behandlungsvorschlägen des DSS-Programms im Mittel etwas niedriger waren als nach der lokalen Standardbehandlung, an einzelnen Standorten aber gleich hoch. Der Behandlungsindex in wurde in den DSS-Varianten bis zu 50 % verringert, wodurch Kosteneinsparungen für Herbizide von 50 % bis 60 % möglich waren. Das Programm ist demnach geeignet, um ökologische und ökonomische Ziele der Unkrautregulierung im Rahmen der Integrierten Unkrautbekämpfung zu fördern.

Stichwörter: Entscheidungshilfesystem, Herbizide, Integrierte Unkrautbekämpfung

Abstract

In accordance with the general principles of Integrated Pest Management (Directive 2009/128/EC Annex III), an Internet-based decision support model for weed control in winter wheat and maize (DSS-IWM) was developed as part of a three-year European ERA-Net project (Co-ordinated Integrated Pest Management in Europe - C-IPM). The prototype of this DSS model, IPMwise, was developed, tested and improved in three European countries. The treatment suggestions of the program are based on the current weed infestation of the field, on dose-response data and on specific target efficiencies. The program will provide reliable support to both farmers and advisors in controlling weeds at the right time with the most appropriate herbicides in optimised application rates, thus helping to reduce herbicide use without risking yield losses. Decisions are based on local conditions, damage thresholds and economic calculations of treatments. In future, the program will also be available to users as a tablet or smartphone version.

Validation trials at various sites in Germany showed that the average efficacy in both maize and winter wheat according to treatment suggestions of the DSS program was slightly lower than according to the local standard treatments, but at many sites it exceeded 90%. The treatment index in the DSS variants was reduced by up to 50%, resulting in cost savings for herbicides of 50% to 60%. The program is therefore suitable for supporting the ecological and economic objectives of weed control within the framework of Integrated Weed Control.

Keywords: Decision Support System, herbicides, integrated weed management

Einleitung

Unkrautbekämpfung im Sinne des Integrierten Pflanzenschutzes (Richtlinie 2009/128/EG Anhang III) erfordert ein genaues Erfassen der Verunkrautung einer Fläche und einen spezifischen Einsatz

von Herbiziden, der auf das notwendige Maß begrenzt sein sollte. In der Praxis wird häufig aus organisatorischen Gründen (Zeitersparnis, Personaleinsatz u.a.) auf die flächenbezogene Kontrolle der Verunkrautung verzichtet und Herbizide routinemäßig im Vorauflauf ausgebracht. Hierdurch können ökonomische und ökologische Nachteile entstehen, weil einerseits die tatsächliche Verunkrautung überschätzt werden kann und andererseits hohe Wirkungsreserven der Herbizide bei geringeren Aufwandmengen nicht genutzt werden. Dagegen können präzise Kombinationen verschiedener Nachauflaufherbizide mit angepassten Aufwandmengen deutliche ökonomische und ökologische Vorteile bewirken, ohne den wirtschaftlichen Erfolg des Anbaus zu gefährden (VERSCHWELE et al., 2018). Bereits vor mehr als 20 Jahren wurde in Dänemark damit begonnen, Einflussfaktoren auf die Wirkung einzelner Herbizide auf einzelne Unkrautarten zu untersuchen, um politische Entscheidungen und nationale Aktionspläne zum Grundwasserschutz umsetzen zu können (KUDSK, 2008). Seitdem wurden umfangreiche Dosis-Wirkungs-Versuche mit mehr als 100 Unkrautarten in Dänemark und anderen europäischen Ländern durchgeführt, deren Ergebnisse ein Reduktionspotential des Herbizid-Einsatzes von bis zu 60 % der zugelassenen Aufwandmenge belegen (MONTULL et al., 2014). Parallel wurden Internet-gestützte Entscheidungshilfesysteme (DSS - decision support systems) entwickelt, um den Anwender bei der Entscheidung für die optimierte Unkrautbekämpfungsstrategie zu unterstützen (VERSCHWELE et al., 2018; BÜCKMANN et al., 2018; SONDERSKOV et al., 2015; MONTULL et al., 2014; KUDSK, 2008; RYDAHL, 2003).

Das neue Entscheidungshilfemodell „DSS-IWM" wurde von 2016 bis 2019 im Rahmen des ERA-NET-Projektes „C-IPM, Co-ordinated Integrated Pest Management in Europe" entwickelt und baut auf Vorläufermodelle (DSSHerbicide und PURE) auf (SONDERSKOV et al., 2015; VERSCHWELE et al., 2018). Partner aus Dänemark, Spanien und Deutschland erarbeiteten den verlässlichen Internet-gestützten DSS-Prototyp IPMwise zur Unkrautbekämpfung in Winterweizen und Mais, mit dem ein ökologisch und ökonomisch begründeter sparsamer Herbizideinsatz nach den Grundsätzen des Integrierten Pflanzenschutzes gewährleistet werden kann (RYDAHL et al., 2019; http://dss-iwm.julius-kuehn.de). Zudem wurden weitere Ziele zur Optimierung der Unkrautbekämpfung verfolgt und das Programm durch Feldversuche validiert:

- Eignung für den Online-Einsatz zur Unkrautbekämpfung in Mais und Winterweizen
- Lieferung zuverlässiger Bekämpfungsvorschläge und Berücksichtigung nationaler Bedingungen
- Berücksichtigung von Schwellenwerten für Unkrautdichten
- Wirtschaftliche Berechnung der Herbizidkosten
- Vorschläge, wo möglich, für mechanische Bekämpfungsoptionen
- Erleichterung des Herbizidrestistenz-Managements
- Basisplattform für die Nutzung in anderen Kulturen und Ländern.

Im Folgenden werden praxisnahe Versuche der Jahre 2017 und 2018 aus Deutschland vorgestellt.

Material und Methoden

Die Basis der Empfehlung von Herbiziden und Aufwandmengen ist neben Dosis-Wirkungs-Daten die sogenannte Zielwirksamkeit (TE), die für jede Unkrautart festgelegt wurde (Tab. 1). Hierbei handelt es sich um ein modifiziertes Schadensschwellenkonzept (VERSCHWELE und BÜCKMANN, 2019). Sensitive und resistente Unkräuter werden mit unterschiedlichen Zielwirksamkeiten im Programm berücksichtigt. Zu Testzwecken wurden neben Zielwirksamkeiten, die eine sichere Unkrautbekämpfung ermöglichen, noch stärker abgesenkte, gewagte Zielwirksamkeiten festgelegt. Für die Nutzung des Programms in der landwirtschaftlichen Praxis wird zukünftig aber nur die sichere Variante angewendet. Die angestrebten Zielwirksamkeiten nehmen mit der Größe und der Anzahl der Unkräuter zu. Auf Grundlage der Dosis-Wirkungsbeziehungen und der Zielwirksamkeiten der Einzelunkräuter werden Tankmischungen oder auch Einzelherbizide berechnet (STREIBIG et al., 1998).

Für die Nutzung des Programms wird zunächst die Verunkrautung auf der Fläche visuell bestimmt. Anschließend werden die Unkrautart, die Unkrautgröße und die -dichteklasse ins IPMwise eingegeben. Bei den Unkrautarten kann zwischen sensitiven und resistenten Typen unterschieden

werden. Weitere Informationen wie das Entwicklungsstadium der Kultur, die Temperaturspanne zum Zeitpunkt der geplanten Herbizid-Behandlung und möglicher Trockenstress werden ergänzt.

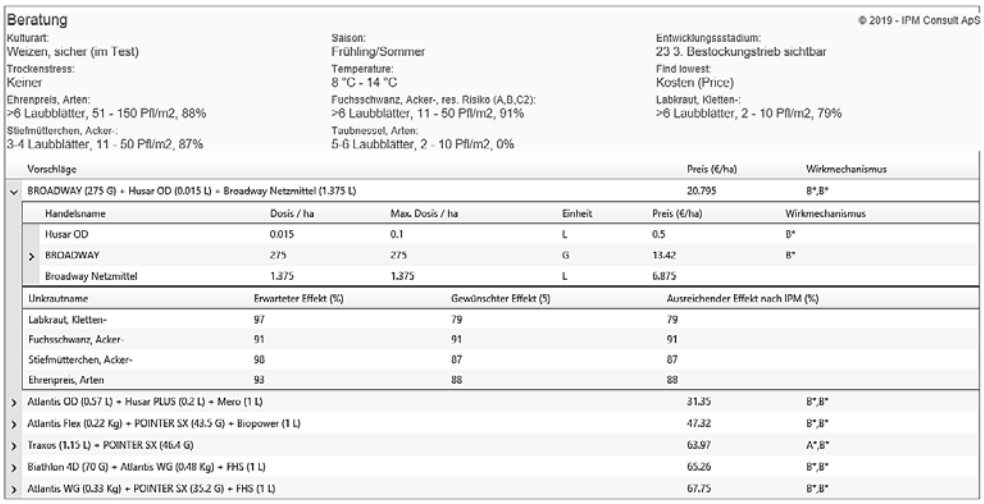
Tab. 1 Zielwirksamkeiten (%) für Unkrautarten und -dichten am Beispiel ausgewählter sensitiver Mais-Unkräuter.

Tab. 1 *Target efficacies (%) of weed species and weed densities using the example of selected sensitive maize weeds.*

	Unkrautdichte (Pfl./m²)				
Zielwirksamkeit	**0 - 1**	**2 - 10**	**11 - 40**	**41 - 150**	**> 150**
	Chenopodium album				
sicher	60	85	97	98	98
gewagt	40	70	87	88	88
	Digitaria sanguinalis				
sicher	60	85	95	96	96
gewagt	40	70	85	86	86
	Stellaria media				
sicher	50	85	85	90	90
gewagt	30	70	70	80	80

Aus diesen Informationen berechnet das Programm Wirkungsziele und Herbizid-Dosierungen oder mechanische Lösungsmöglichkeiten (RYDAHL et al., 2019). Zudem ist es möglich, die Vorschläge des Programms zu steuern, indem z. B. eigene Zielwirksamkeiten, die von denen des Programms abweichen, angegeben werden oder die Auswahl der Herbizide (Funktion „Eigene Herbizide“) beschränkt.

Abbildung 1 veranschaulicht die Ausgabe der Behandlungsvorschläge des Programms an einem Beispiel für Winterweizen. Aus diesen Vorschlägen sucht der Anwender die für sich passende und geeignete Tankmischung oder ggf. Einzelherbizide aus. Jeder Vorschlag kann angeklickt werden, um weitere Informationen zu den zu erwartenden Wirkungsgraden, den Wirkungsweisen (MoA) und den Preisen für die Herbizide zu erhalten.



Beratung

© 2019 - IPM Consult ApS

Kulturart: Weizen, sicher (im Test) | Saison: Frühling/Sommer | Entwicklungsstadium: 23 3. Bestockungstrieb sichtbar

Trockenstress: Keiner | Temperature: 8 °C - 14 °C | Find lowest: Kosten (Price)

Ehrenpreis, Arten: >6 Laubblätter, 51 - 150 Pfl/m2, 88% | Fuchsschwanz, Acker-, res. Risiko (A,B,C2): >6 Laubblätter, 11 - 50 Pfl/m2, 91% | Labkraut, Kletten-: >6 Laubblätter, 2 - 10 Pfl/m2, 79%

Stiefmütterchen, Acker-: 3-4 Laubblätter, 11 - 50 Pfl/m2, 87% | Taubnessel, Arten: 5-6 Laubblätter, 2 - 10 Pfl/m2, 0%

Vorschläge	Preis (€/ha)	Wirkmechanismus
BROADWAY (275 G) + Husar OD (0.015 L) + Broadway Netzmittel (1.375 L)	20.795	B*,B*

Handelsname	Dosis / ha	Max. Dosis / ha	Einheit	Preis (€/ha)	Wirkmechanismus
Husar OD	0.015	0.1	L	0.5	B*
BROADWAY	275	275	G	13.42	B*
Broadway Netzmittel	1.375	1.375	L	6.875	

Unkrautname	Erwarteter Effekt (%)	Gewünschter Effekt (%)	Ausreichender Effekt nach IPM (%)
Labkraut, Kletten-	97	79	79
Fuchsschwanz, Acker-	91	91	91
Stiefmütterchen, Acker-	98	87	87
Ehrenpreis, Arten	93	88	88

Atlantis OD (0.57 L) + Husar PLUS (0.2 L) + Mero (1 L)	31.35	B*,B*
Atlantis Flex (0.22 Kg) + POINTER SX (43.5 G) + Biopower (1 L)	47.32	B*,B*
Traxos (1.15 L) + POINTER SX (46.4 G)	63.97	A*,B*
Biathlon 4D (70 G) + Atlantis WG (0.48 Kg) + FHS (1 L)	65.26	B*,B*
Atlantis WG (0.38 Kg) + POINTER SX (35.2 G) + FHS (1 L)	67.75	B*,B*

Abb. 1 Vorschläge zur Bekämpfung der eingegebenen Verunkrautung, beispielhaft für die Frühjahrsbehandlung von Winterweizen 2019 mit sensitiven Unkräutern.

Fig. 1 *Suggestions for controlling the entered weed infestation, exemplary for the spring treatment of winter wheat 2019 with sensitive weeds.*

Zur Validierung der deutschen Version von IPMwise wurden gemeinsam mit den amtlichen Diensten der Bundesländer Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen (Rheinland und Westfalen), Sachsen, Thüringen und Brandenburg Ringversuche in Mais und Winterweizen durchgeführt.

Eigene Versuche deckten die Region Niedersachen ab. Auf Grundlage der Ergebnisse wurde das Programm optimiert und damit eine stetige Verbesserung der Algorithmen durch angepasste Zielwirksamkeiten, Dosis-Wirkungs-Daten, neue Herbizide und Unkräuter erreicht. Ziel war es, Fehlerquellen aufzudecken und die Einflussgrößen anzupassen, um die Empfehlung zu optimieren.

Aufbau der Validierungsversuche: 4 Varianten wurden in 4-facher Wiederholung als randomisierte Blockanlage mit 3 x 5 m großen Parzellen angelegt: 1. Kontrolle (unbehandelt), 2. Regionaler Standard (nach Beraterempfehlung), 3. DSS 1 (sichere Behandlung), 4. DSS 2 (gewagte Behandlung). Letztere wurde aus wissenschaftlichen Zwecken ergänzt. Alle Versuche wurden nur einmal behandelt. Zu verschiedenen Terminen wurden Erhebungen bzw. Behandlungen durchgeführt: Termin 1: Bestimmung der Verunkrautung der Parzelle (Unkrautart, -größe, -dichte), Eingabe ins IPMwise, Auswahl eines Vorschlags, Termin 2: Unkrautbekämpfung nach dem ausgewählten Vorschlag, Termin 3: erste Wirkungsbonitur ca. 4 Wochen nach der Applikation, Termin 4: Abschlussbonitur kurz vor der Ernte.

Die Wirkung der Varianten wurde im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante geschätzt. Die erste Bonitur nach der Behandlung war für den Wirkungsvergleich der Varianten entscheidend, wobei der erzielte Wirkungsgrad (%) der Behandlungsvorschläge von IPMwise mit dem des regionalen Standards verglichen wurde. Bonituren kurz vor der Ernte zielten auf die Bewertung der Restverunkrautung und den Neuauflauf von Unkräutern ab. Neben der Gesamtverunkrautung wurden auch einzelne Unkrautarten bewertet. Es erfolgte zusätzlich ein Vergleich der ermittelten Wirkungsgrade mit den Wirkungszielen des Programms. Die Intensität der Herbizidbehandlung in den Versuchen wurde durch den Behandlungsindex (BI) bestimmt, der im Rahmen des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) als quantitatives Maß hierzu dient. Der Behandlungsindex errechnet sich aus den tatsächlich aufgewendeten Mengen der Herbizide in Relation zur zugelassenen Aufwandmenge (https://papa.julius-kuehn.de/). Er wurde den Wirkungsgraden der Versuche gegenübergestellt. Hieraus ergab sich auch ein logischer Zusammenhang mit den Preisen für die angewendeten Herbizide.

Ergebnisse

Im Folgenden werden die Versuchsjahre 2017 und 2018 zusammengefasst, die beide durch extreme Witterungsverläufe gekennzeichnet waren. So traten im Jahr 2017 starke und überdurchschnittlich hohe Niederschläge auf. Das Jahr 2018 war dagegen aufgrund extremer Trockenheit und Hitze die Durchführung und Auswertung einzelner Versuche erschwert. Alle Versuche wurden individuell ausgewertet, aber nicht alle konnten witterungsbedingt in die Gesamtbewertung einfließen.

In die Auswertung der Winterweizenversuche sind sowohl Frühjahrs- als auch Herbstbehandlungen (aus 2017) eingeflossen. Zusammenfassend wurde in den regionalen Standard-Varianten zur ersten Wirkungsbonitur ein mittlerer Wirkungsgrad von 93 % und ein Behandlungsindex von 1,61 bei einem mittleren Preis von rd. 39 € bestimmt. Die beiden DSS-Varianten wiesen insgesamt niedrigere Wirkungsgrade von 86 % bzw. 83 % aus (Tab. 1). Erwartungsgemäß waren die mittleren Behandlungsindices in den DSS-Varianten deutlich niedriger als in der Standard-Variante (1,14 bzw. 0,80 gegenüber 1,61). Die Kosten für die Herbizid-Behandlung in der sicheren DSS-Variante (1) lag 32 % niedriger als in der lokalen Standard-Variante, mit der gewagten DSS-Variante (2) konnten sogar 57 % niedrigere Kosten realisiert werden.

In den Maisversuchen der Jahre 2017 und 2018 traten nach regionaler Standardbehandlung mittlere Wirkungsgrade von 99 % auf. In der sicheren Variante DSS 1 wurde ein mittlerer Wirkungsgrad von 92 % ermittelt und in der gewagten Variante DSS 2 ein Wirkungsgrad von 88 % (Tab. 1). Der mittlere Behandlungsindex in den DSS-Varianten lag mit 1,19 bzw. 0,99 deutlich unter dem des regionalen Standards (1,72). Der Behandlungsindex und die mittleren Kosten korrelierten positiv. Die DSS-Varianten erzielten mittlere Kosteneinsparungen von bis zu 47 €/ha (DSS 2) bzw. 37 €/ha (DSS 1) gegenüber der regionalen Standard-Behandlung, die 85 €/ha kostete und erreichten Kosteneinsparungen von 55 % bzw. 44 %.

Tab. 2 Mittlere Wirkungen, Behandlungsindices und Preise in den Versuchen mit Winterweizen und Mais, Bonitur ca. 4 Wochen nach Applikation, DSS 1 (sicher), DSS 2 (gewagt).

Tab. 2 *Mean efficacy, treatment indices and prices in the trials with winter wheat and maize, assessment approx. 4 weeks after application, DSS 1 (safe), DSS 2 (risky).*

	Variante	Wirkung		Behandlungsindex		Preis	
2017 + 2018		**(%)**	**STAW**	**BI**	**STAW**	**€**	**STAW**
Winterweizen	Reg. Standard	93	7,63	1,61	0,62	39,38	21,73
n=11	DSS 1	86	8,97	1,14	0,77	26,68	24,47
	DSS 2	83	11,04	0,80	0,39	17,03	16,96
Mais	Reg. Standard	99	6,13	1,72	0,62	85,24	21,72
n=15	DSS 1	92	25,91	1,19	0,55	47,83	26,85
	DSS 2	88	24,93	0,99	0,57	38,47	27,65

STAW=Standardabweichung

Bei einer Gegenüberstellung des Wirkungsgrads und des Behandlungsindexes der Einzelversuche zeigt sich deutlich, dass in beiden Kulturen ein hoher Wirkungsgrad auch mit einem niedrigen Behandlungsindex, d.h. mit reduzierten Aufwandmengen erreicht werden kann (Abb. 3). Im Mais wurden insgesamt 30 DSS-Vorschläge (sicher und gewagt) für die Vergleiche mit der regionalen Standard-Variante getestet. In 15 Fällen wurde ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von über 90 % erreicht, in 9 Fällen sogar von über 95 %. In einzelnen Mais- und Winterweizenversuchen wurden mit niedrigen Behandlungsindices jedoch auch Wirkungsgrade unter 80 % ermittelt (Abb. 2). Dies galt insbesondere für die gewagte Variante DSS 2. Im Mais traten vereinzelt sehr schwache Wirkungsgrade in den DSS-Varianten 1 und 2 (36 % und 44 % bzw. 48 %) auf. Hier waren die Aufwandmengen der Herbizide sehr niedrig berechnet.

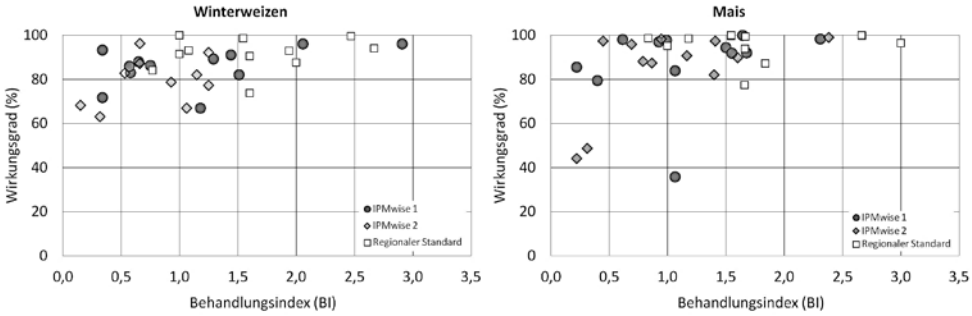


Abb. 2 Wirkungsgrad und Behandlungsindex von zwei IPMwise-Varianten im Vergleich zur regionalen Standardbehandlung (Regionaler Standard) in Winterweizen und Mais, 2017 und 2018, IPM 1 (DSS 1, sicher), IPM 2 (DSS 2, gewagt).

Fig. 2 *Efficacy (Wirkungsgrad) and frequency treatment index (Behandlungsindex) of two IPMwise variants compared to regional standard treatment (Regional Standard) in winter wheat and maize, 2017 and 2018, IPM 1 (DSS 1, sicher), IPM 2 (DSS 2, risky).*

Da die Behandlungsvorschläge des DSS-Programms IPMwise auf der Verunkrautung der Fläche basieren, ist der Behandlungsindex nicht grundsätzlich niedriger als in der regionalen Standardbehandlung. Dies zeigte sich deutlich an einem Winterweizenversuch, in dem im regionalen Standard Herbizide mit einem Behandlungsindex von 2,67 und in der sicheren DSS-Variante 1 mit 2,91 ausgebracht wurden (Abb. 2, Winterweizen).

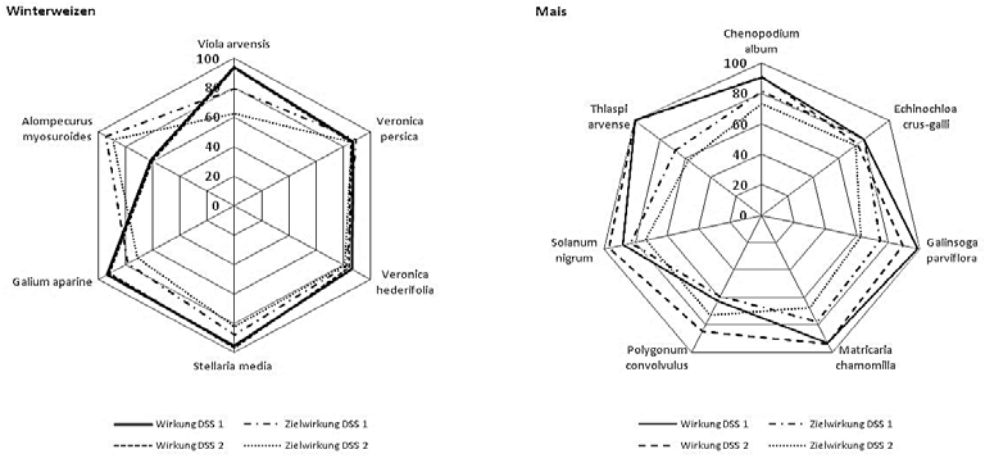


Abb. 3 Ermittelte Wirkungsgrade und Wirkungsziele von zwei IPMwise-Varianten (DSS 1 und 2) auf ausgewählte Unkräuter in Winterweizen und Mais, Mittelwerte aller Versuche in 2017 und 2018, DSS 1 (sicher), DSS 2 (gewagt).

Fig. 3 *Evaluated efficacies and efficacy targets of two IPMwise variants (DSS 1 and 2) on selected weeds in winter wheat and maize, mean values of all trials in 2017 and 2018, DSS 1 (safe), DSS 2 (risky).*

Neben den Wirkungen auf die Verunkrautung wurde auch geprüft, ob die vom IPMwise berechneten Wirkungsziele für einzelne Unkrautarten erreicht wurden. Am Beispiel ausgewählter typischer Unkräuter in Winterweizen und Mais zeigte sich, dass die Wirkungsziele durchweg erreicht (Abb. 3) und in vielen Fällen sogar weit übertroffen wurden. Die Ausnahme bildet der Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Winterweizen, der als sensitiver Typ ins Programm eingegeben wurde, an vielen Versuchsstandorten aber Anzeichen von Resistenzen aufwies.

Diskussion

Das Entscheidungshilfemodell DSS-IWM soll mit dem aktuellen Prototypen IPMwise Vorschläge zur Unkrautbekämpfung nach den Grundsätzen des Integrierten Pflanzenschutzes (Richtlinie 2009/128/EG Anhang III) liefern. Eine Reduktion der Aufwandmengen von Herbiziden steht dabei im Fokus.

Die Validierungsversuche zum Programm wurden in den Kulturen Winterweizen und Mais an verschiedenen Standorten in Deutschland durchgeführt. Die berechneten Bekämpfungsvorschläge bzw. die Dosierungen der Herbizide richten sich nach der Verunkrautung auf Basis von Dosis-Wirkungsbeziehungen von Herbiziden und Unkräutern sowie der Zielwirksamkeit für jede Unkrautart (RYDAHL et al., 2019). Dabei hatte der Anwender die Möglichkeit, aus verschiedenen Vorschlägen zur Bekämpfung der spezifischen Verunkrautung seiner Fläche die für ihn passende Alternative auszuwählen. Das Programm bietet viele Möglichkeiten, zusätzliche Informationen zur Unterstützung der Entscheidung zu erhalten (BÜCKMANN und VERSCHWELE, 2019). Grundsätzlich wird nach der Behandlung eine geringe Restverunkrautung, abhängig von der Unkrautart, toleriert. Aus Vorläuferprogrammen wie DSSHerbicide zeigt sich, dass der Ertrag dadurch nicht beeinträchtigt wird (SØNDERSKOV et al., 2015).

Die vorgestellten Ergebnisse der 1. Wirkungsbonitur, ca. 4 Wochen nach der Applikation, belegen die höchsten Wirkungsgrade in den regionalen Standard-Varianten. Dies gilt sowohl für Winterweizen als auch für Mais. In den Winterweizenversuchen waren die mittleren Wirkungsgrade der beiden DSS-Varianten, sicher und gewagt, um 7 bis 10 %-Punkte reduziert. Jedoch zeigten sich in einigen Versuchen auch Wirkungsgrade, die deutlich über 90 % lagen. Manche DSS-Vorschläge zur Bekämpfung der Verunkrautung erschienen ungewöhnlich und werden üblicherweise nicht in die Empfehlungen der amtlichen Pflanzenschutzberatung aufgenommen (BEHR, 2017). Trotz allem

waren die Wirkungen dieser Vorschläge zufriedenstellend. Der Anwender wird dazu angeregt, neben ortsüblichen und bekannten Tankmischungen auch Alternativvorschläge zu berücksichtigen und damit seine Bekämpfungsmöglichkeiten zu erweitern.

Die mittleren Wirkungsgrade der Winterweizenversuche von 86 % bzw. 83 % erscheinen auf den ersten Blick unbefriedigend. Für die Herbstbehandlungen in den Versuchen mit Winterweizen ist zu berücksichtigen, dass die Wirkung in allen Varianten nach 4 Wochen aufgrund der niedrigen Temperaturen noch nicht voll entwickelt sein könnte. Eine Restverunkrautung ist wegen des zügigen Reihenschlusses gerade im Weizen für viele Unkrautarten aber tolerierbar und wirkt sich nicht ertragsmindernd aus (SØNDERSKOV et al., 2015), solange keine deutlichen Wirkungslücken gegen konkurrenzstarke Unkräuter wie *Galium aparine* u.a. auftreten. Die Abschlussbonitur kurz vor der Ernte zeigte in 90% der Versuchen und Varianten Wirkungsgrade, die sich in Richtung 99 % entwickelten (Ergebnisse nicht gezeigt).

In den Maisversuchen lagen die mittleren Wirkungsgrade in allen Varianten auf einem höheren Niveau als in den Winterweizenversuchen. Höhere Luft- und Bodentemperaturen zum Zeitpunkt der Applikation könnten sich positiv auf die Wirkung der Herbizide ausgewirkt haben. In den meisten Fällen reichte die einmalige Behandlung der Flächen aus. An manchen Standorten liefen zu einem späteren Zeitpunkt erneut Unkräuter auf, die in den Versuchen der Jahre 2017 und 2018 nicht bekämpft wurden. Das IPMwise eignet sich aber dazu, eine zweite Unkrautwelle ebenso zu behandeln. Es erfordert dann eine erneute Bestimmung und Eingabe der Verunkrautung ins Programm. Interne Tests belegen einen guten Erfolg einer zweiten Spritzung bei insgesamt niedrigen Behandlungsindices (Ergebnisse nicht gezeigt). Zukünftig wird IPMwise eine Funktion enthalten, die eine Planung von Spritzfolgen oder Splittings in Mais ermöglicht und geeignete Vorschläge errechnet.

Besonders niedrige Wirkungsgrade, die zwischen 60 % und 70 % lagen, durchliefen einen gesonderten Check und aufgetretene Fehler des Programms wurden, sofern möglich, behoben und die Nutzungssicherheit somit erhöht. Einzelne Ergebnisse können jedoch auch immer durch inkorrekte Anwendung des Programms, der Auswahl des geeigneten Bekämpfungsvorschlags (nicht standortangepasst) oder durch Fehler bei der Anwendung der Herbizide vor Ort auftreten und sind somit nur bedingt auf die Berechnung des Programms zurückzuführen. So können z. B. Bodenherbizide ihre Wirkung bei großer Trockenheit nicht voll entfalten. Witterungsverläufe sind nicht vorhersehbar und stellten insbesondere im trockenen Versuchsjahr 2018 ein Problem dar. Zudem können Bodeneigenschaften wie ein hoher Gehalt an organischer Substanz die Wirkung von Bodenherbiziden negativ beeinflussen (NORDMEYER, 2015). Ferner bleibt auch der festgesetzte Zeitpunkt der Wirkungsbonitur zu berücksichtigen, der für einzelne Versuche (je nach Witterung und Bodeneigenschaften) möglicherweise zu früh war für eine vollständige Wirkungsentwicklung der Herbizide. Grundsätzlich sind Fehler nicht immer als solche zu bewerten und können auch bei Standardbehandlungen auftreten. Sie sind vielmehr hilfreich, um das Programm zu verbessern (VERSCHWELE und BÜCKMANN, 2019). Abgesehen von den wenigen extremen Einzelwerten zeigt sich, dass hohe Wirkungsgrade mit niedrigeren Aufwandmengen erzielt werden können. Insgesamt werden die Ergebnisse positiv bewertet. Abgesehen von wenigen extremen Einzelwerten zeigen die Versuche, dass ein sicherer Unkrautregulierungserfolg auch bei stark reduzierten Aufwandmengen möglich ist, sofern es sich um sensitive Unkräuter handelt.

Der Behandlungsindex war erwartungsgemäß in fast allen DSS-Varianten deutlich niedriger als in der lokalen Standard-Variante, in welcher sich ein mittlerer Behandlungsindex von 1,61 im Winterweizen und von 1,72 im Mais bestimmt ergab. Beide Werte liegen unterhalb des mehrjährigen Niveaus für diese Kulturen in Deutschland und verdeutlichen eine verantwortungsvolle Vorgehensweise der Anwender (https://papa.julius-kuehn.de/). Das Programm schlägt aber nicht grundsätzlich niedrige Aufwandmengen der Herbizide vor. Bei einem starken Besatz insbesondere mit konkurrenzstarken Unkräutern wie z. B. *Galium aparine* werden die Aufwandmengen nach oben angepasst, wie ein Beispiel im Winterweizen verdeutlicht.

Die Bekämpfungsvorschläge richten sich immer nach den Wirkungszielen aller Unkräuter auf der Fläche, wodurch zwangsläufig einzelne Unkrautarten überproportional stark bekämpft werden. Sollten einzelne Unkrautarten bereits Resistenzen aufweisen, wie am Bespiel von *Alopecurus myosuroides* im Winterweizen, werden die Zielwirksamkeiten, die IPMwise berechnet, nicht erreicht. Inzwischen wurde eine Funktion zum Resistenzmanagement ins IPMwise eingepflegt (RYDAHL et al., 2019), jedoch noch nicht umfangreich getestet. Mit dieser Funktion können resistenzfördernde Herbizid-Gruppen (MoA) ausgeklammert werden. Die Bekämpfungsmöglichkeiten reduzieren sich entsprechend.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Validierungsversuche haben gezeigt, dass das DSS-Programm IPMwise Entscheidungshilfen für eine verlässliche Unkrautregulierung in Winterweizen und Mais liefert. Die erzielten Wirkungsgrade sind gleich hoch oder besser als die zu erwartenden Wirkungsziele des Programms. DSS- Vorschläge sind sowohl in Bezug auf die Kosten als auch auf die Behandlungsindices besser als die Standardbehandlungen und sind damit in ökologischer und ökonomischer Hinsicht ein geeignetes Instrument zur Unkrautbekämpfung.

Das IPMwise ist einfach in der Anwendung und für den Einsatz in der Praxis geeignet. Eine Herausforderung bleibt jedoch die visuelle Bestimmung der Verunkrautung im Feld, die insbesondere auf großen Flächen zeitaufwendig ist. Hier könnte zukünftig der Einsatz digitaler Bilderkennungsprogramme einen Vorteil darstellen. Auch eine Kombination mit digitalen Farm-Management-Systemen könnte die Entscheidungshilfe verbessern und die Flächenplanung erleichtern, indem z. B. Auflagen der Herbizide leichter berücksichtigt werden können.

Durch das mittlerweile abgeschlossene Projekt DSS-IWM konnte das Programm zur Entscheidungshilfe deutlich verbessert werden.

Danksagung

Der Dank gilt den Kollegen der amtlichen Pflanzenschutzdienste in Brandenburg, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Thüringen für die Durchführung von Validierungsversuchen und die vielen Diskussionen und Anregungen zur Verbesserung des Programms.

Das Projekt wurde von der Europäischen Union im Siebten Rahmenprogramm KBBE.2013.1.4-02 finanziert: Integrated Pest Management (IPM) - ERANET Co-ordination and Support Action, Grant Agreement No.: 618110

Literatur

BÜCKMANN, H., A. VERSCHWELE, 2019: Einsparpotential für Herbizide – Die Internet-gestützte Entscheidungshilfe IPMwise zur integrierten Unkrautbekämpfung in Winterweizen und Mais – erste Erfahrungen aus der praxisnahen Anwendung. Landwirtschaft ohne Pflug LOP **3**, 26-29.

BÜCKMANN, H., O.M. BØJER, J.M. MONTULL, M. RÖHRIG, P. RYDAHL, A. TABERNER, A. VERSCHWELE, 2018: DSS-IWM: An improved European Decision Support System for Integrated Weed Management. Julius-Kühn-Archiv **458**, 205-208.

BEHR, K.-J., 2017: Persönliche Mitteilung.

HTTP://DSS-IWM.JULIUS-KUEHN.DE/

HTTPS://NAP-PFLANZENSCHUTZ.DE/

HTTPS://PAPA.JULIUS-KUEHN.DE/

JØRGENSEN, L.N., E. NOE, J.E. JENSEN, J.E. OERUM, P. RYDAHL, 2007: Decision support systems: barriers and farmer`s need for support. 2007 OEPP/EPPO, Bulletin OEPP/EPPO Bulletin **37**, 374-377.

KUDSK, P., 2008: Optimising herbicide dose: a straightforward approach to reduce the risk of side effects of herbicides. Environmentalist **28**, 49-55.

MONTULL, J.M., M. SØNDERSKOV, P. RYDAHL, A. TABERNER, 2014: Four years validation of decision support optimising herbicide dose in cereals under Spanish conditions. Crop Protection **64**, 110-114.

NORDMEYER, H., 2015: Herbicide application in precision farming based on soil organic matter. American Journal of Experimental Agriculture **8** (3), 144-151.

RICHTLINIE 2009/128/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Oktober 2009 über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden, Amtsblatt der Europäischen Union L 309/71.

RYDAHL, P., 2003: A web-based decision support system for integrated management of weeds in cereals and sugarbeet. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin **33**, 455-460.

RYDAHL, P., O.M. BØJER, J.M. MONTULL, A. TABERNER, H. BÜCKMANN, A. VERSCHWELE, 2019: IPM-solutions from a generic Decision Support System (DSS) in Germany, Spain and Denmark, Crop Protection, submitted.

SØNDERSKOV, M., R. FRITZSCHE, F. DE MOL, B. GEROWITT, S. GOLTERMANN, R. KIERZEK, R. KRAWCZYK, O.M. BØJER, P. RYDAHL, 2015: DSSHerbicide: Weed control in winter wheat with a decision support system in three South Baltic regions – Field experimental results. Crop Protection **46**, 15-23.

STREIBIG, J.C., P. KUDSK, J.E. JENSEN, 1998: A general joint action model for herbicide mixtures. Pesticide Science **53**, 21-28.

VERSCHWELE, A., K. –J. BEHR, K. GEHRING, K. HÜSGEN, E. MEINLSCHMIDT, C. TÜMMLER, 2018: Erfahrungen mit einem neuen Programm zum gezielten und reduzierten Einsatz von Herbiziden in Mais (DSS-IWM), Julius-Kühn-Archiv **458**, 186-188.

VERSCHWELE, A., H. BÜCKMANN, 2019: Gezielt und sparsam Unkräuter in Mais bekämpfen - Ein neues internetbasiertes Programm zur Herbizidauswahl vor der Praxiseinführung. Mais **2**, 68-70.

Mulchsaaten von Zuckerrüben ohne Glyphosateinsatz

Conservation tillage systems in sugarbeet without use of glyphosate

Jan Petersen[1*], Annika Knopp[1], Volker Berg[2]

[1]Technische Hochschule Bingen, Berlinstr. 109, 55411 Bingen
[2]Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz, Burgenlandstr. 7, 55543 Bad Kreuznach
*Korrespondierender Autor, petersen@th-bingen.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.036

Zusammenfassung

Mit drohenden Indikationseinschränkungen von Glyphosat im Ackerbau und dem eventuellen mittelfristigen Wegfall des Wirkstoffes stellt sich die Frage, wie und ob Mulchsaatsysteme von Sommerungen aufrechterhalten werden können. Am Beispiel von Zuckerrüben werden Ergebnisse aus drei Feldversuchsjahren präsentiert, in denen die Wechselwirkungen von Zwischenfrüchten und Bodenbearbeitungssystemen auf die Unkrautpopulationen und die Zuckerrübenetablierung aufgezeigt werden. Es wurden je nach Standort 12 bis 35 Systeme in 2 bzw. 4 Wiederholungen geprüft.

Die Ergebnisse fallen sehr unterschiedlich aus. Je nach Jahreswitterung, Bodenbearbeitungssystem, Zwischenfrucht und Herbizideinsatz kann eine Zuckerrübenmulchsaat ohne Glyphosateinsatz sehr gut funktionieren aber auch scheitern. In vielen Fällen bedeutet ein Glyphosatverzicht einen deutlich höheren Aufwand an Bodenbearbeitung und teilweise auch einen zusätzlichen Einsatz von Herbiziden.

Stichwörter: Altverunkrautung, Bodenbearbeitung, Herbizideinsatz, Zwischenfrüchte

Abstract

With the threat of restrictions on glyphosate use and the possible omission of the active substance in the medium term, the question arises as to whether and how soil conservation tillage systems of annual spring crops can be maintained. Using sugar beet, results from three years of field trials are presented in which the interactions between catch crops and soil tillage systems on weed populations and sugar beet establishment are demonstrated. Depending on the location, 12 to 35 systems were tested in 2 or 4 replications. The results are very different. Depending on the weather conditions, tillage system, catch crop and herbicide use, sugar beet seed without glyphosate can work very well, but it can also fail. In many cases, a waiver of glyphosate means a significantly higher effort for tillage and, in some cases, also an increase in the use of herbicides.

Keywords: Catch crops, herbicide use, old weed infestation, soil tillage

Einleitung

Im Zuckerrübenanbau haben reduzierte Bodenbearbeitungssysteme eine große Bedeutung. Durch den Verzicht auf den Pflug wird versucht die Kosten zu reduzieren, Erosion zu mindern und eine Verschlämmung der Bodenoberfläche zu verhindern, die den Feldaufgang der Zuckerrüben reduzieren kann. Auf ca. 55 % der Rübenanbaufläche wird aktuell auf den Pflug verzichtet. Um die Altverunkrautung zu bekämpfen, wird auf ca. der Hälfte der Mulchsaatfläche ein glyphosathaltiges Herbizid vor der Saat bzw. vor Aufgang der Zuckerrüben eingesetzt (Ross et al., 2018). Dieses ist zwar nicht in jedem Jahr auf jeder Mulchsaatfläche notwendig, jedoch sichert die potentielle Glyphosatverfügbarkeit die Mulchsaatsysteme ab. Denn wenn es nötig ist, kann Glyphosat einen oder gar mehrere Bodenbearbeitungsgänge ersetzen und die schützende Mulchschicht auf der Bodenoberfläche erhalten.

Die gesellschaftliche Akzeptanz für Glyphosat ist nicht mehr gegeben, daher hat die Agrarpolitik in Aussicht gestellt, dass die Verwendung des Herbizids stark eingeschränkt und ab 2023 gar nicht mehr verfügbar sein soll. Die Frage, die sich hieraus ergibt, ist, wie können die vielerorts für die Landwirte und die Umwelt sehr vorteilhaften Mulchsaatverfahren aufrechterhalten werden bzw. wie müssen diese modifiziert werden, damit weiterhin erfolgreich bodenschonend Zuckerrüben produziert werden können. Um dieses zu prüfen, wurden in drei Jahren in insgesamt 4 Feldversuchen in Rheinland-Pfalz verschiedene Verfahren in Kombination von Zwischenfrüchten und ackerbaulichen Maßnahmen geprüft. Untersucht wurde die Auswirkung auf die Rest- bzw.

Altverunkrautung, die Etablierung der Zuckerrüben und die Wirksamkeit der Unkrautbekämpfung in den Zuckerrüben.

Material und Methoden

An den Standorten Bingen und Wintersheim (Rheinhessen) wurden in den Jahren 2017 bis 2019 verschiedene Zwischenfrüchte nach der Vorfrucht Winterweizen Mitte August (Variante Winterroggen/Wintererbse Ende August) etabliert (Tab. 1).

In Bingen erfolgte die Zwischenfruchteinsaat auf Flächen mit langjährig praktizierter pflugloser Grundbodenbearbeitung (> 20 Jahre) und nach zweimaliger Stoppel- bzw. Grundbodenbearbeitung mit der Scheibenegge bzw. dem Schwergrubber. In Wintersheim wurden die Varianten Pflug, nicht-wendend Grubber und Direktsaat mit einem Stoppelbearbeitungsgang und einer Saatbettbereitung vor Zuckerrüben und vor der Zwischenfruchtaussaat geprüft. Der Versuch in Wintersheim wird bereits seit über 20 Jahren als Dauerbodenbearbeitungsversuch von der Landwirtschaftskammer betrieben.

Am Standort Bingen wurde auf wechselnden Schlägen eine zweifaktorielle Streifenanlage etabliert. Die Zwischenfrüchte (sieben Varianten) wurden auf 5 x 25 m großen Parzellen in 4-facher Wiederholung angelegt. Quer zur Saat der Zwischenfrüchte wurden dann im Winter/Frühjahr fünf verschiedene Managementvarianten (Tab. 2) ebenfalls in 5 m Breite angelegt. In der Folge entstanden 5 x 5 m große Parzellen und 35 verschiedene Varianten in vier Wiederholungen.

Im Spätherbst 2018 erfolgte in den Zwischenfruchtvarianten Easygreen, Ölrettich und Senf eine Behandlung mit 0,5 l/ha Select + 1,0 l/ha Radiamix, um aufgrund der schlechten Zwischenfruchtentwicklung das Ausfallgerteiden und den Ackerfuchsschwanz zu bekämpfen.

Die Bodenbearbeitung erfolgte im Winter auf leichtem Frost oder im Frühjahr unmittelbar vor der Zuckerrübensaat. Die Glyphosatbehandlung erfolgte ca. 7 Tage vor der Rübensaat. In der Variante Winterroggen/Wintererbsen wurde zum Glyphosattermin 1,0 l/ha Fusilade appliziert, um aufgelaufenen Roggen zu beseitigen.

In Wintersheim wurden im August 2018 vier Zwischenfruchtvarianten über alle drei Grundbodenbearbeitungsvarianten hinweg als zweifaktorielle Streifenanlage mit zwei Wiederholungen angelegt. Die Bodenbearbeitungsparzellen hatten eine Größe von jeweils 1 ha. Die Zwischenfrüchte wurden in Streifen von 9 m Breite quer zu den Bodenbearbeitungsvarianten gesät. Im Frühjahr wurde einheitlich in allen Varianten eine flache Saatbettbereitung durchgeführt.

Die Aussaat der Zuckerrüben erfolgte im März mit einer Saatstärke von 11 Samen je m^2, wobei in allen Varianten eine einheitliche Saatbettbereitung erfolgte. Nach Aufgang wurde die Zuckerrübendichte bestimmt.

Im Spätsommer des jeweiligen Vorjahres wurde der Aufgang der Zwischenfrüchte ausgezählt und das weitere Wachstum mit Hilfe des Deckungsgrades dokumentiert. Der Unkrautdeckungsgrad und die Unkrautdichte wurden in den Zuckerrüben im Frühjahr erfasst. Hierbei wurde nach Altverunkrautung und Neuauflauf differenziert.

Tab. 1 Zwischenfruchtvarianten an den Standorten Bingen und Wintersheim*.

Tab. 1 *Catch crops used at trial sites Bingen and Wintersheim*.*

Nr.	Zwischenfruchtmischung/Art(en))	Saatstärke kg/ha
1	Ölrettich	20
2	Beta Maxx (Sommerwicke, Felderbse, Bitterlupine, Rauhafer, Alexandrinerklee, Phacelia, Ramtillkraut)	45
3	Beta Maxx TR (Sommerwicke, Felderbse, Rauhafer, Rettich Deeptill, Alexandrinerklee´, Phacelia, Ramtillkraut, Abessinischer Senf)	35
4	Winterroggen/Wintererbse	50/50
5	Easygreen Sommer 5 (Phacelia, Ramtillkraut, Sparriger Klee)*	15
6	Gelbsenf	10
7	Rauhafer /Winterwicken	70/50

Tab. 2 Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen zum Management der Zwischenfruchtvarianten vor Zuckerrüben am Standort Bingen.

Tab. 2 *Management of catch crop before sowing of sugarbeet.*

Nr.	Variante/Behandlung
I	Schlegelmulcher im Winter + Scheibenegge im Winter
II	Schlegelmulcher im Winter + Scheibenegge im Frühjahr 2019 Schwergrubber im Frühjahr
III	Schlegelmulcher im Frühjahr + Glyphosat (1080 g/ha a.i.)
IV	Schneidwalze im Frühjahr 2019 Schlegelmulcher + Scheibenegge im Frühjahr
V	Scheibenegge im Winter

Ergebnisse

Die Versuchsjahre waren durch sehr unterschiedliche Witterungsverläufe charakterisiert. Der Herbst 2017 führte aufgrund der regelmäßigen Niederschläge zu einer guten Etablierung und schnellen Entwicklung der Zwischenfrüchte (Abb. 1). Lediglich die 14 Tage später gesäte Variante (Roggen/Erbsen) erreichte einen Deckungsgrad von nur etwa 80 %, während alle anderen Varianten 95 bis 100 % Deckungsgrad vor dem Vegetationsende erreichten.

Das Jahr 2018 hingegen führte zu einer teilweise lückigen Etablierung und einer sehr langsamen Entwicklung der Pflanzen. Dies war bedingt durch die ausgeprägte Trockenheit. Daher konnten die Zwischenfruchtvarianten einen maximalen Deckungsgrad von lediglich 50 % erreichen. Teilweise lag der Deckungsgrad unter 20 % (Ölrettich). Unter diesen trockenen Bedingungen zeigte die Phacelia eine gute Aufgangsdichte und auch das Roggen/Erbsen-Gemenge fand aufgrund der späteren Aussaat etwas günstigere Keimbedingungen vor und wies daher auch eine höhere Bestandesdichte auf. Allerdings wuchsen alle Pflanzen nachfolgend kaum und so erreichte die Phacelia beispielsweise eine Höhe von lediglich 15 bis 20 cm.

Bedingt durch die gute Zwischenfruchtentwicklung im Jahre 2017 wurden die Unkräuter nachhaltig unterdrückt. Lediglich einige Ausfallweizenpflanzen sowie Einzelexemplare anderer Arten konnten unter den Zwischenfrüchten überdauern und traten als Altverunkrautung in den Zuckerrüben 2018 auf (Abb. 2). Es zeigte sich, dass sich prinzipiell alle Varianten (Zwischenfrucht x Management) hinsichtlich der Unkrautunterdrückung eigneten und zu 0,5 bis 6 Pfl./m² Altverunkrautung (Weizen) in den Zuckerrüben führten. Die Altverunkrautung behinderte damit die Zuckerrübensaat nicht. Allerdings zeigten sich deutliche Unterschiede bei den Zwischenfrucht- und Managementvarianten. Insbesondere die Bearbeitungsvarianten im Winter führten zu vergleichbar niedrigen oder sogar noch geringeren Altverunkrautungsdichten wie der Glyphosateinsatz vor der Saat. Besonders stark unkrautreduzierend war dabei die Kombination vom Schleggelmulcher und dem Scheibeneggeneinsatz im Winter. Aber auch der alleinige Scheibeneggeneinsatz im Winter führte zu akzeptablen Ergebnissen. Deutliche höhere Unkrautdichten wies der Einsatz der Schneidwalze im Frühjahr auf. Eine Reduktion der Altverunkrautung wurde hier nicht erreicht. Diese Variante wurde daher in den Folgejahren nicht weiter geprüft. Als günstige Variante hinsichtlich der

Bekämpfung von Altverunkrautung erwies sich die Zwischenfruchtvariante Winterroggen/Wintererbsen. Wobei angemerkt werden muss, dass diese Variante mit einem Graminizid behandelt wurde und die Altverunkrautung im Wesentlichen aus Ausfallweizen bestand.

Auch für das Folgejahr zeigt die Variante Winterroggen/Wintererbse die geringste Altverunkrautung in Zuckerrüben auf (Abb. 3). Die Verunkrautung bestand auf dieser Fläche aus Ausfallweizen und Ackerfuchsschwanz und, wie bereits zuvor angemerkt, erfolgte in der Roggenvariante ein Graminizideinsatz vor der Rübensaat. Alle anderen Varianten zeigten eine Restverunkrautung, die deutlich ausgeprägter war als die nach Glyphosateinsatz vor der Rübensaat. Zusätzlich traten auch Zwischenfruchtpflanzen auf, die zu großen Anteilen den milden Winter überdauert hatten. Dies galt insbesondere für die Phacelia. Die Pflanzen konnten aber gut durch die verschiedenen Managementvarianten kontrolliert werden und erforderten keinen Glyphosateinsatz. Am effektivsten gelang die Phaceliakontrolle durch die flache Bodenbearbeitung bei leichtem Frost im Winter. Um Ertragsverluste durch die Altverunkrautung in den Zuckerrüben zu vermeiden, mussten 2019 aber dennoch zwei zusätzliche Applikationen mit jeweils der maximal zugelassen Aufwandmenge eines Graminizids durchgeführt werden.

Dass auch die langjährig differenzierte Grundbodenbearbeitung mit den Zwischenfrüchten auf die Restverunkrautung und das Überleben von Zwischenfrüchten interagieren kann, zeigt Abbildung 4. Während in der Pflugvariante die Zwischenfrüchte durch die Saatbettbereitung gut kontrolliert werden konnten, überlebten in den Mulchvarianten vor allem Phaceliapflanzen, trotz ansonsten gleicher Bearbeitung. Insbesondere in der Direktsaatvariante kamen dann noch eine Altverunkrautung bestehend vor allem aus Ackerfuchsschwanz und Ackerkratzdistel hinzu, die durch die Saatbettbereitung nicht ausreichend kontrolliert werden konnten. Altverunkrautung und überlebende Zwischenfrüchte führten zu zwei zusätzlichen Herbizidanwendungen in den Mulchsaaten.

Die Etablierung der Zuckerrübenbestände gelang bei den meisten Varianten problemlos (Abb. 5). Lediglich die Variante mit der besten Unkrautkontrolle (Winterroggen/Wintererbse + Graminizid) führte, insbesondere im Jahr 2018, zu größeren und im Jahr 2019 zu kleineren Bestandeslücken. Die Wurzelballen der Roggenpflanzen führen teilweise zu mechanischen Störungen bei der Rübensaat. Ferner konnte in beiden Versuchsjahren beobachtet werden, dass das Zuckerrübenwachstum in der Variante Winterroggen deutlich zurückblieb und die Pflanzen sichtlich unter Nährstoffmangel litten. Erträge wurden in den Versuchen aber nicht ermittelt. In 2018 fiel zudem der geringere Aufgang der Zuckerrüben in den Varianten mit der Schneidwalze auf,

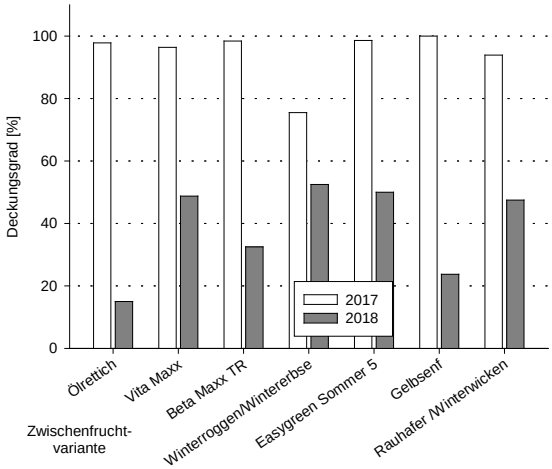


Abb. 1 Deckungsgrad (%) verschiedener Zwischenfruchtvarianten vor Zuckerrüben zu Vegetationsende in den Jahren 2017 und 2018 am Standort Bingen.

Fig. 1 *Coverage (%) of different catch crops at end of vegetation period in autumn grown before sugarbeet in years 2017 and 2018 at site Bingen.*

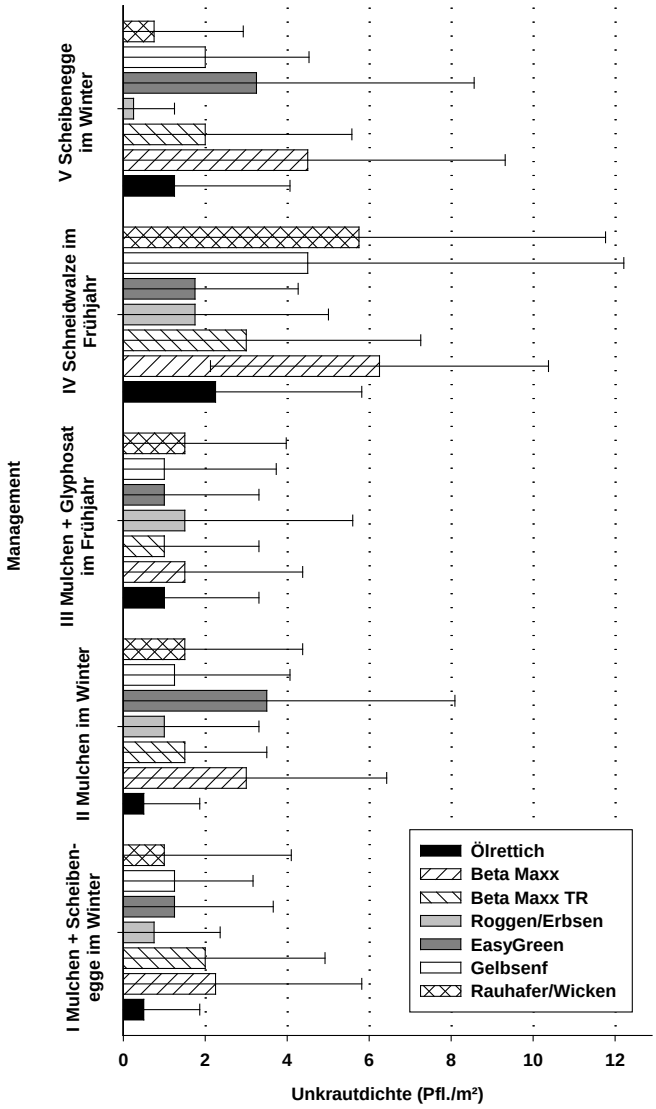


Abb. 2 Unkrautdichte der Altverunkrautung (Gesamtverunkrautung) in Zuckerrüben am 5.4.2018 in Abhängigkeit der Zwischenfruchtvariante und des Zwischenfruchtmanagements am Standort Bingen.

Fig. 2 *Weed density of "old weeds" (emerged in catch crops) in sugarbeet at 5th of April 2018 depending on catch crop species and management treatment; site Bingen.*

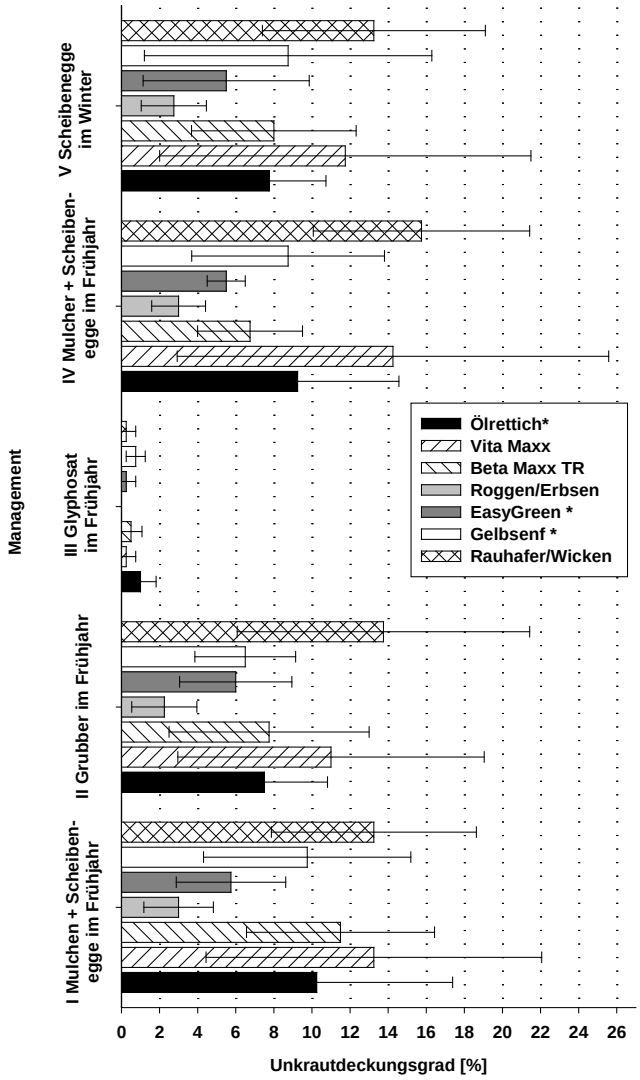


Abb. 3 Unkrautdeckungsgrad (%) der Altverunkrautung (Gesamtverunkrautung) in Zuckerrüben am 26.4.2019 in Abhängigkeit der Zwischenfruchtvariante und des Zwischenfruchtmanagements Bingen (* Graminizideinsatz im Herbst).

Fig. 3 *Weed coverage (%) of "old weeds" (emerged in catch crops) in sugarbeet at 26th of April 2019 depending on catch crop species and management treatment (*use of graminicide in autumn).*

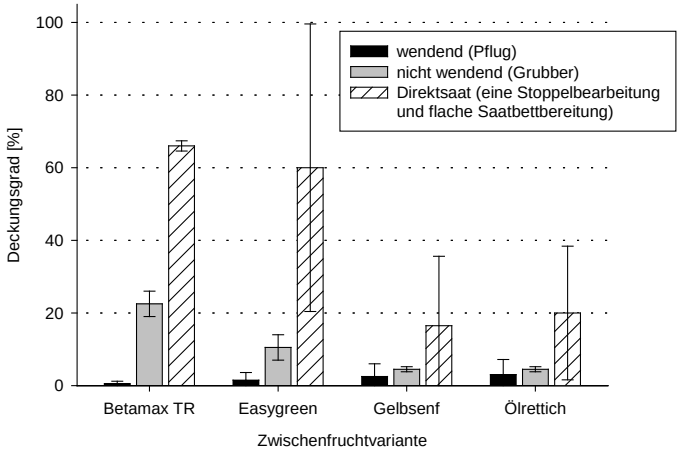


Abb. 4 Unkrautdeckungsgrad (%) der Altverunkrautung (Gesamtverunkrautung, inkl. überlebende Zwischenfruchtpflanzen) in Zuckerrüben am 6.5.2019 in Abhängigkeit der Zwischenfruchtvariante und der langjährig differenzierten Grundbodenbearbeitung am Standort Wintersheim.

Fig. 4 *Weed coverage (%) of "old weeds" (incl. surviving catch crop plants) in sugarbeet on 6th of May 2019 depending on catch crop species and long term effects of soil tillage systems, site Wintersheim.*

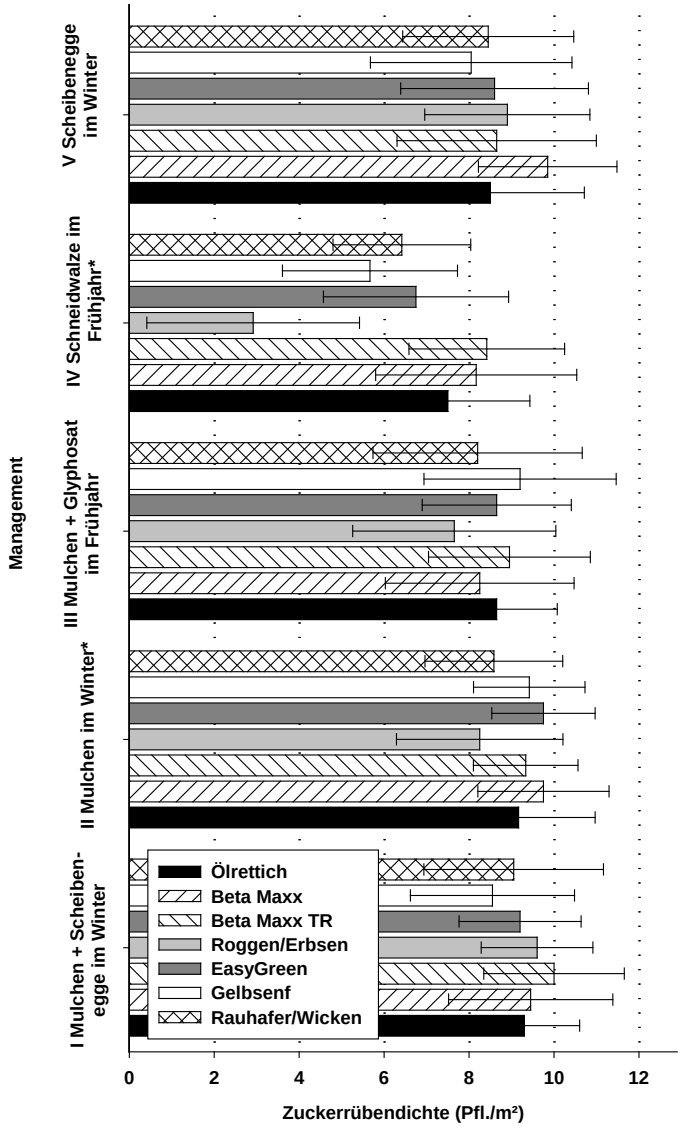


Abb. 5 Zuckerrübendichte in Abhängigkeit der Zwischenfruchtvariante und des Zwischenfruchtmanagements am Standort Bingen im Mittel der Jahre 2018 und 2019 (* Variante nur in 2018 durchgeführt).

Fig. 5 *Sugarbeet density depending on catch crop species and management treatment at site Bingen, mean of years 2018 and 2019 (*treatment only in year 2018).*

Diskussion

Die Versuchsergebnisse deuten an, dass es möglich ist, Mulchsaaten mit Zuckerrüben auch ohne Glyphosat durchzuführen. Hierfür bedarf es aber bestimmter Voraussetzungen, die nicht immer gegeben sein werden. Die eine Voraussetzung ist, dass eine Zwischenfrucht angebaut wird und sich diese auch optimal entwickeln muss. Damit kann einer höheren Altverunkrautungsdichte entgegengewirkt werden. Die zweite Voraussetzung ist, dass der Winter so verlaufen muss, dass die Zwischenfrüchte sicher absterben, oder zumindest eine Bodenbearbeitung im Winter möglich sein

muss. Es muss also entweder eine stärkere Frostperiode zum Abtöten des Zwischenfruchtbestandes vorhanden sein oder aber eine leichte Frostperiode, die eine bodenschonende Bearbeitung zulässt.

Der Anbau von winterharten Zwischenfrüchten zur nachhaltigen Unkrautregulierung ist möglich. In den Versuchen wurde dies mit Winterroggen umgesetzt. Die Bekämpfung mittels Graminizid und Bodenbearbeitung war in den Versuchen ebenfalls möglich, aber die Etablierung und das weitere Wachstum der Zuckerrüben wurden dadurch beeinträchtigt. Daher können winterharte Zwischenfrüchten nicht für das System empfohlen werden. In der Konsequenz bedeutet dies, dass zukünftig eine Mulchsaat von Zuckerrüben zu einem gewissen Risiko wird, wenn die beschrieben Voraussetzungen nicht eintreten. Hinzu kommt, dass in manchen trockenen Regionen (Mitteldeutschland, Franken, Rheinhessen) der Anbau einer Zwischenfrucht das Risiko birgt, dass der Wasserverbrauch der Zwischenfrucht zu Lasten der Zuckerrübenerträge geht. Dies gilt vor allem dann, wenn der Winterniederschlag deutlich geringer ausfällt als die Wasserspeicherfähigkeit der Böden ist. In diesen Regionen werden Strohmulchsaaten häufig präferiert. Ob diese Verfahren ohne Glyphosateinsatz noch umsetzbar sind, bleibt fraglich. Die Versuchsergebnisse deuten an, dass bei geringem Zwischenfruchtaufwuchs insbesondere Ausfallgetreide und Ungräser trotz mehrerer Bodenbearbeitungsgänge nicht ausreichend kontrolliert werden können und einen (mehrfachen) Graminizideinsatz bedingen können. Die Alternative wäre in entsprechenden Situationen, die Fläche im Spätherbst oder Frühjahr vor der Zuckerrübensaat zu pflügen. Die Vorteile der Mulchsaat sind dann allerdings nicht mehr gegeben.

In der Konsequenz bleibt festzuhalten, dass, wenn die landwirtschaftliche Praxis bei gegenwärtigem Stand der Verfahrenstechniken nach einem Glyphosatverbot weiterhin Zuckerrüben als Mulchsaaten etablieren möchte, es zu mehr Bodenbearbeitungsgängen und zu zusätzlichen Herbizideinsätzen kommen könnte.

Danksagung

Das Projekt wurde durch die Rhein-Pfalz Wohnen GmbH/EGRP-Entwicklungsgesellschaft Rhein-Pfalz GmbH u. Co KG gefördert. Wir bedanken uns bei den technischen Mitarbeitern der Landwirtschaftskammer und der TH Bingen und dem Landwirt in Wintersheim für die gewährte Unterstützung bzw. Mitarbeit im Projekt.

Literatur

ROSS, C., N. NAUSE, N. STOCKFISCH, 2018: Bodenschutz und reduzierter Herbizideinsatz. dzz **54**(4), 30-31.

Erfahrungen mit nichtchemischen Unkrautbekämpfungsverfahren in den Demonstrationsbetrieben integrierter Pflanzenschutz

Practical experiences with nonchemical methods of weed control gathered in the farm network "Demonstration farms for integrated pest management"

Madeleine Paap*, Jan Helbig, Annett Gummert, Hella Kehlenbeck

Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, Germany
*Korrespondierende Autorin, madeleine.paap@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.037

Zusammenfassung

Um die Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes (IPS) in der Praxis zu fördern, vorbeugende und alternative Verfahren zu demonstrieren und die Pflanzenschutzmittelanwendungen auf das notwendige Maß zu beschränken, hat das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft das Modellvorhaben "Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz" initiiert. Von 2011 bis 2018 haben sich deutschlandweit 67 Praxisbetriebe aus den Produktionsbereichen Ackerbau, Apfelanbau, Feldgemüsebau, Hopfenanbau und Weinbau jeweils für fünf Jahre engagiert, um den IPS auf ihren Flächen und Anlagen zu optimieren. Unter anderem wurden verschiedene nichtchemische Verfahren zur Unkrautbekämpfung erprobt. Grundsätzlich erfolgten die Unkrautbekämpfungsmaßnahmen in den Demonstrationsbetrieben nach Befallsermittlungen und entsprechend des standortspezifischen Unkrautbesatzes. Die erprobten nichtchemischen Verfahren führten meist zu zufriedenstellenden Bekämpfungserfolgen, waren jedoch oft mit hohen zeitlichen und finanziellen Aufwendungen verbunden und witterungsanfällig. Die Vorteile und Grenzen bei der Anwendung der einzelnen Verfahren werden erörtert. Weitere Informationen: https://demo-ips.julius-kuehn.de/

Stichwörter: Hopfenputzen, IPS, mechanische Unkrautbekämpfung, Unterstockbearbeitung

Abstract

The model project "Demonstration farms for integrated pest management" lasted from 2011 to 2018 within total 67 participating farms specialised in arable farming, viticulture and the cultivation of apple, hops and field vegetables. Its intention was to support the implementation of integrated pest management (IPM) as well as to demonstrate preventive and alternative pest control measures to farmers, advisers and the public and to limit pesticide use to the necessary minimum. During the five years of participation, the farmers were committed to optimise their plant protection practices. Weed control measures in principle based on weed monitoring and the local weed pressure. The farmers tested different nonchemical weed control measures, which generally were effective, but demanded great efforts in terms of time and investment. Furthermore, the practical feasibility of most of these weed control measures was highly dependent on local weather conditions. This paper refers to the experiences, benefits and limits of the different weed control measures observed in the demonstration farm network.

Keywords: Integrated pest management, mechanical weed control, nonchemical control measures

Einleitung

Der integrierte Pflanzenschutz (IPS) ist seit 1987 im Pflanzenschutzgesetz Deutschlands verankert und seit 2009 mit der EU-Pflanzenschutzrahmenrichtlinie 2009/128/EG auch in der Europäischen Union Maßstab des Handelns im Pflanzenschutz. Mit dem Modell- und Demonstrationsvorhaben „Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz" des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), das im Jahr 2011 startete, wurde ein Netzwerk von Betrieben eingerichtet, welches erstmalig Aussagen über die Möglichkeiten und Grenzen des IPS unter Praxisbedingungen erlaubt. Eingebettet ist das Projekt in die Maßnahmen des „Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln". Ziel des Modellvorhabens war es, die Umsetzung des IPS in der Praxis zu fördern, vorbeugende und alternative Verfahren zu demonstrieren und die Pflanzenschutzmittelanwendungen auf das notwendige Maß zu beschränken. Die Betriebe verschiedener Produktionsbereiche wurden vor Ort intensiv von Projektbetreuern beraten, welche regelmäßig Befallskontrollen durchführten. Die Datenauswertung wurde im JKI realisiert, sie bezieht eine Bandbreite von Parametern zur

Bewertung der Umsetzung des IPS in den Betrieben ein, die Ergebnisse zu mechanischen Unkrautbekämpfungsverfahren werden hier vorgestellt.

Material und Methoden

Am Modellvorhaben beteiligten sich von 2011 bis 2018 deutschlandweit 67 Betriebe aus den Produktionsbereichen Ackerbau (27), Apfelanbau (13), Weinbau (12), Feldgemüsebau (10) und Hopfenanbau (5) für jeweils 5 Jahre. Die Erfahrungen mit nichtchemischen und vorbeugenden Maßnahmen, welche von den Betrieben demonstriert wurden, konnten auf Grundlage von Interviewbefragungen und Projektberichten deskriptiv erfasst werden. Darüber hinaus wurde ein Großteil der Verfahren hinsichtlich ihrer Praktikabilität, Effektivität und Effizienz subjektiv mit Noten von 0 (ungenügend) bis 9 (sehr gut) bewertet. Die Einschätzung wurde durch die Betriebe und zum Teil durch die sie begleitenden Projektbetreuer getroffen. Die Bewertung der Praktikabilität erfolgte hinsichtlich der technischen Umsetzbarkeit der jeweiligen Maßnahme. Die Effektivität wurde im Sinne der „Wirksamkeit" für den Grad der Zielerreichung einer Maßnahme und die Effizienz als Verhältnis zwischen Nutzen und Aufwand einer Maßnahme bewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Ackerbau

In den am Projekt teilnehmenden Betrieben im Ackerbau wurden, je nach betrieblicher Ausstattung und Umweltbedingungen, verschiedene, zumeist bewährte, Verfahren der nichtchemischen Unkrautbekämpfung demonstriert. In allen Demonstrationsbetrieben wurde standardmäßig eine mechanische Stoppelbearbeitung mit Scheibenegge oder Grubber durchgeführt. Wurden weitere mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen notwendig, spielte dabei der optimale Zeitpunkt (BBCH der Unkräuter, Bodenfeuchte, Witterung) eine entscheidende Rolle. Oft mussten die Arbeitsgänge nach 2-3 Wochen wiederholt werden, da der Effekt einer einmaligen Maßnahme nicht ausreichend war. Bei Auftreten von Problemunkräutern wurde das Intervall zwischen zwei Arbeitsgängen entsprechend verkürzt (Wilhelm, 2011). Neben der Bekämpfung der Unkräuter hatte die mehrmalige mechanische Unkrautbekämpfung vor der Saat eine positive Wirkung auf die Bodenstruktur (Saatbett) und auf die Einarbeitung der Ernterückstände der Vorfrucht. Gute Erfahrungen wurden mit dem mehrmaligen Einsatz des Strohstriegels kombiniert mit einer abschließenden Herbizidmaßnahme in einzelnen Betrieben gesammelt, die auch problematische Ackerfuchsschwanzstandorte bewirtschafteten, sowie mit dem Einsatz der Prismenwalze nach Winterraps mit dem Ziel des Schotenaufbruchs und der daraus resultierenden höheren Keimrate des Ausfallrapses. Als limitierende Faktoren sind dagegen die Witterung (zu feucht: schlechte Wirkung, zu trocken: strapazierter Wasserhaushalt), die Bodenart, die Schlagkraft der Technik und die Vorfrucht (Winterraps) zu nennen. Dieses weite Spektrum der Einflussfaktoren führte zu sehr unterschiedlichen Einschätzungen der Landwirte hinsichtlich Praktikabilität, Effektivität und Effizienz des Verfahrens (Abb. 1). In mehreren Betrieben und in Jahren, die diese Maßnahmen begünstigen, konnte durch die mehrmalige Bodenbearbeitung vor der Saat der Einsatz von nicht-selektiven Herbiziden eingespart, jedoch nicht komplett auf den Einsatz von Herbiziden verzichtet werden. Einige Betriebe haben die mehrfache mechanische Bodenbearbeitung vor der Saat im Laufe des Projektes in ihrem Betriebsablauf stark ausgebaut. In Betrieben, deren technische Ausstattung dies hergab, wurde der nicht mehr zum allgemeinen Standard gehörende Einsatz des Pfluges mit unterschiedlichem Erfolg demonstriert. Die wichtigsten Einflussfaktoren auf den Erfolg dieses Verfahrens waren hier die Witterung, der Standort und die zeitliche Auslastung im Betrieb. Die mechanische Stoppelbearbeitung im Mais, kombiniert mit verschiedenen Geräten zum Zerkleinern der Maisstoppel wurde von den Landwirten als gute Maßnahme im Hinblick auf die zusätzliche Bekämpfung des Maiszünslers bewertet. Das Mulchen der Feldraine zur Unter-drückung einwandernder Ungräser war in den Demonstrationsbetrieben eine Standardmaßnahme.

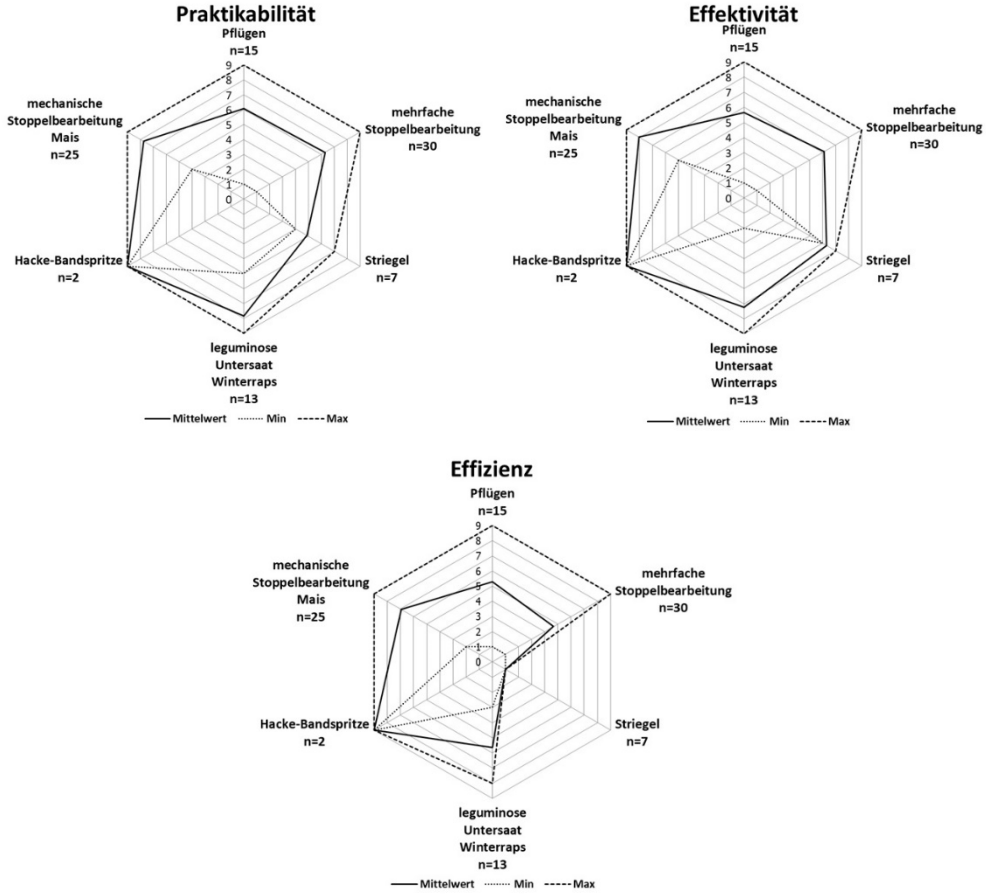


Abb. 1 Bewertung der Praktikabilität, Effektivität und Effizienz der nichtchemischen und vorbeugenden Pflanzenschutzmaßnahmen im Ackerbau im Projektzeitraum 2012-2018 durch die Betriebsleiter, subjektive Bewertung mit Noten von 0 (ungenügend) bis 9 (hervorragend), n = Anzahl Bewertungen, Min = schlechteste Bewertung, Max = beste Bewertung.

Fig. 1 *Evaluating of practicability, effectiveness and efficiency of non-chemical and preventive phytosanitary measures in arable farming in the project period 2012-2018 by the farm manager, subjective evaluation with grades from 0 (insufficient) to 9 (excellent), n = number of evaluations, Min = worst evaluation, Max = best evaluation, Mittelwert = average.*

Die mechanische Unkrautbekämpfung im Bestand mit dem Striegel wurde in den Kulturen Winterweizen, Wintergerste und teilweise in Winterraps mit unterschiedlichem Erfolg durchgeführt. In einzelnen Betrieben und Jahren konnte durch das dreimalige Striegeln im Wintergetreide eine Herbizidmaßnahme eingespart werden, in anderen Betrieben und Jahren gelang dies nicht. Das Einsparungspotential bei der Anwendung von Herbiziden durch das Striegeln im Winterraps wurde durch die durchführenden Betriebe auf bis zu 75 % geschätzt. Limitierende Faktoren waren hier die Bodenart (Schüttfähigkeit), die Bodenfeuchte, die Witterung, der Anteil perennierender Unkräuter und die Schlagkraft der vorhandenen Technik. Auch hier gehen die unterschiedliche Ausstattung der Betriebe und die Jahreseffekte in ein sehr breites Bewertungsspektrum hinsichtlich der Praktikabilität, Effektivität und Effizienz dieser Maßnahme ein. Sollte dieses Instrument des integrierten Pflanzenbaus breitere Anwendung finden, sind schlagkräftigere Lösungen notwendig. Im Winterraps wurden erste, sehr gute Erfahrungen mit einer Hacke, kombiniert mit einer

Bandspritze gesammelt. Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit, in Reihenkulturen 60 % der herbiziden Anwendungen einzusparen. Wenn es in der Breite Anwendung finden soll, sind Untersuchungen zur agronomischen (Reihenabstände, Einzelkornsaat, Aussaatstärken, Düngung) und technischen Optimierung (Flächenleistung, Strohreste) nötig. Mittlerweile werden auch von der Industrie Lösungen zur Kombination Hacke-Bandspritze bereitgestellt. Als pflanzenbauliche Maßnahme im Winterraps wurde die leguminose Untersaat demonstriert. Als erosionsmindernde Maßnahme entwickelt, zeigten sich Effekte zur Minderung des Befallsdruckes der Herbstschädlinge und der Unterdrückung der Begleitflora (CADOUX et al., 2015). Friert die Untersaat ab, kann durch den Bestandesschluss im Herbst eine Herbizidmaßnahme eingespart werden, ansonsten muss diese Behandlung im Frühjahr erfolgen. Der Erfolg dieser Maßnahme wird vom Saatbett, von der Wasserverfügbarkeit im Herbst und der Verträglichkeit der Untersaat gegenüber den Vorsaatherbiziden beeinflusst.

Möhrenanbau

Wegen der langen Keimphase und der langsamen Jugendentwicklung der Möhrenkultur spielt das Unkrautmanagement zum Schutz der konkurrenzschwachen Möhren eine wichtige Rolle. Herbizide Vor- und Nachauflaufbehandlungen (BBCH 12) wurden von den Demonstrationsbetrieben als effektiv und bewährt eingeschätzt. Wohingegen mechanische Verfahren während früher Entwicklungsstadien als ökonomisch nicht sinnvoll bewertet wurden. Ein Vergleich zweier Herbizidstrategien eines Demonstrationsbetriebes zeigte, dass das Weglassen der Nachauflaufbehandlung die spätere Unkrautkontrolle mit Herbiziden fast unmöglich machte und der Pilz- sowie Möhrenfliegen- und Erdraupenbefall durch den Unkrautbewuchs begünstigt wurden. Herbizidbehandlungen vor der Samenbildung der Unkräuter können längerfristig zusätzliche Kosten vermeiden. In den Projektjahren 2016 und 2017 wurde die maschinelle Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen u. a. mit einem Duo-Parallelogramm (2016) in den Möhrenbetrieben demonstriert. Die Herbizidstrategie konnte durch die mechanische Unkrauthacke ergänzt werden. Zusätzliche Zeit- und Kostenaufwendungen mussten jedoch in Kauf genommen werden. In den Jahren 2015 und 2016 wurden die mechanische Unkrautbekämpfung und die Herbizidstrategie miteinander verglichen. Die Herbizidbehandlungen führten zu Blattaufhellungen und Wachstumsdepressionen. Nach 3 Wochen waren jedoch keine Entwicklungsunterschiede zwischen den Varianten mehr sichtbar, und die Bekämpfungserfolge waren gleich gut. Auf der gehackten Fläche wurde zudem ein sehr starker Nützlingsbesatz mit Florfliegen- und Marienkäferlarven beobachtet. Zudem kann das mechanische Hacken den Möhrenfliegenbefall, d. h. den Larvenbesatz der Möhrenfliege im Boden, reduzieren. Der Einsatz der Unkrauthacke war insbesondere für Möhrenbetriebe mit zusätzlichem Biomöhren-Produktionszweig leistbar. Die dabei nicht erfassten Unkräuter mussten nachträglich in Ermangelung von Alternativen mittels Handhacke reguliert werden.

Kohlanbau

Das mechanische Unkrauthacken im Kohlanbau, insbesondere nach der Pflanzung, wird schon seit Jahrzehnten in den Betrieben in Dithmarschen erfolgreich umgesetzt. Im Lagerkohl wurde nach einer Vorauflaufbehandlung mit Herbiziden standardmäßig ein- bis zweimal maschinell gehackt. Die Praktikabilität und Effizienz des mechanischen Hackens war generell jedoch stark witterungsabhängig. Bei nasser Witterung und bei einem hohen Wassergehalt im Boden waren die Flächen schlecht befahrbar, sodass die Schlagkraft abnahm. Außerdem konnten größere Unkräuter zum Teil wieder anwachsen. Die Demonstrationsbetriebe im Rheinland erprobten zur Einsparung der Handarbeiten im Spitzkohl eine Reihenhacke mit dem Kameralenksystem Row-Guard. Bei günstigen Witterungsbedingungen reichten die regelmäßigen Hackmaßnahmen und die Nebenwirkungen von Kalkstickstoff zur Unkrautkontrolle aus. Dieses Verfahren ist im Vergleich zur Herbizidstrategie jedoch deutlich teurer und witterungsanfälliger. Auch das Unkrautstriegeln nach der Kohlpflanzung wurde in einem Demonstrationsbetrieb erprobt. Diese Methode ist noch stärker,

als das zuvor beschriebene Unkrauthacken, von der Witterung abhängig. Der Erfolg einer Striegelmaßnahme hängt desweiteren vom Einsatzzeitpunkt, der Einstellung und der Fahrweise des Striegels ab. Es hat sich gezeigt, dass der Einsatz des Striegels spätestens im Keimblattstadium der Unkräuter erfolgen sollte, denn weiter entwickelte Unkräuter konnten sich nach dem Striegeln teilweise regenerieren. Weiterhin sollten die Weißkohljungpflanzen zum Zeitpunkt der Striegelmaßnahme ausreichend angewachsen sein, um Pflanzverluste zu vermeiden. Nach ausgiebigen Niederschlägen oder bei fortgeschrittenem Entwicklungsstand des Weißkohls war der Boden anschließend zu nass bzw. der Weißkohlbestand zu dicht, um eine wirkungsvolle Striegelmaßnahme durchzuführen. Unter günstigen Bedingungen kann eine Striegelmaßnahme dennoch eine interessante Alternative zu Herbizidmaßnahmen sein. Unabhängig von den mechanischen Verfahren mussten, je nach Reihenschluss, die Unkräuter in den Reihen mittels Handhacke reguliert werden. Der damit verbundene Zeitaufwand war kostenintensiv, stellte in Dithmarschen jedoch kein Problem dar. Durch die Hack- und Jätarbeiten konnten die Arbeitskräfte zwischen den Terminen der Kohlpflanzung und -ernte weiter auf den Betrieben beschäftigt werden.

Weinbau

Bei der Unterstockbearbeitung konnten die Demonstrationsbetriebe für Weinbau, welche in Baden, Rheinhessen, Nahe, Pfalz und im Rheingau lagen, sehr viele Erfahrungen sammeln. Alle am Projekt teilnehmenden Weingüter setzten mechanische Verfahren zur Unterstockbearbeitung in ihren Weinanlagen ein, um durch die mechanische Bodenbearbeitung unter den Rebstöcken Unkräuter zu beseitigen. Der Herbizideinsatz konnte durch diese Maßnahmen vermindert oder vermieden werden. Die Betriebe nutzten u. a. Scheibenflug, Rollhacke und Flachschar. Generell nahmen jedoch die Bodenverhältnisse, die Ausrichtung der Weinberge und der jährliche Unkrautdruck maßgeblich Einfluss auf deren Praktikabilität. Witterungsbedingungen wie nasse oder auch zu trockene Böden senkten die Effektivität der mechanischen Verfahren ab. In trockenen Sommern wie im Projektjahr 2018 zeigte sich, dass durch das Aufbrechen des Bodens, durch den frühzeitigen Einsatz von Flachschar oder auch Scheibenegge, das restliche Jahr über problemlos mit der Rollhacke gearbeitet werden konnte. Die in den Betrieben erprobten Hackkombinationen aus Rollhacke, Fingerhacke und Walze (Abb. 2a) zeigten, dass bei starker Bodentrockenheit die Rollhacke nur für eine Teilbewegung des Bodens sorgte, während die Fingerhacke an der Bodenoberfläche kratzte. Die Walze fasste ganz in den trockenen Boden und störte zumindest das Unkrautwachstum, das Wurzelsystem blieb erhalten. Unter trockenen Bedingungen erbrachte der Krümelteller mit Bürste noch die besten Ergebnisse. Das Gerät arbeitete dicht am Unterstock. Dabei wurde der Boden gekrümelt, aber die Reihen lediglich dicht angefahren (Abb. 2b). Starke Niederschläge und andauernd hohe Bodenfeuchtigkeit, wie in den Jahren 2016 und 2017, schränkten den Einsatz der mechanischen Geräte ein. Teilweise wurde dann auf Alternativen der mechanischen Bodenpflege (Scheibenpflug, Stockbürsten) zurückgegriffen. Vorteilhaft erwies sich die Kombination der einseitig arbeitenden Rollhacke mit weiteren Maschinenarbeiten wie dem Mulchen, dem Laubschnitt und der Bodenbearbeitung. Der Einsatz der beidseitig arbeitenden Rollhacke erforderte dagegen mehr Aufmerksamkeit durch den Fahrer und war schlecht mit anderen Arbeitsgeräten kombinierbar.

Im Steil- und Seitenhang gestaltete sich die Unterstockbearbeitung als sehr schwierig. Ein Allroundgerät für Steillagen, für die Berg- und Talfahrt, und für Seitenhanglagen gibt es bisher noch nicht. Geräte, die z. B. mit einem Taster angesteuert werden, ließen in einer Fahrtrichtung entweder zu viel Unkraut stehen oder beschädigten den Stock. Mit Hilfe der Projektfinanzierung entwickelte ein Betrieb im Jahr 2017 in Zusammenarbeit mit einer ortsansässigen Firma für Landmaschinenbau ein Spezialgerät für einen Überzeilenrahmen, montiert auf einem Drehkranz, in den sowohl Rollhacken, als auch Stockbürsten eingebaut werden konnten (Abb. 2c). Dieses Überzeilengerät schnitt Unkräuter gleichzeitig links und rechts des Rebstocks ab, so wurden Leerfahrten vermieden. Erfahrungsgemäß sollten die Anlagen jedoch nicht jünger als 10 Jahre sein, denn Standfestigkeit und eine feste Verdrahtung waren Voraussetzungen für eine schonende Bearbeitung. Die Flächen

konnten so in 2018 ohne Herbizid bearbeitet werden. Generell waren die Möglichkeiten der mechanischen Unkrautbekämpfung im Steillagen-Weinbau stark eingeschränkt, teilweise sogar unmöglich, und die Bearbeitung mit der Hacke oder Sense war wirtschaftlich nicht tragbar - unter der Voraussetzung, dass hierfür überhaupt genügend Arbeitskräfte verfügbar waren.

a)  b)  c) 

Abb. 2 Mechanische Unterstockbearbeitungsgeräte a) Hackkombination mit Fingerhacke, Rollhacke und Walze, b) Unterstockbürste, c) Überzeilengerät.

Fig. 2 *Mechanical processing under vines a) machine combination different hoeing tools, b) mowing machine, c) prototype of a combination machine for double-sited hoeing.*

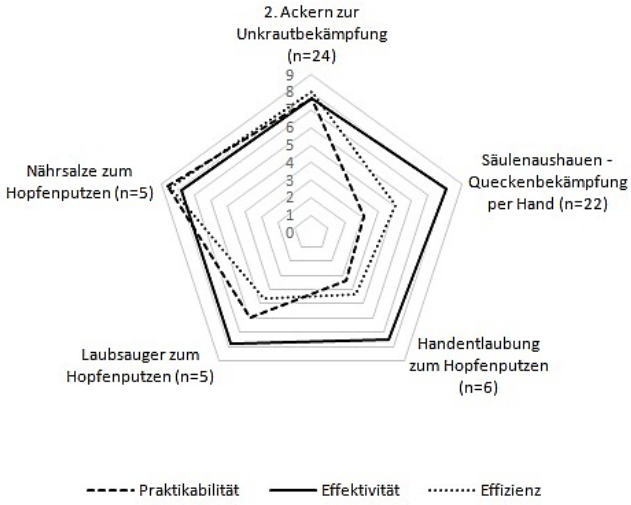
Ein weiterer Demonstrationsbetrieb verzichtete schon seit vielen Jahren auf Herbizidanwendungen, da das eigens gebaute Gerät zur Unterstockbearbeitung, eine Kombination aus unterschiedlich großen, aneinander gereihten Scheibenpflügen im Zwischenachsbereich mit verstellbaren Neigungswinkeln, optimal an die Bodenverhältnisse der Anlagen angepasst werden konnte. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht und auf Grund des hohen Arbeits- und Kostenaufwandes ist die herbizidfreie Unkrautregulierung außerhalb der Projektzeit und bezogen auf die Gesamtfläche der Demonstrationsbetriebe jedoch nicht in jedem Betrieb umsetzbar. Problematisch wurde der Einsatz maschineller Unterstockbearbeitungsgeräte zudem in neuen Anlagen, in denen die Reben nicht mehr in Abständen von 120 bis 130 cm in Reihe stehen, sondern nur noch in Abständen von 50 bis 80 cm. Die mechanischen Verfahren haben dann kaum Spielraum. Weitere begrenzende Faktoren für den Herbizidverzicht waren die Witterung und die Bodenverhältnisse. Da jeder Weinberg unterschiedliche Bedingungen aufwies, war es für die Winzer schwierig, die passende Methode für die herbizidfreie oder herbizidreduzierte Bearbeitung zu finden. Es besteht Forschungsbedarf bei deren Entwicklung sowie der ökonomischen und ökologischen Beurteilung verschiedener Verfahren. Außerdem fehlen Erkenntnisse zur Wirkungsweise der Geräte bei unterschiedlichen Böden, Bodenfeuchtigkeit und Hangneigungen, als Einzelgeräte oder in Kombination.

Hopfenanbau

Das Hopfenputzen und die Unkrautregulierung in der Hopfenreihe (Bifang) sind aus phytosanitären wie auch aus technischen Gründen zur Ernteerleichterung notwendig. Um den unteren Rebenbereich zu entlauben, Nachschosser zu entfernen und den Bifangbereich unkrautfrei zu halten, werden üblicherweise 1- bis 3-mal pro Jahr Herbizide in Reihenbehandlung appliziert. Es stehen jedoch auch verschiedene alternative Verfahren zur Verfügung, die im Rahmen des Projektes erprobt wurden. Das einmalige Ackern in Kombination mit einem Grubberarbeitsgang und späterem chemischen Hopfenputzen gehört im Hopfenanbau zur Standardmaßnahme (LFL, 2019). Zusätzlich wurde ein zweiter Ackergang als Maßnahme der mechanischen Unkrautbekämpfung durchgeführt. Diese Maßnahme führte, wenn möglichst früh durchgeführt, zu guten Ergebnissen bei der Bekämpfung von Unkräutern und Nachschossern, lockerte den Boden und konnte beim Einarbeiten von Düngemitteln helfen. Das Verfahren wird, wie andere mechanische Unkrautregulierungsmaßnahmen, durch seine Witterungsanfälligkeit (Nässe, Trockenheit) limitiert und kann die Erosionsgefahr sowie den Humusabbau fördern. Dennoch wurde die Maßnahme „2. Ackern“ als „echte Alternative zur chemischen Unkrautbekämpfung auf dem Bifang“ angesehen und mit einer insgesamt hohen Praktikabilität, Effektivität sowie Effizienz bewertet (Abb. 3).

Einzelne Bereiche der Hopfenanlage (Bodenanker und Hopfensäulen) können im Zuge der Bodenbearbeitung nur unzureichend maschinell bearbeitet werden. Hier siedeln sich oft Quecken oder andere hochwachsende (Un-)Gräser an, die einen Zwischenwirt für die Markeule darstellen, deren Raupen wiederum den Hopfen schädigen. Als Alternative zur Herbizidanwendung und vorbeugende Maßnahme gegen Markeulenbefall wurden die Quecken nach der Hopfenernte per Handhacke entfernt. Das sogenannte „Säulenaushauen" wurde von den Landwirten als wirkungsvolles, aber, durch den hohen Arbeitsaufwand und die damit verbundenen Arbeitskosten, nur wenig effizientes bzw. praktikables Verfahren angesehen. Zum Hopfenputzen wurden verschiedene alternative Verfahren versuchsweise angewandt. Das händische Hopfenputzen (Entlauben bis 1 m Triebhöhe) wurde als sehr effektiv angesehen. Als vorteilhaft bewertet wurde, dass durch die Handentlaubung die Entwicklung der Gemeinen Spinnmilbe gebremst wurde, so dass Akarizidbehandlungen reduziert oder hinausgezögert werden konnten. Als unpraktikabel und uneffektiv wurden jedoch die hohen Arbeitskosten und die Gefahr der Virusübertragung angesehen. Darüber hinaus wurden Bodentriebe nicht mit entfernt und die oft mit der chemischen Behandlung kombinierte Düngemaßnahme musste als extra Arbeitsgang erfolgen.

Abb. 3 Bewertung der Praktikabilität, Effektivität und Effizienz der nichtchemischen und vorbeugenden



Pflanzenschutzmaßnahmen im Hopfenanbau im Projektzeitraum 2014-2018 durch die Betriebsleiter, subjektive Bewertung mit Noten von 0 (ungenügend) bis 9 (hervorragend), n = Anzahl Bewertungen.

Fig. 3 *Evaluation of practicability, effectiveness and efficiency of non-chemical and preventive measures in hop growing in the project period 2014-2018 by the farm manager, subjective evaluation with grades from 0 (insufficient) to 9 (excellent), n = number of evaluations.*

Das Hopfenputzen mithilfe eines Laubsaugers wurde mit hoher Effektivität sowie mittlerer Praktikabilität und Effizienz bewertet. Der Laubsauger entfernte bei optimaler Terminierung das komplette Hopfenlaub und konnte somit Herbizidanwendungen reduzieren. Die Bodentriebe und der Unkrautbesatz des Bifangs konnten jedoch nicht erfasst werden, sodass hier meist Nachbehandlungen mit Herbiziden notwendig waren. Weitere limitierende Faktoren dieser Maßnahme waren der personelle Aufwand, die hohen Energiekosten und die Terminierung des Verfahrens. Das Hopfenputzen mit einem Entlaubungsgerät mit Nylonschnüren wurde nur im ersten Projektjahr erprobt und mäßig bewertet, da es sehr termin-/witterungsabhängig und arbeitszeitaufwändig war, Problemunkräuter (Gemeine Quecke, Winden- und Distel-Arten) nicht erfasst wurden und es zum Teil zu Verletzungen an den Reben führte. Das in der Praxis weit etablierte Verfahren, den Hopfen mit verschiedenen Nährsalzlösungen zu putzen, wurde als sehr praktikabel, effektiv und effizient bewertet. Die Wirkung kann in Abhängigkeit von der Witterung

mit der einer chemischen Behandlung verglichen werden. Insgesamt hat sich gezeigt, dass wirkungsvolle mechanische Verfahren mit einem hohen Arbeitsaufwand verbunden sind und zum aktuellen Stand der (technischen) Entwicklung keine vollwertige Alternative zur Anwendung von Herbiziden im Hopfenanbau zur Verfügung steht, mit der sowohl ein zufriedenstellendes Ergebnis beim Hopfenputzen als auch bei der Unkrautbekämpfung erzielt werden kann.

Apfelanbau

In den Demonstrationsbetrieben für Apfelanbau wurden in Abhängigkeit von Standort und Witterung 1- bis 3-mal jährlich Herbizide zwischen den Baumreihen appliziert. Die zur Verfügung stehenden alternativen Verfahren zur mechanischen Unkrautkontrolle wurden vor Projektbeginn aufgrund der damit einhergehenden höheren Kosten, Zeit- und Arbeitsaufwendungen sowie möglichen Ertragsverlusten (HOLTHUSEN et al., 2019) noch nicht genutzt. Im Rahmen des Modellvorhabens testeten die Betriebsleiter ausgewählte mechanische Verfahren.

Im Alten Land konnte ein Betrieb, der in Dammkultur arbeitet, gute Erfahrungen mit einem Anhäufelgerät zur mechanischen Unkrautbekämpfung und Bodenbearbeitung (Dammpflege) machen und unter günstigen Bedingungen (in einem trockenen Jahr) eine Herbizidmaßnahme einsparen. Beim Anhäufeln werden Falllaub und organischer Dünger in den Boden eingearbeitet und damit die Verrottung gefördert, was gleichzeitig zu einer Senkung des Ascosporenpotentials des Schorfpilzes *Venturia inaequalis* beiträgt. Die Maßnahme ist jedoch witterungsabhängig und aufgrund der nur einseitigen Arbeitsweise deutlich zeitaufwändiger als die Applikation eines Herbizides. Auf einem Betrieb in der Region Südwest wurde eine mechanische Unkrautregulierung mit Flachschar und Scheibenegge in mehreren Jahren durchgeführt. Nach Einschätzung des Betriebsleiters eignete sich das Verfahren zur Einsparung von Herbiziden, konnte diese, aufgrund der Kosten bzw. der erzielbaren Erzeugerpreise im konventionellen Anbau, jedoch nicht vollständig ersetzen. Für Praktikabilität, Effektivität und Effizienz wurden hohe Noten von 6 bis 8 vergeben. Neben der Unkrautregulierung wurde der Boden aufgelockert, die Verdunstung aus dem Boden durch Kapillarbrechung reduziert und die Moosschicht entfernt. Zudem wurden Blutlauskolonien an den Baumstämmen durch diesen Arbeitsgang zugeworfen. Auf zwei weiteren Betrieben in Nordbaden wurden Fadenmaschinen eingesetzt. Nachdem zunächst Erfahrungen zur möglichen Fahrgeschwindigkeit, dem Fadenverbrauch (schnelle Abnutzung bei steinigen Böden) und der Eignung einzelner Anlagen (Hanglagen sind schwierig) gesammelt werden mussten, konnten die Fadenmaschinen vor allem in trockenen Jahren genutzt werden, um Herbizidanwendungen einzusparen. Die Vorteile der Fadenmaschine sind, dass in älteren Anlagen bis an den Stamm gefahren werden kann, der Boden nicht bewegt wird und eine ungewollte Mineralisierung von Nährstoffen ausbleibt. Das abgeschlagene Kraut mindert zusätzlich die Verdunstung aus dem Boden und verbessert damit die Wasserversorgung in den Anlagen. Die Praktikabilität der Fadenmaschine bewerteten die Betriebe mit 5 bis 6 Punkten. Nachteilig war, dass bei Nässe die Unkräuter zu stark und schnell nachwuchsen, so dass sehr viele Überfahrten in kurzer Zeit notwendig waren. Die Umsetzbarkeit aller beschriebenen Maßnahmen ist durch Faktoren wie nasse Witterung, zu hoher Unkrautdruck oder schwerer Boden begrenzt. Darüber hinaus ist zur Schonung der Bäume eine genaue Fahrweise erforderlich. Nach insgesamt positiven Erfahrungen haben alle Betriebsleiter ihre Geräte zur mechanischen Unkrautkontrolle in ihren Betriebsablauf integriert und werden diese auch nach Projektende situationsbedingt in Kombination mit chemischer Unkrautbekämpfung weiter nutzen.

Danksagung

Wir danken den beteiligten Betriebsleitern für die jahrelange enge, offene und vertrauensvolle Zusammenarbeit sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Pflanzenschutzdienste der Länder für die intensive, fachliche Begleitung des Projektes. Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des BMEL über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), FKZ 2810MD001.

Literatur

CADOUX, S., G. SAUZET, M. VALANTIN-MORISON, C. PONTET, L. CHAMPOLIVIER, C. ROBERT, J. LIEVEN, F. FLÉNET, O. MANGENOT, P. FAUVIN, N. LANDÉ, 2015: Intercropping frost-sensitive legume crops with winter oilseed rape reduces weed competition, insect damage, and improves nitrogen use efficiency. Oilseed & Fats Crops and Lipids **22**(3), D302, 11 S.

HOLTHUSEN, H., M. BRÜGGENWIRTH, M. CLVER, J. HUHS, N. OESER, J.-P. RALFS, 2019: Technik-Tage 2019 an der ESTEBURG – mechanische Entblätterung, herbizidfreie Unkrautbekämpfung und tunnelartige Sprühgeräte. Mitt. OVR **74**: 337-345.

LFL – Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2019: Hopfen 2019 – Anbau, Sorten, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte. LfL, Freising. 138 S.

WILHELM, B., 2011: Beikrautmanagement ohne Pflug – Erfahrungen aus der Praxis. In: Wilhelm, B., Hensel, O. (Hrsg.), Landtechnische Lösungen zur Beikrautregulierung im Ökolandbau, 2011, Deutsches Institut für Tropische und Subtropische Landwirtschaft (DITSL) GmbH, Witzenhausen, 69-76.

Aussparung der Fahrgasse bei der Applikation von Herbiziden

Recess of the tramline during the application of herbicides

Johannes Bröring*, Dieter von Hörsten

Julius Kühn-Institut, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig
*Korrespondierender Autor, johannes.broering@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.038

Zusammenfassung

Zur Entlastung der Umwelt und Einsparung von Kosten werden bereits seit Längerem technische und pflanzenbauliche Anstrengungen unternommen, um den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß zu reduzieren. Eine Fahrgassenabschaltung bei Feldspritzgeräten, bei der die Fahrgasse während der Applikation von Pflanzenschutzmitteln ausgespart wird, leistet einen Beitrag dazu. Zur Untersuchung von möglichen Effekten auf die Kultur und die Unkrautentwicklung im Fahrgassenbereich wurde im Herbst 2018 ein Feldversuch mit Winterweizen angelegt. Die Pflanzenschutzmaßnahmen wurden in diesem Versuch mit einer praxisüblichen ganzflächigen Behandlung und einer, bei der die Fahrgasse während der Applikation ausgespart wurde, durchgeführt. Neben Fungiziden, Insektiziden und Wachstumsregulatoren wurden auch in einigen Varianten Herbizide in der Fahrgasse ausgespart. Um mögliche Unterschiede in der Unkrautentwicklung zwischen einer praxisüblichen ganzflächigen Herbizidbehandlung und einer Behandlung mit ausgesparter Fahrgasse festzustellen, wurden zwei zeitlich voneinander getrennte Unkrautbonituren in den Fahrgassen vorgenommen. Die Ergebnisse zeigen, dass an beiden Unkrautbonituren der Unkrautbesatz in der Fahrgasse in der Variante mit ausgesparter Herbizidbehandlung höher war als bei der praxisüblichen ganzflächigen Behandlung. Die Unkräuter konnten sich jedoch aufgrund der häufigen Überfahrten der Fahrgasse für Pflegemaßnahmen der Kultur nur schlecht entwickeln, sodass diese keinen Störfaktor bei der Ernte darstellten.

Stichwörter: Fahrgassenabschaltung, Feldspritzgeräte, Pflanzenschutzmittel, Unkrautentwicklung

Abstract

In order to relieve the environment and save on plant protection costs, technical and agronomic efforts were undertaken to reduce the use of plant protection products to the necessary extent. Contribution to this provides the use of a tramline deactivation on field sprayers, which avoids plant protection products in the tramline during the application. In autumn 2018, a field trial cultivated with winter wheat was carried out to investigate possible effects on the crop and weed development in the tramline area. In this experiment the plant protection applications were carried out with a customary application treatment and one in which the tramline was left out during the application. In addition to fungicides, insecticides and growth regulators herbicides were also left out in the tramline in some variants. In order to detect possible differences in weed development two separate ratings have been made comparing a uniform herbicide treatment with a treatment using an omitted tramline, two separate weed ratings were made. The results show that at both weed grades the weed suppression in the tramline in the variant with recessed herbicide treatment, the weed trimming in the tramline was higher than in the customary treatment over the whole area. However, the weeds were unable to develop well due to the frequent use of the tramline for the maintenance of the crop.

Keywords: Field sprayer, plant protection products, tramline deactivation, weed development

Einleitung

Die sich stetig weiterentwickelnde Landtechnik ermöglicht zahlreiche Ansätze und Ideen für ressourcen- und umweltschonenderes Arbeiten. Auch bei der Pflanzenschutztechnik ergeben sich neue Möglichkeiten, um Pflanzenschutzmittel einzusparen. Neben der automatischen GPS-gestützten Teilbreitenschaltung und der damit möglichen teilflächenspezifischen Applikation ist auch das Aussparen der Pflanzenschutzmittelapplikation in der Fahrgasse denkbar. Mithilfe einer Fahrgassenabschaltung bei Feldspritzgeräten sollen neben ökonomischen Einspareffekten auch ökologische Vorteile zur Entlastung der Umwelt generiert werden. Der ausbleibende Pflanzenschutzmitteleintrag in der kulturfreien Fahrgasse führt zu einem verminderten Eintrag in Boden und Grundwasser (VON HÖRSTEN et al., 2016). Aufgrund von vermehrten Überfahrten der Fahrgassen während der Pflegemaßnahmen der Kulturbestände kommt es zu einer Verdichtung

des Bodens, weshalb in diesen Bereichen das Run-off Risiko besonders groß ist (WITHERS et al., 2006; MOISMANN et al., 2007). Bei einem Einsatz einer Fahrgassenabschaltung bei Feldspritzgeräten wird das Risiko einer Kontamination der umliegenden sensiblen Nicht-Zielflächen durch den oberflächigen Pflanzenschutzmittelabtrag vermindert. Der derzeitige Stand der Pflanzenschutztechnik gibt keinen praxistauglichen Lösungsansatz einer Aussparung der Fahrgasse während der Applikation her. Ein einfaches Abschalten von zwei oder vier Düsen direkt über den Fahrspuren hat zum einen eine unzureichende Querverteilung und zum anderen eine Unterdosierung der Wirkstoffmenge im Randbereich der Fahrgasse zur Folge (BRÖRING und VON HÖRSTEN, 2019). Dadurch können bestimmte Resistenzmechanismen gefördert werden. Des Weiteren erkennt das Regelungssystem des Spritzcomputers nicht die abgeschalteten Düsen. Die überschüssige Spritzflüssigkeit wird dann mit einem höheren Spritzdruck auf der restlichen Gestängebreite verteilt, sodass keine Pflanzenschutzmittel eingespart werden. Im laufenden Projekt „Adaptive Fahrgassenabschaltung bei Feldspritzgeräten" arbeitet das Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz des Julius Kühn-Institut zusammen mit dem Industriepartner Horsch Leeb Application Systems GmbH daran, dieses unter Gewährleistung einer optimalen Querverteilung zu realisieren. In Verteilungsmessungen mit veränderten Düsenkombinationen und -anordnungen konnte bereits der Spritzflüssigkeitseintrag in die Fahrgasse bei der Applikation um mehr als 80 % gesenkt werden und gleichzeitig die Qualität der Querverteilung erhalten bleiben (BRÖRING und VON HÖRSTEN, 2019).

Im Rahmen des Projekts wurde im Herbst 2018 ein Feldversuch in Winterweizen angelegt, um erste Effekte einer ausbleibenden Pflanzenschutzmittelbehandlung in der Fahrgasse zu erzeugen. Untersucht wurden Ertrags und Qualitätseigenschaften des Weizens im Bereich der Fahrgasse sowie die Unkrautentwicklung. Im Folgenden werden die bisher gesammelten Erkenntnisse des Feldversuches dargestellt. Der Fokus wird dabei auf die Unkrautentwicklung im Bereich der Fahrgasse gelegt.

Material und Methoden

Versuchsbeschreibung

Der Feldversuch wurde im Herbst 2018 in Sickte (Niedersachsen) auf den Flächen des Julius Kühn-Institut angelegt. Als Flächenkultur wurde Winterweizen mit der Sorte „Desamo" ausgesät. Aufgebaut wurde der Versuch als teilrandomisierte Blockanlage mit vier Varianten, vierfach wiederholt. In zwei Varianten fand keine Behandlung mit Fungiziden, Insektiziden und Wachstumsregulatoren statt. Bei der dritten Variante (FG_Herb) wurde zusätzlich zu den oben genannten Einsatzbereichen auch der Herbizideinsatz in der Fahrgasse ausgelassen. Die vierte Variante (GF) diente als Kontrolle und wurde mit praxisüblichen Aufwandmengen flächeneinheitlich behandelt. Die Parzellen hatten eine Größe von 12 m * 50 m. Jede Variante wurde im Kerndrusch geerntet (5 m * 10 m). Zwischen den Blöcken wurde ein Vorgewende von je 10 m Breite angelegt. Im weiteren Verlauf wird nur auf die beiden Varianten FG_Herb und GF eingegangen.

Versuchsdurchführung

Im Herbst 2018 wurde zwei Wochen nach der Aussaat die erste Pflanzenschutzmaßnahme in Form einer Vorauflauf-Herbizidbehandlung mit 3 l/ha Boxer und 0,6 l/ha Herold SC® durchgeführt. Die zweite Herbizidmaßnahme fand Mitte Mai als Nachauflaufbehandlung mit 1,5 l/ha MCPA statt (Tab. 1). Ausgebracht wurden die Pflanzenschutzmittel mit einer Anhängespritze (LT5, Horsch Leeb). Diese war mit einer automatischen Höhenführung für das Gestänge ausgestattet, wodurch jederzeit ein einheitlicher Zielflächenabstand von 50 cm eingehalten werden konnte. Appliziert wurde mit Injektorflachstrahldüsen (ID 120 03, Lechler) und einem Spritzdruck von 5 bar.

Tab. 1 Angewendete Herbizidmaßnahmen in dem Feldversuch mit Winterweizen.

Tab. 1 *Applied herbicide measures in the field trail with winter wheat.*

Zeitpunkt Anwendung	Produktname	Aufwandmenge [l/ha]	Wirkstoff	Wasseraufwandmenge [l/ha]
22.10.2018	Boxer[1] Herold SC®[2]	3,0 0,6	Prosulfocarb[1] Flufenacet[2] Diflufenican[2]	250
17.05.2019	MCPA500	1,5	Dimethylamin-Salz	250

Mithilfe der angelegten Vorgewende zwischen den einzelnen Blöcken, konnte jede einzelne Parzelle separat angefahren werden. Dadurch wurde gewährleistet, dass alle Parzellen die gleiche Anzahl an Überfahrten hatten. Während der Vegetationsperiode wurden zwei Unkrautbonituren zu unterschiedlichen Zeitpunkten in den Varianten FG_Herb und GF durchgeführt. Die Ernte der Parzellen fand am 26.07.2019 statt.

Unkrauterfassung

In dem Feldversuch sollte neben den Effekten auf Ertrags- und Qualitätseigenschaften beim Weizen auch Effekte auf die Unkrautentwicklung erfasst werden.

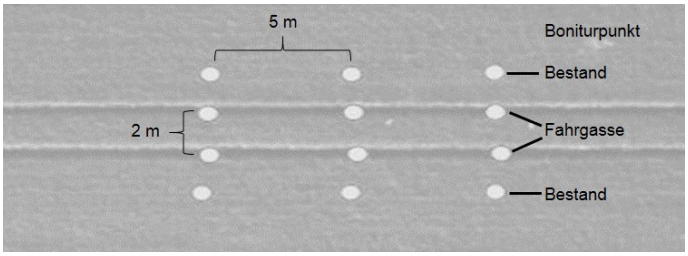


Abb. 1 Luftbildausschnitt einer Versuchsparzelle. Punkte kennzeichnen die mit einem GPS-Empfänger positionsgespeicherten Boniturpunkte.

Fig. 1 *Aerial view of a trail plot. Points mark the score points saved with a GPS receiver.*

In jede Parzelle der beiden Varianten wurden jeweils zwölf Boniturpunkte in definierten Abständen gelegt und die Position mit einem GPS-Empfänger und einem RTK-Korrektursignal gespeichert. Somit konnten die jeweiligen Boniturpunkte zweimal bonitiert werden. Insgesamt wurden in acht Parzellen die Unkräuter bonitiert. Die zwölf Punkte teilten sich auf in sechs Punkte in der Fahrgasse und sechs Punkte im Bestand (Abb. 1). Für die Erfassung der Unkräuter wurde der Göttinger Zählrahmen verwendet. Der Zählrahmen erfasste genau 1/10 m^2. In der späteren Auswertung wurde die Anzahl der Unkräuter auf einen m^2 hochgerechnet. Die erste Unkrautbonitur fand kurz vor der zweiten Herbizidbehandlung statt. Zehn Tage vor der Parzellenernte wurden erneut die Unkräuter bonitiert. Jeder Boniturpunkt wurde mit einer Digitalkamera fotografisch dokumentiert.

Statistische Auswertung

Unterschiede des Unkrautaufkommens zwischen den Varianten die ganzflächig (GF) und mit ausgesparter Fahrgasse ohne Herbiziden (FG_Herb) behandelt worden sind, wurden mittels t-Test ermittelt. Die statistischen Auswertungen erfolgten mit der Softwareumgebung R.

Ergebnisse

Insgesamt wurden 96 Boniturpunkte in acht Parzellen angelegt. Die Boniturpunkte teilten sich auf in 48 Punkte innerhalb der kulturfreien Fahrgasse und 48 Punkte im Bestand liegend. Es wurden acht unterschiedliche Unkrautarten erfasst. In Abbildung 2 wird die Anzahl der bonitierten Unkrautarten aus den 48 Boniturpunkten innerhalb der kulturfreien Fahrgassen nach der (a) ersten

und der (b) zweiten Bonitur von der Variante der ganzflächigen Herbizidbehandlung (GF) und der Herbizidbehandlung mit ausgesparter Fahrgasse (FG_Herb) dargestellt.

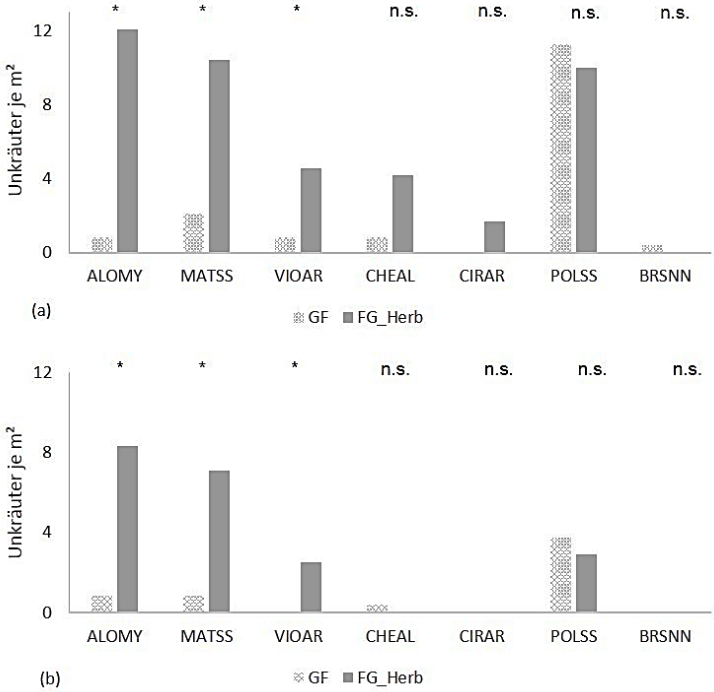


Abb. 2 Anzahl der Unkräuter nach der (a) ersten Unkrautbonitur am 17.05.19 und der (b) zweiten Unkrautbonitur am 16.07.19 in der kulturfreien Fahrgasse je m². GF = ganzflächige Herbizidbehandlung, FG_Herb = Herbizidbehandlung mit ausgesparter Fahrgasse, ALOMY = Acker-Fuchsschwanz, MATSS = Kamille-Arten, VIOAR = Acker-Stiefmütterchen, CHEAL = Weißer Gänsefuß, CIRAR= Acker-Kratzdistel, POLSS = Knöterich-Arten, BRSNN = Ausfallraps, * = Unterschied signifikant, n.s. = Unterschied nicht signifikant (t-Test p = 0,05).

Fig. 2 *Number of weeds after the first (a) weed rating on 17.05.19 and the second (b) weed rating on 16.07.19 in the tramline per m². GF = whole-area herbicide treatment, FG_Herb = herbicide treatment with recessed tramline, ALOMY = black grass, MATSS = chamomile species, VIOAR = field pansies, CHEAL = goosefoot, CIRAR = field thistle, POLSS = knotweed species, BRSNN = failure rapeseed, * = significant difference, n.s. = non-significant difference (t-test p = 0.05).*

Insgesamt treten die meisten Unkräuter anzahlmäßig in der Variante mit der ausgesparten Herbizidbehandlung (FG_Herb) auf. Außerdem nimmt die Gesamtanzahl der Unkräuter vom ersten Boniturtermin tendenziell zum zweiten Boniturtermin hin ab. In der Variante FG_Herb machten Acker-Fuchsschwanz, Kamille- und Knöterich-Arten den größten Anteil des Unkrautbesatzes aus. Acker-Stiefmütterchen, Gänsefuß-Arten und Acker-Kratzdisteln traten nur vereinzelt auf. In der Variante GF waren hauptsächlich Knöterich-Arten zu finden. Im Gegensatz zur Variante FG_Herb wurde keine Acker-Kratzdistel in der Fahrgasse erfasst, dafür jedoch wuchs vereinzelt Ausfallraps durch.

An beiden Boniturterminen ist die Anzahl von Acker-Fuchsschwanz, Kamille-Arten und Acker-Stiefmütterchen in der Variante FG_Herb signifikant höher als bei der Variante GF. Die Unterschiede bei Gänsefuß-Arten, Acker-Kratzdisteln, Knöterich-Arten und Ausfallraps sind nicht signifikant. Zur ersten Unkrautzählung befanden sich viele Unkräuter in sehr jungen Entwicklungsstadien. Oft waren die Keimblätter noch vorhanden und gut sichtbar. Zum zweiten Zähltermin hin nahm die Anzahl an Individuen im älteren Entwicklungsstadium zu. Die meisten Unkräuter, mit Ausnahme

von Acker-Fuchsschwanz, konnten bis dahin nicht die Samenanlagen ausbilden. Der Acker-Fuchsschwanz entwickelte sich im Gegensatz zu den anderen Unkräutern am stärksten und konnte Samen bilden. Die Unkräuter in der Fahrgasse erreichten in beiden Varianten nur eine geringe Wuchshöhe.

Die Auswertungen der Boniturpunkte im Bestand haben ergeben, dass die Unkrautentwicklung sich zwischen den beiden Varianten nicht signifikant unterscheidet. Der Unkrautbesatz nahm auch hier von der ersten zur zweiten Unkrautbonitur hin ab. Zusätzlich zu den in der Fahrgasse gefunden Unkrautarten trat im Bestand vereinzelt Klettenlabkraut auf.

Diskussion

Ein Teilziel des Feldversuches war es festzustellen, ob die Unkrautentwicklung in der Fahrgasse nach einer Herbizidbehandlung mit ausgesparter Fahrgasse Unterschiede zu einer praxisüblichen ganzflächigen Herbizidbehandlung aufweist. Die Ergebnisse der Unkrautbonituren an den beiden Terminen zeigen, dass einige Unkrautarten stärker auf den ausbleibenden Herbizideinsatz in der Fahrgasse reagieren als andere. Zur ersten Unkrautbonitur am 17.05.2019 befanden sich die meisten gezählten Unkräuter in einem untypischen jungen Wachstumsstadium. Da das eingesetzte System der Fahrgassenabschaltung bei Feldspritzgeräten den Spritzmitteleintrag in der Fahrgasse nicht vollständig ausspart, könnte sich der restliche Eintrag in die Fahrgasse in Kombination mit den Überfahrten während der Pflegemaßnahmen der Kulturbestände, negativ auf die Unkrautentwicklung ausgewirkt haben. Häufige Maschinenüberfahrten für Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen führen zu einer Verdichtung der Fahrspur. Durch die Verschlechterung der Bodenstruktur wird der Wasser- und Lufttransport behindert und das Wachstum einiger Pflanzen kann beeinträchtigt werden (KOZLOWSKI, 1999). Acker-Fuchsschwanz, Kamille- und Knöterich-Arten vertragen eine verdichtete Bodenstruktur (FELGENTREU, 2014; BOHNER und STARZ, 2011). Daher konnten sich diese Arten besonders in der Fahrgasse mit ausgesparter Herbizidbehandlung etablieren. Neben der Verdichtung des Bodens begünstigen auch die mechanischen Verwundungen durch die Überfahrten mit den Maschinen die Unterdrückung der Unkräuter. Mechanische Verwundungen dienen Pathogenen als Eintrittspforten und schwächen somit die Pflanzen (HALLMANN et al., 2009). Auch zum zweiten Boniturtermin am 16.07.2019 zeigten die meisten Unkräuter nur eine schwache Entwicklung auf. Außerdem nahm auch die Anzahl der Unkräuter in der Fahrgasse ab bzw. einige Arten traten nicht mehr auf. Die starke Reduktion von Gänsefuß-Arten bzw. das komplette Verschwinden von Acker-Kratzdisteln und Ausfallraps in der Variante der ganzflächigen Behandlung ist auf die gute Wirkungsweise von MCPA auf diese Unkräuter zurück zu führen. Auch in der Variante mit der ausgesparten Herbizidbehandlung wurden diese Unkräuter bei der zweiten Bonitur nicht mehr gefunden. Dies könnte ebenfalls auf den geringen Pflanzenschutzmitteleintrag in der Fahrgasse sowie die sich noch im sehr jungen Entwicklungsstadium befindliche Unkräuter zurück zu führen sein. Gegen Acker-Fuchsschwanz, Kamille- und Knöterich-Arten weist MCPA einen nicht ausreichenden Wirkungserfolg auf, wodurch der höhere Unkrautbesatz dieser Arten bei der zweiten Bonitur zu erklären ist. Während der Vegetationsperiode des Winterweizens in 2019 lagen sehr trockene und warme Wetterbedingungen vor. Daher können diese Wetterbedingungen auch Einflussfaktoren für den Rückgang der Unkräuter sein.

Zusätzlich zu den Boniturpunkten in der Fahrgasse wurden auch Zählpunkte im Bestand angelegt. In den Bereichen des Bestandes der Varianten GF und FG_Herb wurden die gleichen Herbizidapplikationen durchgeführt. Die Auswertungen der Boniturpunkte im Bestand haben, wie zu erwarten, keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Varianten bei der Unkrautentwicklung ergeben. Die Unkrauterfassung diente zur Kontrolle der Parzellen, ob diese sich bereits untereinander bei gleicher Herbizidbehandlung unterscheiden.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass bei einer ausgesparten Herbizidbehandlung in der Fahrgasse die Überfahrten für die Pflegemaßnahmen der Kulturbestände nicht ausreichen, um alle Unkräuter in diesen Bereich so stark zu unterdrücken, wie mit einer ganzflächigen

Herbizidbehandlung. Die meisten Unkräuter erreichten im Verlauf der Vegetation nur eine sehr geringe Wuchshöhe, sodass diese keinen Störfaktor bei der Ernte des Winterweizens darstellten. Problematisch war die Entwicklung des Acker-Fuchsschwanzes anzusehen, da einige Individuen aussamen konnten. Neben Bodenverdichtung und mechanischer Verwundung sind auch Umweltbedingungen wie z. B. Bodenart, Wasserversorgung, auftretende Unkrautarten, etc. wichtige Einflussfaktoren auf die Unkrautentwicklung in der Fahrgasse und müssen daher mitberücksichtigt werden (HALLMANN et al., 2009). Für eine Entscheidungshilfe, ob auch Herbizide in der Fahrgasse eingespart werden und ein höheres Unkrautniveau toleriert werden kann, sind weitere Untersuchungen in Feldversuchen notwendig.

Literatur

BOHNER, A., W. STARZ, 2011: Zeigerpflanzen im Wirtschaftsgrünland. Journal **1/2011**.

BRÖRING, J., D. VON HÖRSTEN, 2019: Düsenkombinationen und -anordnungen für den Einsatz mit einer Fahrgassenabschaltung bei Feldspritzgeräten. Gesunde Pflanzen **71**, 45-49.

FELGENTREU C., 2014: Verständnis über das Wachstum von Unkräutern und deren Einfluss auf den Boden. DSV Bückwitz, Kloster Plankstetten, 04.02.14 Vortrag.

HALLMANN, J., A. QUADT-HALLMANN, A.VON TIEDEMANN, 2009: Phytomedizin, Grundwissen Bachelor, 2 Auflage, Eugen Ulmer, Stuttgart.

KOZLOWSKI, T.T., 1999: Soil compaction and growth of woody plants. Scandinavian Journal of Forest Research **14**, 596– 619.

VON HÖRSTEN, D., H.-J. OSTEROTH, J.K. WEGENER, 2016: Möglichkeiten der Pflanzenschutzmitteleinsparung durch Nichtbehandlung der Fahrgassen. Julius-Kühn-Archiv **454**, 171-172.

The Electroherb™ Technology - A new technique supporting modern weed management

Die Electroherb™ Technologie – Ein neues Verfahren zur Unterstützung eines modernen Unkrautmanagements

Maximilian Koch[1*], Tobias Tholen[1], Pascal Drießen[2], Benjamin Ergas[1]

[1]Zasso GmbH, Aachen, Germany
[2]Nufarm Deutschland GmbH, Köln, Germany
[*]Corresponding author, maximilian.koch@zasso.com

DOI 10.5073/jka.2020.464.039

Abstract

The introduction of chemically based weed control has largely replaced mechanical practices. Legal restrictions on chemical herbicides with adverse environmental impacts and developing weed resistances are driving the development of new physical methods. The Electroherb™ technology is based on a non-selective, systemic electrical flow through the plants' vascular system causing severe cell destruction and ultimately wilting, as mode of action. The physical contact with high-voltage electrodes touching weed plants enables the electric current to operate only at the time of application without residues and avoids genetical selectivity. The minimum energy threshold for a lethal effect is related to the energy transferred to a single plant in dependence of the number and stability of vascular bundles to be damaged, the electrical resistance of the plant and soil, the contact time and the electrode voltage and current. The efficiency of weed control in the field depends on the plant species, morphology, growth stage and population density. The damage in the subterrestrial plant parts, such as extensive root systems, is more severe under dry than moist soil conditions because the electric current can reach deeper root parts before being dissipated into the soil. Limitations of electric weed control as primary applications were identified at high lignifying plant densities, as well as multi-stem species due to shielding effects which impede electrode contact. However, combinations of mechanical methods and Electroherb™, integrated desiccation using Electroherb™ and chemicals as well as direct substitution of chemical herbicides for established cultivation methods, such as minimum tillage cultivation, can make this unique technique a sustainable substitute when chemical herbicides lose authority approvals. Hence, an early implementation of the Electroherb™ technology in existing herbicide management strategies appears to offer a successful advantage to eliminate the existing resistance problems, when complied wisely into agricultural practice.

Keywords: Electroherb™, electrical weed killing, electrical plant control, electricity in agriculture, XPower

Zusammenfassung

Die Einführung der chemisch basierten Unkrautbekämpfung hat die mechanische Praxis im vergangenen Jahrhundert weitgehend abgelöst. Gesetzliche Beschränkungen für chemische Herbizide mit negativen Umweltauswirkungen und die Entwicklung von Unkrautresistenzen treiben die Entwicklung neuer physikalischer Verfahren voran. Die Electroherb™ Technologie basiert auf einem nicht-selektiven, systemischen, elektrischen Fluss durch das Gefäßsystem der Pflanzen, der zu einer schweren Zellzerstörung und schließlich zum Welken als Wirkungsweise führt. Der physikalische Kontakt zwischen Hochspannungselektroden und der Zielpflanze ermöglicht es dem elektrischen Strom rückstandsfrei, nur zum Zeitpunkt der Anwendung, zu arbeiten und schließt genetische Selektivität aus. Die minimale Energieschwelle für eine tödliche Wirkung bezieht sich auf die, auf eine einzelne Pflanze übertragene Energie in Abhängigkeit von der Anzahl und Stabilität der zu beschädigenden Gefäßbündel, dem elektrischen Widerstand einer Pflanze und des Bodens, der Kontaktzeit sowie der Elektrodenspannung und -strom. Die Effizienz der Unkrautbekämpfung im Feld hängt von der Pflanzenart, der Morphologie, dem Wachstum und der Bestandsdichte ab. Die Schäden in den unterirdischen Pflanzenteilen, wie z.B. Rhizomen und ausgedehnte Wurzelsysteme, sind unter trockenen Bodenbedingungen schwerwiegender als unter feuchten, da der elektrische Strom tiefere Wurzelbereiche erreicht, bevor er in den Boden abgeleitet wird. Einschränkungen der elektrischen Unkrautbekämpfung, als primäre Anwendung wurden bei Pflanzenarten mit hohem Ligningehalt (höherer Pflanzenwiderstände) und bei Arten die zur Bestockung neigen festgestellt (Abschirmeffekte der Elektroden). Bei der Kombinationen von mechanischen Verfahren und Electroherb™, Sikkationsanwendungen mit Electroherb™ in Kombination mit chemischen Wirkstoffen, sowie die direkte Substitution von synthetisch-chemischen Herbiziden in etablierten Anbaumethoden kann diese innovative Technologie zu einem nachhaltigen Ersatz werden, wenn synthetisch-chemische Wirkstoffe zunehmend die Zulassung verlieren. Eine frühzeitige Implementierung der Electroherb™ Technologie in bestehende Herbizidmanagementstrategien bietet daher auch die Möglichkeit,

voranschreitende Resistenzprobleme zu beseitigen, wenn sie sinnvoll in der landwirtschaftlichen Praxis integriert werden kann.

Stichwörter: Electroherb™, elektrische Unkrautbekämpfung, elektrischer Pflanzenschutz, Elektrizität in der Landwirtschaft, XPower

The Electroherb™ Technology

Weed control with electrical energy is not an invention of the 21st century. For many decades, scientists have been developing plant control methods by destroying plant tissue with electrical energy. The Zasso Group has revived and further developed the principles of an electrical weed control method, which has now the ability to deliver a constant power to the plant irrespective of the electrical total system resistance. First developed in Brazil, Zasso has introduced the Electroherb™ technology in Europe in 2016. The basic principal is the application of a lethal dose of electrical energy to plant tissues via electrodes that are in contact with the plants. This year, a first series of prototypes of the so called "XPower" system, equipped with the latest safety features, have been applied in various field experiments for important agricultural crops.

The XPower system consists of two components: an electric generator unit mounted on the tractors rear and an applicator unit at the front of the tractor (Fig. 1). The electric generator is driven by the tractors power take-off (PTO) at a speed of 1000 rpm. This enables the system to supply the applicator independently with electrical energy. Insulated copper cables are used to connect the electric generator to the applicator unit in the front. Rectifier circuits in the high-voltage transformers mounted on the applicator convert 230 V alternating current to 700 to 8000 V direct current. The applicator unit in the front has two rows of positive electrodes and one row of negative electrodes (Fig. 1). With 24 high-voltage transformers working on a width of 3 m, the XPower works as an area applicator with a maximum output of 3 kW per electrode. This leads to a maximum power output of 72 kW, whereby the output of each electrode can be set individually.

The Electroherb™ technology can only be operated with direct current. This guarantees a constant electrical power strength over the entire time of application and allows to set a defined lethal application rate, comparable to the application dosages of chemical active agents. Correspondingly, the interaction of electrical power, driving speed, electrode contact time and electrode-surface area forms the formulation. The application rate of the Electroherb™ technology is specified with kilowatt hours per hectare [kWh ha-1]. To avoid sparking during the application due to the high-voltage, the current in the transformers is clocked via a high-current frequency and electrode tips are shielded with rubber.

The circuit closes on contact with the electrodes (1st contact, positive electrode). The current flows through the plant into the root and is derived through the soil to the second set of electrodes (2nd contact, negative electrode) where it is absorbed again. The electrical power dosages in this electrical circuit is constant and controlled by an output power control in accordance to the soil-physical conditions. The ratio of voltage to amperage is modulated according to the total system resistance, including the specific plant and soil resistance. The electrical flow from the leaf surfaces into the below-ground parts of the plant includes a systemic mode of action to control the root system of plants, making this technique comparable to the translocation of synthetic-chemical herbicides within a plant.

The Electroherb™ technology can be used in a wide range of agricultural crops and cultivation practices. In table 1, tested and recommended applications of the Electroherb™ technology for a variety of areas of application in different crop and non-crop systems with specific prototypes are outlined. Field experiments carried out in 2019, in different crops and soil orders with varying conditions, showed promising results and electric weed control can be seen as a supplement of commonly applied mechanical, thermal or chemical methods for plant control. The environmental impact of this technology can be considered very small, as experiments to monitor the population behaviour of earthworms and springtails showed that population density, 4 weeks after electrical

treatment was comparable or more stable than after chemical and mechanical treatments. Further developments of the Electroherb™ technology aim to precisely determine lethal doses of energy output required to sustainable control plants; to minimize excess energy usage and thus any impact on the environment.

Tab. 1 Application scenarios of the Electroherb™ Technology in different crops with specific applicators and prototypes which are currently developed by Zasso.

Tab. 1 *Anwendungsbereiche der Electroherb™ Technologie sowie Prototypen mit angepassten Applikatoreinheiten in verschiedenen Anbauverfahren.*

Area of application	Scenario	Type of applicator
Potato	Potato siccation	Area applicator
Sugar beet	Weed and bolter control	Area & in-row applicator
Default rape	Field preparation	Area applicator
Catch crop	Field preparation	Area applicator
Orcharding	Weed control	Bottom-stock applicator
Viticulture	Weed control	Bottom-stock applicator
Urban	Control of invasive species	Area & manual applicator
Railway	Weed control	Railway applicator

The implementation of the Electroherb™ technology for applications in urban areas, for weed control on pavements, gravel beds, railways, water ways, streets or highways showed that its usage goes beyond agricultural application scenarios. Especially reduced plant densities, and thus higher energy per plant ratios, allow this technology to control weeds and invasive species effectively in these areas.

In the beginning of 2020, final reports will summarize the results from of 2019 efficacy field trials and aim to provide the user with a general overview on the best-practice conditions for the usage in 2020.

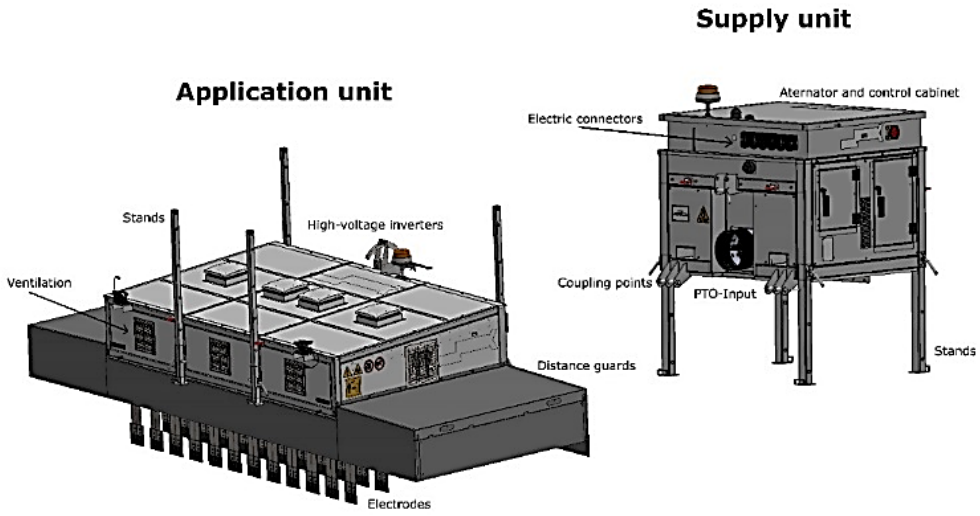


Fig. 1 Technical illustration of a Electroherb™ system (XPower) – with separated application unit and supply unit.

Abb. 1 *Technische Zeichnung eines Electroherb™ systems (Xpower) – mit separater Applikationseinheit und Versorgungseinheit.*

Risk evaluation of mechanical, chemical and combined mechanical-chemical weed control in sugar beet

Standortspezifische Risikobewertung von Verfahren mechanischer und chemischer Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben

Olga Fishkis*, Heinz-Josef Koch*

Institute of Sugar Beet Research, Holtenser Landstr. 77, 37079 Göttingen, Germany
*Corresponding authors, fishkis@ifz-goettingen.de, koch@ifz-goettingen.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.040

Abstract

Sugar beet field trials were conducted at two sites in Southern Lower Saxony to compare mechanical (hoeing), chemical (herbicide spraying) and combined mechanical-chemical weed control operations in their weed control efficacy, and in their effect on mulch coverage and soil erosion by water. Three treatments were tested in four replications at both sites. To measure runoff and soil erosion, rainfall simulations were carried out for mechanical and chemical treatments after completion of the last weed control operation. The cumulative soil loss was twice higher in mechanical than in chemical treatment in Sieboldshausen (p-value=0.03) but was eight times lower in mechanical than in chemical treatment in Obernjesa (p-value=0.004). The cumulative runoff was not significantly different between treatments in Sieboldshausen but was again significantly lower for hoeing than for spraying in Obernjesa. Also the effect on weed control efficacy by second weed control operation (2-4-leaf-stage) was site-specific, with no effect in Sieboldshausen and significantly reduced efficacy of mechanical weed control in Obernjesa. Mulch coverage loss due to the second weed control operation was significantly higher for mechanical than for chemical treatment at both sites.

Keywords: Band spraying, hoeing, mechanical weed control, mulch, soil erosion

Zusammenfassung

Feldversuche mit Zuckerrüben wurden an zwei Standorten in Niedersachsen durchgeführt, um die Effizienz und die Risiken mechanischer (Hacke), chemischer (Herbizidspritzung) und kombinierter mechanisch-chemischer Unkrautbekämpfung zu vergleichen. Die Unkrautbekämpfungstechniken wurden in vier Wiederholungen an zwei Standorten getestet. Hier werden Ergebnisse zur Wirksamkeit gegenüber Verunkrautung und zur Auswirkung auf Mulchbedeckung und Bodenerosion durch Wasser berichtet. Nach der Durchführung aller Nachauflaufbehandlungen wurden in den Parzellen mit rein mechanischen und rein chemischer Unkrautbekämpfung Regensimulationen durchgeführt, um den Oberflächenabfluss und den Bodenabtrag zu messen. Der kumulative Bodenabtrag war zwei Mal größer bei der mechanischen als bei der chemischen Unkrautregulierung in Sieboldshausen (p-Wert=0,03), aber 8 Mal höher bei der chemischen als bei der mechanischen Unkrautregulierung in Obernjesa (p-Wert=0,004). Der kumulative Wasserabfluss war nicht signifikant verschieden zwischen den beiden Unkrautbekämpfungstechniken in Sieboldshausen, aber wiederum signifikant höher für die chemisch als für mechanisch behandelten Flächen in Obernjesa. Der Wirkungsgrad der chemischen Unkrautregulierung war nur bei der zweiten Nachauflaufbehandlung am Standort 1 signifikant höher als der der mechanischen Unkrautregulierung. Bei der zweiten Nachauflaufbehandlung wurde die Mulchbedeckung an beiden Standorten durch das Hacken signifikant stärker reduziert als in der Herbizidvariante.

Stichwörter: Bandspritzung, Bodenerosion, Hacken, mechanische Unkrautbekämpfung, Mulch

Introduction

Weed control techniques assuring both, efficient weed removal and sustainable ecosystem functioning is crucial for future sugar beet production. Due to societal concern on toxicity hazards associated with herbicide application, interest in hoeing is growing during recent years. However, potential negative environmental impacts of hoeing like soil aggregate degradation, enhancement of soil erosion or reduction of earthworm abundance have not been studied yet. Loess soil preferable for sugar beet production is known to be highly susceptible to soil erosion (JONES et al., 2003; PANAGOS et al., 2015). Recent studies indicate, that mulch tillage with plant residue coverage > 20% is an effective tool to counteract soil erosion in sugar beet fields (DIECKMANN et al., 2004; SCHOLZ et al., 2008). Hoeing may, however, reduce the mulch coverage, destruct soil aggregates and

promote soil particle detachability. The objectives of this study were (1) to evaluate the weed control efficacy and mulch coverage reduction by hoeing in comparison to the combined mechanical-chemical and chemical approaches, (2) to measure runoff and soil erosion for mechanical and chemical weed control in sugar beet.

Materials and Methods

Experimental setup

Field trials were carried out in 2019 on two sites in Low Saxony, about 10 km south of Göttingen, Lower Saxony. Both sites are located on slopes with a slope gradient of 3-6% in Sieboldshausen and 3-9% in Obernjesa. Both sites had silty soil derived from loess. At each site, noninversion mulch tillage was applied, so that the residues of a preceding mustard (*Sinapis alba*) cover crop were left in the field. In spring, seed bed preparation was carried out with a cultivator and tine harrow immediately before sowing of sugar beet in April. Three treatments consisted of i) hoeing with wing shares between rows plus in-row hoeing by hand (mechanical), ii) hoeing with wing shares between rows plus in-row herbicide band spraying (combined) and iii) overall herbicide application (chemical) were tested in four replicates as a randomized complete block design on both sites. Overall each site had 12 study plots of 24 m x 15 m in size. The sugar beet rows were laid out parallel to the slope gradient. Three weed control operations were conducted in Obernjesa and two in Sieboldshausen. In case of chemical and combined treatments the following herbicides were applied at both sites: 1 l/ha Betanal Expert and 1.5 l/ha Goltix Titan with a first application; 1.25 l/ha Betanal maxxPro and 1.5 l/ha Goltix Titan with a second application and finally, 1.5 l/ha Metafol SC and 1.0 l/ha Betanal maxxPro with a third application. The weed infestation and mulch coverage was determined before and after each weed control operation at 6 scoring subplots of 0.25 m^2 in size within each plot. After the last weed control operation at each site the rainfall simulation trials were carried out for chemical and mechanical treatment (Tab. 1). Before rainfall simulation the slope gradient, sugar beet coverage and mulch coverage were determined. During rainfall simulation, runoff from the area concerned was collected with a one-minute interval during the rain event. The weight of water and sediment was determined later in the laboratory. The setup of the rainfall simulation is summarized in Table 1.

Data Evaluation and Statistical Analysis

The weed number at six scoring subplots within each study plot was summed up, to get a weed infestation per 1.5 m^2 for each plot. The weed control efficacy was then quantified for each plot as a percentage of successfully removed weeds from the total number of weeds growing within a 1.5 m^2 scoring area prior to a weed control operation. The effect of treatment on weed control efficacy was then tested by analysis of variance for each site and each weed control operation using R software. If the assumptions of residual normality was not fulfilled the nonparametric Kruskal-Wallis test was applied. In case of a significant treatment effect the multiple comparisons of means between treatments were conducted by Tukey test (α=0.05). The effect of treatment on cumulative runoff and soil loss in Sieboldshausen was tested by t-test for independent samples. In Obernjesa analysis of variance was applied to test the effects of (i) treatment, (ii) rainfall simulation event (O1, O2, O3 – Tab. 1), (iii) the interaction between treatment and rainfall simulation event, (iv) mulch coverage and (v) block on cumulative runoff and erosion. The differences between specific groups were then tested by Tukey test. Unlike other data mulch loss data were repeatedly taken at 6 scoring subplots within a plot. Therefore, mixed linear model considering a random effect of a plot was used to analyze the treatment effect on mulch loss.

Tab. 1 Setup of rainfall simulation experiments.

Tab. 1 *Regensimulationen: Versuchsaufbau.*

Rainfall simulation experiment	**S1**	**O1**	**O2**	**O3**
Site	Sieboldshausen	Obernjesa	Obernjesa	Obernjesa
Date	29.05.2019	05.06.2019	06.06.2019	12.06.2019
Number of the preceding weed control operations	2	3	3	3
Area, m2	2.05	2.05	2.05	2.05
Duration, min	20	20	20	20
Rain intensity, mm/min	1.5	1	1	1
Mean number of days elapsed since last hoeing	1.5	1.5	2.5	7.5
Presence of tractor rut within the rainfall simulation area	no	no	yes	no
Treatments	mechanical, chemical	mechanical, chemical	mechanical, chemical	mechanical, chemical
Number of replicate plots per treatment	3	4	4	4

Results and Discussion

Weed control efficacy

Weed community in Obernjesa was dominated by wild buckwheat (*Polygonum convolvulus* L.) and in Sieboldshausen by fat hen (*Chenopodium album*). The initial weed infestation was 14±9 and 8±5 plants per 1.5 m^2 in Obernjesa and Sieboldshausen, respectively. Weed control efficacy was significantly influenced by treatment only during second weed control operation in Obernjesa with 53% and 100% of weeds successfully removed in mechanical and chemical treatments respectively (Tab. 2). The observed differences between mechanical and chemical weed control with respect to weed control efficacy were not only site-specific but even varied among the weed control operations within a single site. One reason for this ambiguity in data can be differing soil moisture at a time point of hoeing and during the next days after hoeing as well as difference in some weather parameters like maximum day temperature and air humidity during the next days after hoeing.

Mulch coverage reduction

The initial mulch coverage was about 15% at both study sites. The reduction of mulch did not differ between treatments after first weed control operation but was significantly larger for mechanical than for chemical control for both sites after second weed control operation (Fig. 1). The mean mulch loss through hoeing as modeled by mixed modeling was 3.6% for Sieboldshausen, and only 0.6% for Obernjesa. Interestingly, in case of Sieboldshausen the mulch loss through the combined treatment was as high as in the mechanical treatment (Fig. 1).

Tab. 2 Measured weed control efficacy, %. At each site and weed control operation the effect of treatment was tested by analysis of variance followed by pairwise comparisons among means by Tukey-Test (α=0.05) if treatment was significant. The values followed by different letters are significantly different.

Tab. 2 *Wirkungsgrad der Unkrautbekämpfung, %. Der Effekt der Unkrautbekämpfungstechnik wurde für jeden Standort und jede Nachauflaufbehandlung geprüft: ANOVA mit anschließendem Tukey-Test (α=0,05). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede.*

	Obernjesa			**Sieboldshausen**		
	Treatment	**mean**	**sd**	**Treatment**	**mean**	**sd**
First weed control	mechanical	83.9 a	11.7	mechanical	91.0 a	11.9
	combined	91.5 a	8.5	combined	92.8 a	5.3
	chemical	99.0 a	1.9	chemical	97.4 a	5.3
Second weed control	mechanical	53.3 a	9.2	mechanical	100.0 a	0.0
	combined	91.5 b	7.5	combined	75.0 a	28.9
	chemical	100.0 b	0.0	chemical	100.0 a	0.0

Overall, in Obernjesa the initial mulch coverage was not changed by two weed control operations and did not differ between treatments, whereas in Sieboldshausen after two weed control operations the mulch coverage was reduced by 4% in mechanical and combined treatment (data not shown). Since the site in Obernjesa had a higher slope gradient than those in Sieboldshausen, the lateral transport of mulch with runoff and perhaps a preferential deposition of mulch from upslope on a rougher soil surface after hoeing could be responsible for masking the effect of hoeing on mulch coverage in Obernjesa.

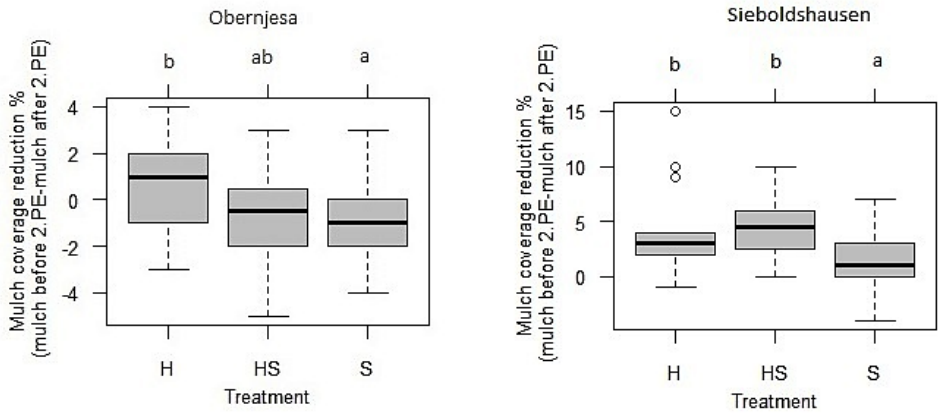


Fig. 1 The pairwise comparison of means by Tukey contrast after linear mixed modeling of mulch loss with fixed effect for treatment and random effect of a plot. Different letters denote significant differences (p-value<0.05).

Abb. 1 *Verminderung der Mulchbedeckung durch die zweite Nachauflaufbehandlung für verschiedene Unkrautbekämpfungstechniken. Paarweise Vergleiche der Gruppenmittelwerte mittels Tukey-Test nach Prüfung des Behandlungseffektes durch ein lineares gemischtes Modell. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede.*

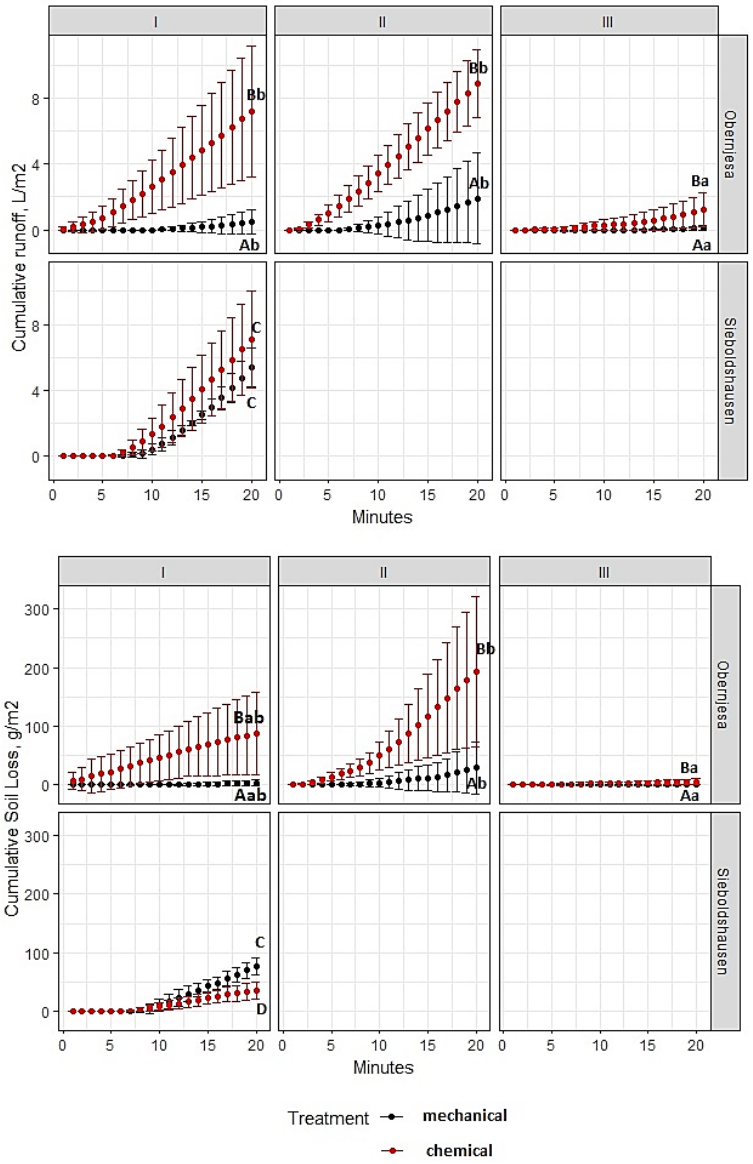


Fig. 2 Cumulative runoff and soil loss (mean±SD) measured by rainfall simulation events after weed control operations in Obernjesa and Sieboldshausen in 2019. Different capital letters denote significant differences between treatments, different small letter – among rainfall events O1, O2, O3.

Abb. 2 *Kumulativer Abfluss und Bodenabtrag (Mittelwert±SA) durch simulierten Starkregen nach den Nachauflaubehandlungen in Obernjesa und Sieboldshausen 2019. Verschiedene Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen mechanischer und chemischer Unkrautregulierung. Verschiedene Kleinbuchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Regensimulationen O1, O2, O3.*

Runoff and Soil Loss

In Sieboldshausen, the cumulative runoff did not differ between mechanical and chemical weed control treatments. But the cumulative soil loss was significantly higher for mechanical than for

chemical weed control with on average, 77 gm^{-2} and 36 gm^{-2} after 30 mm precipitation amount, respectively (Fig. 2). Also mean soil loss rate with on average 6.6 $gmin^{-1}m^{-2}$ was significantly higher in mechanical than 2.7 g $min^{-1}m^{-2}$ in chemical treatment. In Obernjesa, on the contrary, there was a significantly higher cumulative runoff and sediment loss under chemical compared to mechanical weed control (Fig. 2, Tab. 3). The onset of runoff from the rainfall simulation area occurred much later under mechanical than under chemical weed control. The presence of a tractor rut (O2) did not have a significant effect on cumulative runoff, but a one week delay in a rain event caused a severe drop in cumulative runoff in case of chemical weed control (Tab. 3).

Tab. 3 ANOVA summary for cumulative runoff and soil loss in Obernjesa.

Tab. 3 *ANOVA Zusammenfassung zum kumulativen Abfluss und Bodenabtrag in Obernjesa.*

Predictors	**Cum. Runoff, Lm^{-2}**		**Cum soil loss, gm^{-2}**	
	F-value	**Pr > F**	**F-value**	**Pr > F**
Experiment (O1,O2,O3)	9.82	0.0015**	7.59	0.004**
Treatment	30.78	<0.0001***	13.63	0.0015**
Mulch	8.17	0.011*	11.57	0.003**
Experiment:Treatment	1.32	0.29	1.42	0.27

Our working hypothesis of the enhanced soil erosion in sugar beet under mechanical in comparison to chemical weed control was confirmed only for Sieboldshausen. The higher soil roughness after hoeing was most probably responsible for a higher soil particle detachment at this site and caused therefore an observed increase in mean soil loss rate for mechanical treatment. In Obernjesa, hoeing, on the contrary, promoted infiltration in soil, shifting the onset of runoff and causing therefore a reduction in cumulative water and sediment loss. A severe reduction in cumulative runoff in Obernjesa caused by a one-week delay in rainfall application was most probably due to a significant increase in sugar beet coverage within this week (from 37% to 61% on average). The higher water interception reduced the amount of water reaching the soil surface.

Acknowledgement

The project is financially supported by the Federal Ministry of Food and Agriculture in frame of the federal program "Bundesprogramm ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN)" by a resolution of the German Bundestag. We thank Thorsten Gronemann, Christina Jung and other technicians for their contribution.

References

DIECKMANN, J., O. TOMANOVÁ, H. MILLER, H.-J. KOCH, 2004: Influence of continuous minimum tillage on soil erodibility. Proc. **67**. IIRB-Congress, 237-241.

JONES, R.J.A., Y.L. BISSONNAIS, J.S. DIAZ, O. DÜWEL, L. ØYGARDEN, P. BAZZOFFI, V. PRASUHN, Y. YORDANOV, P. STRAUSS, B. RYDELL, J.B. UVEGES, G. LOJ, M.L. VANDEKERCKHOVE, 2003: Work package 2: Nature and extent of soil erosion in Europe - Interim Report 3.31. EU Soil Thematic Strategy. Technical Working Group on Erosion. European Commission - GD Environment, Brussels.

PANAGOS, P., P. BORELLI, J. POESEN, C. BALLABIO, E. LUGATO, K. MEUSBURGER, L. MONTANARELLA, C. ALEWELL, 2015: The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. Environmental Sci. Policy **54**, 438-447.

SCHOLZ, G., J.N. QUINTON, P. STRAUSS, 2008: Soil erosion from sugar beet in Central Europe in response to climate change induced seasonal precipitation variations. Catena **72**, 91-105.

Systeme zur mechanischen und mechanisch-chemischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*) – Versuche in Niedersachsen

*Mechanical and mechanical-chemical weed control in sugar beets (*Beta vulgaris *subsp.* vulgaris*) - trials in Lower Saxony*

Goßwinth Warnecke-Busch[1*], Markus Mücke[2]

[1]Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Wunstorfer Landstraße 9, 30453 Hannover
[2]Landwirtschaftskammer Niedersachsen, FB Ökolandbau, Wunstorfer Landstraße 9, 30453 Hannover
*Korrespondierende Autorin, warnecke-busch@lwk-niedersachsen.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.041

Zusammenfassung

Im Ökolandbau wird seit einigen Jahren die Zuckerrübe wieder im Vertragsanbau von Nord- und Südzucker angeboten. Bei Nordzucker nimmt die Anbaufläche von Biozuckerrüben stetig zu. Im Ökolandbau müssen ausschließlich mechanische oder thermische Unkrautregulierungsverfahren eingesetzt werden. Das Kernziel ist, den kostenintensiven Aufwand für die Handhacke zu reduzieren. Flankierend ist die Unkrautregulierung mit reihenunabhängig arbeitenden Zinkenstriegeln oder der Sternrollhacke möglich. Das ist vor allem für Ökobetriebe eine zentrale Frage, da diese Technik in der Regel vorhanden ist.

Eine Möglichkeit der Reduktion von Herbiziden im konventionellen Zuckerrübenanbau bietet die mechanische und mechanisch-chemische Unkrautregulierung mit Scharhacken in Verbindung mit einer Bandspritzeinrichtung. Moderne kameragesteuerte Scharhacken mit Bandspritzeinrichtung können eine leistungsfähige Unkrautkontrolle ermöglichen, wenn sie effektiv ins konventionelle System eingebunden werden. Im praktischen Einsatz erweist sich dies jedoch als besondere Herausforderung, da die Kamerasysteme noch ihre Schwächen haben. So können kameragesteuerte Maschinen erst zum Einsatz kommen, wenn die Kulturpflanzenreihen von den Kamerasystemen genau erkannt werden. Dieses wird seit 2016 bei der Landwirtschaftskammer Niedersachsen untersucht.

Stichwörter: Hackmaschine, mechanische Unkrautbekämpfung, mechanisch-chemische Unkrautbekämpfung, Striegel

Abstract

In organic farming, sugar beet has been offered again for contract cultivation from Nord- und Südzucker for several years. At Nordzucker, the area of organically produced sugar beets is steadily increasing. In organic farming, only mechanical or thermal weed control methods are allowed to be used. The core objective is to significantly reduce the costs for the hand hoe. Weed control with independent working comb harrow or rotary hoe is also possible. This is a central question for organic farms, as this technology is usually available.

One option for the reduction of herbicides in conventional sugar beet cultivation is provided by mechanical and mechanical-chemical weed control with camera-controlled hoes in conjunction with a band spraying equipment. Modern camera-driven hoeing machines with band spraying equipment can enable efficient weed control if they are effectively integrated into the conventional system. This is being examined at the Chamber of Agriculture of Lower Saxony since 2016. However, the camera-controlled hoeing machines can only be used when the crop rows are accurately recognized by the camera systems. In practical use, however, this proves to be a special challenge, since the camera systems still have their weaknesses.

Keywords: Comb harrow, hoe, mechanical and mechanical-chemical weed control, mechanical weed control

Einleitung

In Niedersachsen nehmen Resistenzen gegen Herbizide bei Gräsern und vereinzelt auch bei Unkräutern deutlich zu, sodass auch im konventionellen Anbau über die Integration mechanischer Verfahren nachgedacht werden muss. Neben den Wirkstoffgruppen der ACCase-Hemmer und Photosynthese-Hemmer sind zunehmend die ALS-Hemmer resistenzgefährdet. *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti zeigen* auf vielen Standorten bereits multiple Resistenzen gegen mehrere Wirkstoffgruppen. Diese Entwicklung wurde besonders durch einseitigen Herbizideinsatz, enge Getreidefruchtfolgen (Winterweizen-Winterweizen-Raps) und zunehmenden Pflugverzicht aufgebaut. Darüber hinaus wurden bereits in den Jahren 2009 und 2010 in einem europäischen Monitoring 450 Proben von *Chenopodium album* auf die Punktmutation Ser264→Gly untersucht

(*KALFA*, 2010) untersucht. Betroffen ist die HRAC-Gruppe C der Photosynthese-Hemmer. Mittelfristig ist mit Resistenzen bei weiteren Unkräutern wie *Matricaria* spp.*, Stellaria media, Cyanus segetum*, aber auch Ungräsern wie *Bromus* spp.*, Echinochloa crus-galli* und *Avena fatua* zu rechnen. Weiterhin fallen immer mehr Wirkstoffe zulassungsbedingt weg oder ein Verzicht bzw. eine Reduktion wird in Wasserschutzgebieten vertraglich geregelt. Im Zuckerrübenanbau ist jüngst der Wirkstoff Desmedipham EU-weit nicht mehr zugelassen. Dies führt zu Schwierigkeiten für den konventionellen Zuckerrübenanbau bei der Regulierung resistenter Unkräuter. Vor diesem Hintergrund werden seit 2016 Versuche zur mechanisch-chemischen Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben bei der Landwirtschaftskammer Niedersachsen durchgeführt.

Die Rentabilität des Bio-Zuckerrübenanbaus hängt im Wesentlichen von dem Erfolg der Unkrautregulierung ab. Im Ökolandbau müssen ausschließlich mechanische oder thermische Unkrautregulierungsverfahren eingesetzt werden. Vor allem muss der Aufwand für die kostenaufwendige Handhacke so gering wie möglich gehalten werden. Eine zentrale Frage für Ökobetriebe ist die Möglichkeit des Einsatzes von reihenunabhängig arbeitender Zinkenstriegeltechnik in Zuckerrüben. Diese Technik ist in der Regel auf den Ökobetrieben vorhanden und es liegen bislang keine belastbaren Daten zum Striegeleinsatz in Zuckerrüben vor. Der Striegeleinsatz in Zuckerrüben wird seit 2017 vom Fachbereich Ökolandbau in Zusammenarbeit mit dem Pflanzenschutzamt der Landwirtschaftskammer Niedersachsen untersucht. Finanziell wird das Vorhaben vom Land Niedersachsen unterstützt.

Es besteht eine vergleichsweise hohe Skepsis in der Praxis, ob der Striegel überhaupt in Zuckerrüben einsetzbar ist, da hohe Rübenverluste erwartet werden. Die Kernfrage ist, in wie weit die Zuckerrüben in unterschiedlichen Entwicklungsstadien (BBCH 10 bis 16) auf den Zinkenstriegel mit Pflanzenverlusten reagieren.

Material und Methoden

Striegelversuch

Die Versuche wurden in Niedersachen auf Löß-Lehmstandorten (Ackerzahl 80) in der Region Hannover-Wolfenbüttel auf Praxisflächen von Landwirten angelegt und weitestgehend mit beim Versuchsbetrieb vorhandener Technik durchgeführt. In allen Versuchen betrug die Reihenweite der Zuckerrüben 45 cm.

Die Versuche zum Einsatz des Striegels in Zuckerrüben wurden im Jahr 2017 und 2018 (Abb. 1) mit einem 3 m Treffler Präzisions-Zinkenstriegel TS 320 und im Versuchsjahr 2019 (Abb. 2) mit einem 6 m Treffler Präzisions-Zinkenstriegel TS 620 durchgeführt. Die Striegelversuche sind 2017 und 2018 als Streifenversuch mit 2 echten und 8 unechten Wiederholungen und im Jahr 2019 als randomisierter Versuch mit vierfacher Wiederholung angelegt worden. Der Striegel wurde dabei in Särichtung mit zwei unterschiedlichen Einstellungen und Fahrgeschwindigkeiten eingesetzt. Ab dem Versuchsjahr 2018 wurde der Zinkenstriegel zusätzlich quer zur Särichtung eingesetzt. Um den Einsatz des Striegels zu testen, wurden die Versuche jeweils zu 4 bis 5 Terminen mit dem Striegel bearbeitet (Abb. 2): Blindstriegeln (BBCH 3-5), Keimblattstadium (BBCH 10), Zweiblattstadium (BBCH 12), Vierblattstadium (BBCH 14) und in den Jahren 2016 und 2017 auch im Sechsblattstadium (BBCH 16). Da der Präzisions-Zinkenstriegel der Firma Treffler sehr variabel eingestellt werden kann, wurden eine kulturschonende Variante (optimal) und eine extreme Variante (extrem), die nicht sehr kulturschonend ist, aber effektiv die kleinen Unkrautpflanzen beseitigt, gewählt. Das Striegeln quer zur Fahrtrichtung begann im Keimblattstadium der Zuckerrübe (BBCH 10) und wurde jeweils im Zweiblattstadium (BBCH 12) und im Vierblattstadium (BBCH 14) der Zuckerrübe fortgeführt. Zusätzlich wurde die Zuckerrübendrillmaschine mit zwei unterschiedlichen Zustreichersystemen ausgestattet, Farmflexrolle (FMR) und Fingerdruckrollen (FDR), um Unterschiede in der Striegelwirkung beim Blindstriegeln und im BBCH 10 herauszuarbeiten.

Die Parzellengröße in den Versuchsjahren 2017 und 2018 betrug 3 m Breite und 30 m Länge (Abb. 1). Im Jahr 2019 waren die Längsparzellen jeweils 6 m breit und 20 m lang sowie die Querparzellen

6 m breit und 24 m lang (Abb. 2). Die unbehandelten Kontrollen lagen jeweils rechts und links neben dem Versuch.

Die Bonitur umfasste ausschließlich die Verträglichkeit der Striegelmaßnahme auf die Kulturpflanze, d.h. auf einer Länge von 2 m wurden jeweils die Kulturpflanzenverluste ausgezählt.

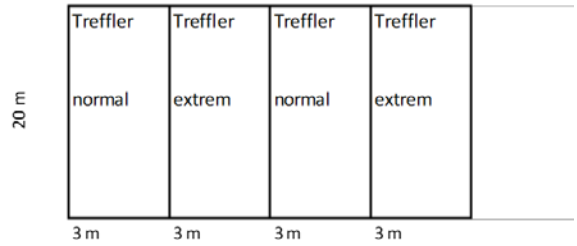
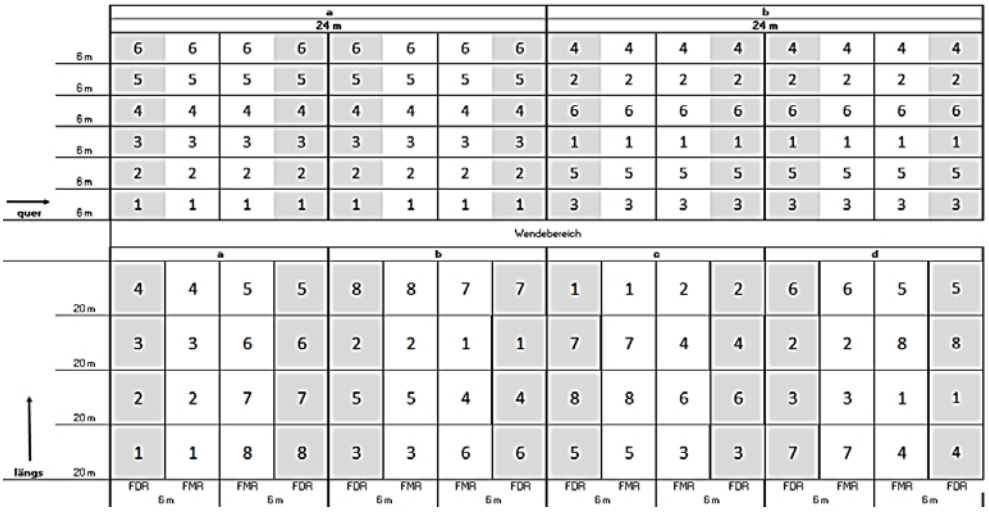


Abb. 1 Versuchsaufbau zur mechanischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben in den Jahren 2017 und 2018.

Fig. 1 *Experimental setup of mechanical weed control in 2017 und 2018.*



Varianten längs		Varianten quer		FDR = Fingerdruck
1	BBCH 5-9 normal	1	BBCH 10 normal	FMR = Farmflex
2	BBCH 3-5 extrem	2	BBCH 10 extrem	
3	BBCH 10 normal	3	BBCH 12 normal	
4	BBCH 10 extrem	4	BBCH 12 extrem	
5	BBCH 12normal	5	BBCH 14 normal	
6	BBCH 12 extrem	6	BBCH 14 extrem	
7	BBCH 14 normal			
8	BBCH 14extrem			

Abb. 2 Versuchsaufbau zur mechanischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben im Jahr 2019.

Fig. 2 *Experimental setup of mechanical weed control in 2019.*

Hackversuche

Versuche zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung wurden mit zwei 12-reihigen Hackmaschinen im Jahr 2016 und einer 18-reihigen Hackmaschine im Jahr 2019 durchgeführt. Alle Geräte waren mit Bandspritzeinrichtung ausgestattet. Zum Einsatz kamen eine 12-reihige Thyregod

TRV Hackmaschine mit angebauter Bandspritzeinrichtung sowie je eine 12- und 18-reihige Schmotzer KHR Hackmaschine mit angebauter Bandspritzeinrichtung. Alle Geräte waren im Heck des Schleppers angebaut und kameragesteuert. Die verwendeten Kameras (Claas Optitronic) sind in der Lage, 1-2 Kulturpflanzenreihen zu erkennen und die Maschinen über einen Verschieberahmen direkt zu steuern. Die Kameras erfassen die Kulturpflanzen ca. ab dem BBCH 12-14. Das System ist über einen Monitor direkt vom Fahrersitz aus bedienbar. Die Düsenkörper sind je nach Hersteller entweder mittig über der Kulturpflanzenreihe (Schmotzer) oder rechts und links oberhalb der Reihe (Thyregod) montiert. Über der Kulturpflanzenreihe sind die Düsenkörper für die Bandspritzung so angebaut, dass sie noch vor den Hackscharen die Kulturpflanzenreihe von oben mit je einer Bandspritzdüse (Schmotzer) oder zu beiden Seiten mit jeweils zwei asymmetrischen Düse (Thyregod) applizieren. Das Spritzband hat eine Breite von ca. 12 – 20 cm. Ein Vorratsbehälter für die Spritzflüssigkeit ist in der Fronthydraulik des Schleppers angebaut. Im Reihenzwischenraum erledigen bei allen Geräten jeweils drei 16 cm Gänsefuß-Hackschaare die Unkrautbekämpfung. Jede Kulturpflanzenreihe wird mittels zwei, jeweils rechts und links entlang der Reihen laufender Schutzseche (Thyregod) bzw. Zahnschutzrollen (Schmotzer) vor Erd- und Klutenwurf geschützt.

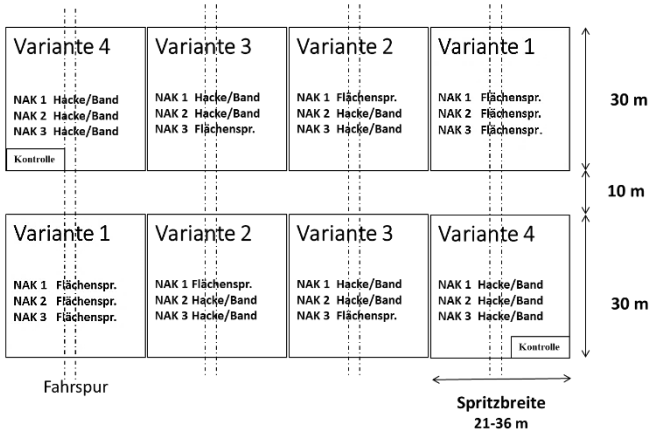


Abb. 3 Versuchsaufbau zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben in den Jahren 2016 und 2019.

Fig. 3 *Plan of the experiments on mechanical-chemical weed control in sugar beet.*

Die Versuche zur mechanisch-chemischen Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben wurden auf Praxisstandorten in Niedersachsen mit jeweils 5 Varianten durchgeführt. Die Varianten 1-4 sind in Tabelle 1 aufgeführt. Hinzu kommt noch eine unbehandelte Kontrolle.

Da die Versuche mit praxisüblichen Großgeräten durchgeführt wurden, musste die Parzellengröße entsprechend angepasst werden (Abb. 3). Die Breite einer jeden Parzelle der Varianten 1 bis 4 entspricht der Arbeitsbreite der Feldspritze auf dem jeweiligen Versuchsbetrieb, und beträgt 21 bzw. 36 m. Die Parzellen waren 30 m lang. Jeder Großversuch wurde mit 2 echten Wiederholungen angelegt. Zwischen den Wiederholungen befand sich ein 10 m breiter Rangierstreifen. Am Anfang der Variante 4 war auf einer Fläche von 3 x 2 m jeweils eine unbehandelte Kontrollfläche angelegt. Die eingesetzten Herbizide waren an die Verunkrautung des Standortes angepasst, aber am jeweiligen Standort in den Varianten zum jeweiligen NAK-Termin gleich. Da die eingesetzten Kameras zur Steuerung der Hackmaschinen die Kulturpflanzenreihen in Zuckerrüben nach eigenen Vorversuchen erst ab den BBCH 12-14 erfassen, ist zu diesem Zeitpunkt das Unkraut schon so groß, dass es mit den üblichen Herbizidaufwandmengen teilweise nur noch eingeschränkt bekämpft werden kann. Daher wurde in der Variante 2 im BBCH 10-11 zunächst eine Flächenbehandlung durchgeführt und zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Kameras der Hackmaschinen einwandfrei arbeiten konnten, noch zwei Hackgänge mit Bandbehandlung der Kulturpflanzenreihe nachgelegt.

In Variante drei ist dieses System umgedreht worden, auf zwei Hackgänge folgt eine Flächenbehandlung, die in den 1990er Jahren als „Versiegelungsspritzung" zum Abschluss der Hackmaßnahmen eingesetzt wurde. Hiermit sollte verhindert werden, dass Unkraut in den mehrmals gehackten Reihenzwischenräumen aufwachsen kann. Schließlich wurden in Variante 4 dreimal im Abstand von 10 – 14 Tagen die Hackmaschinen mit Bandspritzeinrichtung eingesetzt. In dieser Variante wurde der Reihenzwischenraum nie mit Herbiziden behandelt, auf die Kulturpflanzenreihe wurden dreimal Herbizide auf einer Breite von ca. 18-20 cm appliziert. Für die Ermittlung der Unkrautwirkung und der Ausdünnung durch die mechanischen Maßnahmen wurden in jeder Großparzelle jeweils 4 Boniturquadrate (Fläche 1 m x 1 m) zufällig ausgesteckt. In diesen festen Boniturstellen wurde innerhalb der Kulturpflanzenreihe und zwischen den Kulturpflanzenreihen getrennt voneinander, gemäß EPPO-Richtlinie PP1/93(3), der Wirkungsgrad bonitiert. Für die Ermittlung der Ausdünnung wurden an den Boniturquadraten die Zuckerrübenpflanzen auf einer Länge von 2 m gezählt. Eine Beerntung fand nicht statt.

Ergebnisse

Ergebnisse Striegelversuch

Die dreijährigen Versuchsergebnisse (Tab. 1 und 2) zum Striegeleinsatz in Zuckerrüben zeigen, dass im frühen Keimblattstadium (BBCH 10-11) der Rüben ein hohes Risiko von Pflanzenverlusten besteht. Erst ab dem zweiten Laubblattpaar (BBCH 12) der Rüben verbessert sich die Striegelverträglichkeit deutlich. In späteren Entwicklungsstadien (BBCH 14 und 16) traten kaum noch Verluste auf. Vielversprechend schnitt auch das Striegeln quer zur Särichtung ab. Hier liegen erst zweijährige Versuchsergebnisse vor. Es zeigte sich aber, dass auch hier die Zuckerrübe ab dem BBCH 12 eine gute Striegelverträglichkeit aufweist.

Bei den aggressiver eingestellten Striegelvarianten „Striegel extrem" (Tab. 1 und 2) konnten besonders bei den frühen Terminen (BBCH 10 und 11) deutlich höhere Zuckerrübenverluste als in den Varianten „Striegel normal" beobachtet werden.

Tab. 1 Ergebnisse der mechanischen Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben in Dorstadt 2017.

Tab. 1 *Results of the experiments on mechanical weed control in sugar beet in Dorstadt 2017.*

Kontrolle 100.000 Pflanzen/ha

	VA 07.04. 2017 BBCH 5	**Verlust Pflanzen %**	**NAK1 20.04. 2017 BBCH 10**	**Verlust Pflanzen %**	**NAK 2 28.04. 2017 BBCH 12**	**Verlust Pflanzen %**	**NAK 3 12.05. 2017 BBCH 14**	**Verlust Pflanzen %**	**NAK 4 18.05. 2017 BBCH 16**	**Verlust Pflanzen %**
Treffler	3 km/h Stellg 7	7	3 km/h Stellg 7	1,4	3 km/h Stellg 7	0	5,5 km/h Stellg 8,5	0	5,5 km/h Stellg 8,5	0
Treffler	3 km/h Stellg 8,5	29	4,2 km/h Stellg 7	1,4	3 km/h Stellg 8,5	0	7 km/h Stellg 8,5	0	7 km/h Stellg 8,5	0

Es haben sich aber auch weitere Versuchsfragen ergeben. Bei der Rübenaussaattechnik stehen verschiedene Zustreicher wie z. B. Fingerdruckrollen oder Farmflexrollen zur Verfügung, die wiederum einen unterschiedlichen Saathorizont hinterlassen. Hier werden verschiedene Auswirkungen auf die Rübenverluste durch das Striegeln insbesondere in den kleinen Entwicklungsstadien erwartet. Diese Fragestellung ist 2019 (Tab. 3 und 4) in den Versuch aufgenommen worden. Allerdings zeigten sich im ersten Jahr keine belastbaren Unterschiede, was auf den sehr lockeren und trockenen Boden zum Zeitpunkt der Rübenaussaat zurückzuführen sein dürfte. Die beiden unterschiedlichen Zustreicher hinterließen dadurch kein deutlich differenziertes Säbild nach der Saat. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse zusammengefasst dargestellt.

Tab. 2 Ergebnisse der mechanischen Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben in Dorstadt 2018.

Tab. 2 *Results of the experiments on mechanical weed control in sugar beet in Dorstadt 2018.*

Kontrolle 107.000 Pflanzen/ha

	NAK1 18.04.2018 BBCH 10	**Verlust Pflanzen %**	**NAK2 02.05.2018 BBCH 12-14**	**Verlust Pflanzen %**	**NAK 3 21.05.2018 BBCH 18**	**Verlust Pflanzen %**
Treffler	4 km/h Stellg 7	22	4 km/h Stellg 7	5	4,5 km/h Stellg 8	0
Treffler	3 km/h Stellg 9	22	5 km/h Stellg 7	55	6 km/h Stellg 9	0

Tab. 3 Ergebnisse der mechanischen Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben in Hohenassel 2019.

Tab. 3 *Results of the experiments on mechanical weed control in sugar beet in Hohenassel 2019.*

Kontrolle 104.000 Pflanzen/ha

Variante	**Einstellung Normal**	**Verlust in %**	**Einstellung Extrem**	**Verlust in %**
VA BBCH 0-3 17.04.2019	4 km/h Stellg. 2	4	4 km/h Stellg. 4	2
NAK1 BBCH 10 26.04.2019	3 km/h Stellg. 2	20	4 km/h Stellg. 4	69
NAK 2 BBCH 10-11 7.05.2019	3 km/h Stellg. 3	7	4 km/h Stellg. 4	26
NAK 3 BBCH 12 13.05.2019	4 km/h Stellg. 3	6	5 km/h Stellg. 4	6
NAK 4 BBCH 14 24.05.2019	5 km/h Stellg 5	0	6,5 km/h Stellg 7	1

Tab. 4 Ergebnisse der mechanischen Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben Hohenassel 2019 quer zur Fahrtrichtung.

Tab. 4 *Results of the experiments on mechanical weed control in sugar beet transverse to direction of travel in Hohenassel 2019.*

Kontrolle 104.000 Pflanzen/ha

Variante	Einstellung Normal	Verlust in %	Einstellung Extrem	Verlust in %
NAK1 BBCH 10 26.04.2019	2,3 km/h Stellg. 2	18	3 km/h Stellg. 3	21
NAK 2 BBCH 10-11 7.05.2019	3 km/h Stellg. 2	3	4 km/h Stellg. 3	26
NAK 3 BBCH 12 13.05.2019	3 km/h Stellg. 3	3	4 km/h Stellg. 4	10
NAK 4 BBCH 14 24.05.2019	4 km/h Stellg 7	0	5 km/h Stellg 8	0

Ergebnisse Hackversuch

In dem Versuch zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben wurden eine konventionelle Variante und drei Vergleichsvarianten mit Hacke plus Bandspritzeinrichtung gegenübergestellt (Abb. 3).

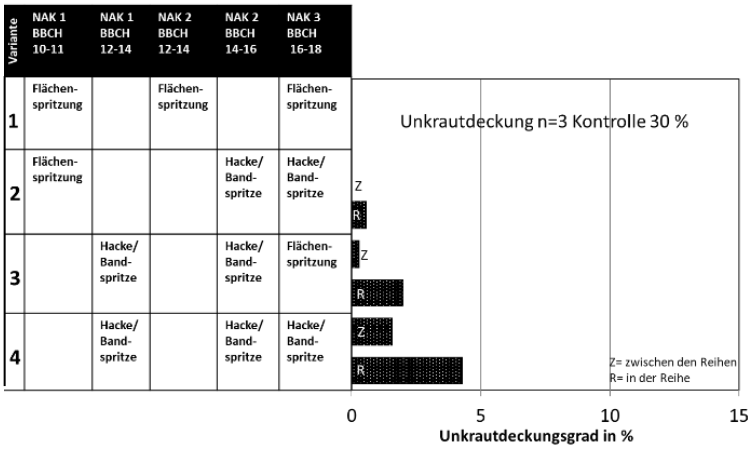


Abb. 4 Ergebnisse der Versuche zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung mit Hackmaschinen plus Bandspritzeinrichtung in Zuckerrüben 2016.

Fig. 4 *Results of the experiments on mechanical-chemical weed control with cultivators including band sprayer in sugar beets 2016.*

Die drei Versuche aus dem Jahr 2016 (Abb. 4) zeigen, dass die konventionelle Variante mit drei Flächenbehandlungen ohne Verunkrautung geblieben ist. Die Variante 2 ist die Beste der Varianten mit Hacke plus Bandspritzeinrichtung. In der NAK 1 wurde durch die Flächenspritzung das Unkraut bekämpft. Die späteren Hackeinsätze konnten die Verunkrautung im Reihenzwischenraum erfolgreich bekämpfen und in der Kulturpflanzenreihe sind nur wenige Unkrautpflanzen stehen geblieben. Zumeist handelt es sich um Unkrautpflanzen, die dicht neben oder unter den Kulturpflanzen gewachsen sind. In der Variante 3 bleiben im Mittel 1 % Unkrautdeckung im Reihenzwischenraum durch nachgewachsene Unkräuter auf dem Feld. Die abschließende

Flächenspritzung konnte die großen Unkräuter in der Kulturpflanzenreihe, die teilweise höher als die Kulturpflanze selbst waren, oder, wie bei Knötericharten, die größere Teile des Erdbodens bedeckt haben, nicht mehr bekämpfen. Das schlechteste Regulierungsergebnis zeigt die Variante 4 mit Unkrautdeckungsgraden von 4 % in der Kulturpflanzenreihe und 2% im Reihenzwischenraum. Dies macht eine Nacharbeit mit der Handhacke erforderlich.

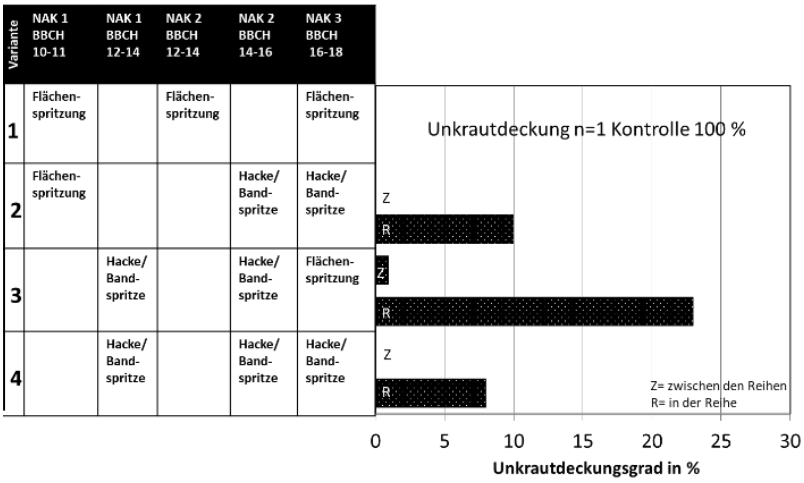


Abb. 5 Ergebnisse der Versuche zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung mit Hackmaschinen plus Bandspritzeinrichtung in Zuckerrüben 2019.

Fig. 5 *Results of the experiments on mechanical-chemical weed control with cultivators including band sprayer in sugar beets 2019.*

Unser Versuch aus 2019 wurde erstmalig ausschließlich mit Herbiziden ohne Phenmedipham und Desmedipham durchgeführt. Daher rühren auch die deutlich schlechteren Regulierungserfolge in den Kulturpflanzenreihen der jeweiligen Varianten 2-4 (Abb. 5). Die Variante 1 blieb dabei unkrautfrei. In der Variante 2 finden sich in der Kulturpflanzenreihe noch 10 % Unkräuter. Die schlechteste Variante ist in diesem Versuch die Variante 3 mit 23 % Unkrautdeckung in der Zuckerrübenreihe. Zum Zeitpunkt der Flächenspritzung waren die Unkräuter, vor allem *Chenopodium album* und *Polygonum convolvulus* so groß, dass sie mit den eingesetzten Herbizidaufwandmengen nicht mehr ausreichend bekämpft werden konnten. Die Variante 4 weist einen unkrautfreien Reihenzwischenraum auf und 8 % Verunkrautung in der Kulturpflanzenreihe.

Die vornehmlich trockenen Witterungsbedingungen und der fehlende Niederschlag in den Monaten Mai bis August 2019 hatten zur Folge, dass insbesondere in den mechanisch bearbeiteten Bereichen der Reihenzwischenräume in den Varianten 2 und 4 keine weiteren Unkräuter aufliefen. Daher zeigten sich diese Bereiche auch unkrautfrei (Abb. 5). Im Jahr 2016 fielen im Monat Mai und Juni etwas mehr Niederschläge, was zur Folge hatte, dass besonders in Variante 4 im Reihenzwischenraum erneut Unkrautpflanzen aufgelaufen sind.

In den Hackversuchen gab es keine Kulturpflanzenverluste, solange die Kameras die Kulturpflanzenreihen auch erkennen konnten. Bei zu kleinem oder unregelmäßig aufgelaufenem Kulturpflanzenbestand, einer vollständigen Bodenbedeckung durch Unkräuter und fast geschlossenen Reihen erkennen die Kameras die Kulturpflanzenreihen nicht. Probleme ergaben sich auch bei starker Sonneneinstrahlung und Schattenwurf am Waldrand. Die Fahrgeschwindigkeiten lagen bei 5 bis 10 km/h. Die Abschlussbehandlung im NAK 3 erfolgte mit 12 bis 15 km/h. Dabei kommen die Hackwerkzeuge im günstigsten Fall auf bis 3-4 cm an die Kulturpflanzenreihe heran.

Die Bandspritzdüsen befinden sich bei beiden Geräten immer vor den Hackscharen. So werden die Blätter der behandelten Pflanzen erst mit dem Spritzmittelfilm behandelt und danach erst durch aufgewirbelten Erdboden der Hackaggregate eingestaubt. Das beeinträchtigt die Wirkung der Herbizide nicht, führt aber, nach Vorversuchen im Gewächshaus, zu einer um circa 2-4 Tage verzögerten Wirkung.

Diskussion

Ein Striegeleinsatz in Zuckerrüben kann ab dem BBCH 12 in die Unkrautregulierungsstrategie mit eingeplant werden. Auffällig ist aber, dass im Rübenstadium BBCH 14 selbst in der Striegelvariante mit der höheren Intensität die Verluste auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau blieben.

Auch das Querstriegeln ist ab dem BBCH 12 möglich. Es kann eine gute Ergänzung nach dem Einsatz der Scharhacke sein, um die Unkräuter im schmalen unbearbeiteten Bereich innerhalb der Rübenreihen zu regulieren. Die Datengrundlage ist aber für gesicherte Aussagen noch zu gering. Zum Striegeleinsatz sind dabei die nachfolgenden grundsätzlichen Parameter zu beachten (MÜCKE et al., 2019).

Am wirksamsten ist der Striegel, wenn sich die Ungräser und Unkräuter im frühen Fädchen- bis Keimblattstadium befinden. Die wesentliche Wirkung des Striegels beruht auf dem Verschütten oder dem Freilegen der jungen Pflanzen, die besonders schnell bei sonnigem und windigem Wetter vertrocknen.

Die Bodenoberfläche sollte deshalb zum Striegelzeitpunkt abgetrocknet und schüttfähig sein. Regelmäßige Schlag- und Wetterbeobachtungen sind wichtig, um die Striegelmaßnahmen zielgerichtet durchführen zu können.

Spätestens ab dem zweiten Laubblattpaar der Unkräuter lässt die verschüttende Wirkung deutlich nach. Mit Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit lässt sich diese zwar erhöhen, allerdings zulasten der Kulturverträglichkeit.

Die Einsatztermine werden primär von der Unkrautgröße und der Witterung bestimmt. Striegeleinstellung und Arbeitsgeschwindigkeit werden von zahlreichen Faktoren wie Bodenzustand, Kulturstadium und Saattiefe beeinflusst.

Die Hacke kann mit ihren schneidenden Werkzeugen (Gänsefußschare) im Gegensatz zum Striegel auch größere Unkräuter noch effektiv regulieren. Diese Werkzeuge brechen, wie von PARISH (1990) gefordert, neben der eigentlichen Unkrautregulierung auch die Bodenoberfläche auf und verbessern so die Bodenbeschaffenheit. Im Versuchsjahr 2016 herrschten trockene Versuchsbedingungen und im Jahr 2019 sogar eine extreme Trockenheit, was einen Neuauflauf von Unkräutern im gehackten Reihenzwischenraum verhinderte. In nassen Jahren mit viel Niederschlag kann es zu erneuten Unkrautwellen kommen, die dann zusätzlich mechanisch reguliert werden müssen. Das führt zu häufigerem Einsatz der Hackmaschine oder zu kostenintensivem manuellen Nacharbeiten. EßER (2018) führte an, dass die mechanische Unkrautregulierung in vier von fünf Jahren gelingt, und man in Problemjahren mit Flächenbehandlungen nacharbeiten muss. Dabei fallen wegen größerer Unkräuter höhere Aufwandmengen oder Splittingmaßnahmen an, die mit zusätzlichen Kosten zu Buche schlagen. Der Einsatz der Bandspritze reduziert den Pflanzenschutzmittelaufwand in der 45-er Reihe um 40 bis 60 %, je nachdem, wie breit das Spritzband gewählt ist. In Abbildung 6 sind die Kosteneinsparungen beispielhaft gerechnet. Die Pflanzenschutzmittelkosten reduzieren sich bei 18 cm Bandbreite auf 40 %.

- **Hacke-Band Beispiel**

1 NAK BBCH 14	2. NAK BBCH 16	3.NAK BBCH 18
Belvedere Extra 1,25	Belvedere Extra 1,25	Belvedere Extra 1,25
Metafol 1,0	Goltix Titan 2,0	Goltix Titan 2,0
Debut 0,2	Debut 0,2	Debut 0,2
Trend 0,25	Trend 0,25	Trend 0,25 Hasten 0,5

Herbizidaufwand ja Hektar

Gesamtmenge	Herbizid	Preis €	Kosten €/ha
3,75 L/ha	Belvedere Extra	32,30	121,12
4,0 l/ha	Goltix Titan	38,20	152,8
1,0 l/ha	Metafol	42,20	42,80
0,06 g/ha	Debut 0,6 + Trend 0,25	1275,49	76,53
0,5 l/ha	Hasten	11,00 **SUMME**	5,5 **389,75 €/ha**

27 m Spritze
3x10,50
=31,50 €

Tatsächliche Herbizidkosten bei Bandbreite 18 cm: 155,89 € + Maschinenkosten 3 x 60,- €/ha
KOSTEN GESAMT: 335,89 €

Stand Mai 2019

Abb. 6 Kosten für die mechanisch-chemische Unkrautregulierung mit Hackmaschine plus Bandspritzeinrichtung in Zuckerrüben 2019.

Fig. 6 *Costs for mechanical-chemical weed control with cultivators including band sprayer in sugar beets. 2019.*

Fazit

Der Zinkenstriegel kann und sollte in die Unkrautregulierungsstrategie, insbesondere im ökologischen Zuckerrübenanbau integriert werden. Sowohl in als auch quer zur Särichtung der Zuckerrübe ist ein Einsatz ab dem BBCH 12 möglich. Das Querstriegeln kann eine gute Ergänzung nach einem Einsatz der Scharhacke sein, um die Unkräuter im schmalen ungehackten Bereich innerhalb der Rübenreihen zu regulieren.

Mechanische und mechanisch-chemische Unkrautregulierung in Zuckerrüben ergänzen sich optimal. Die Zahl der Überfahrten kann die mechanische Unkrautregulierung teurer als den chemischen Pflanzenschutz machen. Bei Resistenzproblemen, durch den Wegfall von Wirkstoffen oder auch bei regelmäßig verschlämmten Böden haben Striegel und Hacke jedoch deutliche Vorteile. Ohne den Striegel kann die mechanisch-chemische Unkrautregulierung (vgl. Variante 2) eine sinnvolle Ergänzung im konventionellen System der Unkrautregulierung darstellen.

Literatur

EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANISATION (EPPO): EPPO-Richtlinie PP1/93(3) Weeds in cereals.

EßER, C., 2018: Hacken-eine Perspektive in Zuckerrüben. LZ **19**/2018, 15-18.

KALFA, A.V., 2010: Aktuelle Ergebnisse aus dem Monitoring zur „target site" Resistenz bei *Chenopodium album* Herkünften aus Deutschland und verschiedenen europäischen Ländern in Zuckerrüben - Bedeutung für die Praxis, 2. Herbizidsymposium Zuckerrübe von FCS am 18.11.2010 in Göttingen.

KÖNIG, H.P., A. MEYERCORDT, H.J. KOCH, 2005: Zuckerrüben ökologisch anbauen. Weender Druckerei, Göttingen.

MÜCKE, M.; C. KREIKENBOHM, F. ROHLFING, 2019: Leitfaden Striegeleinsatz im ökologischen Getreidebau. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Hannover.

PARISH, S., 1990: A review of Non-Chemical Weed Control Techniques. In: Biological Agriculture and Horticulture **7**, 117–137.

Future management of arable perennials - an introduction to the project AC/DC-weeds

Zukünftiges Management perennierender Unkräuter – eine Einführung in das Projekt AC/DC-weeds

Han Zhang[1] , Sabine Andert[1], Lars Olav Brandsæter, Jesper Rasmussen[3], Marie-Helene Robin[4], Jukka Salonen[5], Kirsten S. Tørresen[6], Muriel Valantin-Morison[7,], Bärbel Gerowitt[1*]

[1]Crop Health, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, University of Rostock, Satower Straße 48, 18051 Rostock, Germany
[2] Department of Plant Sciences, Faculty of Biosciences, Norwegian University of Life Sciences, Ås, Norway
[3] Department of Plant and Environmental Sciences, University of Copenhagen, Taastrup, Denmark
[4] INRA INP Toulouse École d'Ingénieurs de Purpan, UMR 1248 AGIR, 31076 Toulouse, France
[5] Natural Resources Institute Finland (Luke), Jokioinen, Finland
[6] Department of Invertebrate Pests and Weeds in Forestry, Agriculture and Horticulture, Norwegian Institute of Bioeconomy Research, Ås, Norway
[7] UMR Agronomie, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850, Thiverval-Grignon, France
*Corresponding author, baerbel.gerowitt@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.042

Abstract

Creeping perennial weeds have strong negative impacts on arable production. The common control practices are intensive inversion tillage and chemical herbicides. However, these traditional methods negatively affect non-target species and the environment.

The objective of the SusCrop-ERA-NET funded European project 'AC/DC-weeds' is to implement agro-ecological management for creeping perennials in arable farming. The overall aim of this project is to reduce plough-tillage in organic and conventional farming, and to replace glyphosate in the latter system. From 2019 to 2022, this project involves seven partners from five European countries. Focusing on three important perennial species in central and northern Europe (*Sonchus arvensis*, *Cirsium arvense* and *Elymus repens*), AC/DC-weeds will thoroughly study the ecology and agronomical management of these species through systematic literature reviews and experiments. Novel agro-ecological management of these species is examined in field experiments and semi-field approaches. Innovative technology will be used to identify and monitor the distribution of these weeds on fields. Qualitative models are developed to make use of existing knowledge and expertise of the influences on perennial infestations in management decisions. A graphic web tool will enable visualization of the growth of the species and the effects of weed management. Environmental and economic evaluations on different weed management accompany the experimental and modelling work.

Keywords: Agro-ecological management, *Cirsium arvense,* competition, creeping perennial weeds, disturbance, *Elymus repens, Sonchus arvensis*

Zusammenfassung

Mehrjährige Wurzelunkräuter beeinträchtigen die ackerbauliche Produktion. Verbreitete Bekämpfungspraktiken sind intensive wendende Bodenbearbeitung und chemisch-synthetische Herbizide. Diese gebräuchlichen Methoden haben allerdings unerwünschte Effekte auf Nicht-Ziel-Organismen und die Umwelt.

Ziel des SusCrop-ERA-NET geförderten Europäischen Projekts 'AC/DC-weeds' ist es, agrarökologisch basiertes Management von mehrjährigen Wurzelunkräutern zu etablieren. Beiträge zur Reduktion von wendender Bodenbearbeitung in ökologischen und konventionellen Ackerbau und dem Ersatz von Glyphosat in letzterem zu liefern, sind die übergeordneten Aufgaben. Getragen von sieben Partnern aus fünf europäischen Ländern läuft das Projekt von 2019 bis 2022. Drei wichtige mehrjährige Arten in Nord- und Zentral-Europa werden fokussiert (*Sonchus arvensis, Cirsium arvense* und *Elymus repens*). Zu diesen Arten erfasst AC/DC-weeds Ökologie und Wirkungen des agronomischen Managements mit Experimenten und einer systematischen Literatur-Recherche. Neues agrar-ökologisches Managements der Arten wird in Feldversuchen und Semi-Feld Versuchen untersucht. Für die Erfassung werden innovative Technologien eingesetzt, um der nesterweisen Verteilung im Feld gerecht zu werden. Qualitative Modelle nutzen Wissen zu den Einflussfaktoren auf das Vorkommen von mehrjährigen Unkräutern, um sie für Entscheidungen nutzbar zu machen. Das Wachstum der Arten und die Effekte des Managements werden einfach und grafisch in einer Web-Anwendung visualisiert. Die Versuche und Modellierungen werden begleitet durch eine Umweltbewertung- und ökonomische Kalkulationen.

Stichwörter: Agrar-ökologisches Management, ausdauernde Unkräuter, *Cirsium arvense, Elymus repens*, Konkurrenz, *Sonchus arvensis*, Störung

Introduction

Creeping perennial weeds have strong impacts on arable production, causing crop quantity and quality losses unless controlled. In the short term, these losses are obvious in the main crop, when weed plants compete for resources with the crop plants. Moreover, weeds develop surviving strategies which influence the long-term success in cropping systems including the sequence of all main crops and the period between.

In central and northern Europe, *Sonchus arvensis* (perennial sowthistle), *Cirsium arvense* (creeping thistle) and *Elymus repens* (couchgrass) are the three major perennial weeds occurred in arable lands. Creeping perennials ensure their lifeform by subterranean storage organs, like roots or rhizomes. Their subterranean clonal systems facilitate survival and spatial spread in arable fields by vegetative sprouting. Classified as geophytes which regenerate their above ground plant biomass from subterranean sources, they can in general occur in different agroecosystems like grazed pastures, arable fields cropped with annual crops and perennial crops (e.g., orchards). Some creeping perennial species are strongly adapted to arable land where frequent disturbance occurs and competitive conditions vary depending on crops and their sequence.

The common practices of arable farmers to control these creeping perennial weeds are intensive inversion tillage and herbicides (especially glyphosate; Soane et al., 2012; Salonen et al., 2013; Andert et al., 2018). However, intensive inversion tillage by ploughing not only consumes lots of energy (Tullberg et al., 2007), but also diminishes the soil biological activities (Pimentel et al., 1995; Leys et al., 2007; Knapen et al., 2008). Indiscriminate use of herbicides has side effects on human health, non-target species, and the wider environment (e.g., water quality) (Niemann et al., 2015). Agro-ecological management claims that sustainable agricultural systems should rely as much as possible on ecological processes to ensure long-term food security, human health and environmental protection (Duru et al., 2015). Indeed, integrated weed management for perennial weeds demands to explore, compare and evaluate such novel strategies.

The AC/DC-weeds Project

The objective of AC/DC-weeds is to implement more and better agro-ecological management for creeping perennials in arable farming. The overall aim of this project is to reduce plough-tillage in organic and conventional farming, and to replace glyphosate in the latter system.

Funded by SusCrop ERA-NET, AC/DC-weeds is a multi-national project involving seven partners from five EU member states. Started on 1st April 2019, the duration of this project is three years. Its partners include University of Rostock (Germany), Norwegian University of Life Sciences and Norwegian Institute of Bioeconomy Research (Norway), Natural Resources Institute Finland (Finland), University of Copenhagen (Denmark), INRA - AGroecologies, Innovations & Ruralities and INRA Environment and Agronomy (France).

This project includes seven work packages (WP), with the key structure and methodology summarised in Figure 1.

The main emphasis of AC/DC-weeds is to expand ecological data and knowledge for three perennial species (*Sonchus arvensis, Cirsium arvense* and *Elymus repens*) by investigating how disturbance and competition suppress the reproductive capacity of creeping organs and the spread of the species (Fig. 1, WP Species).

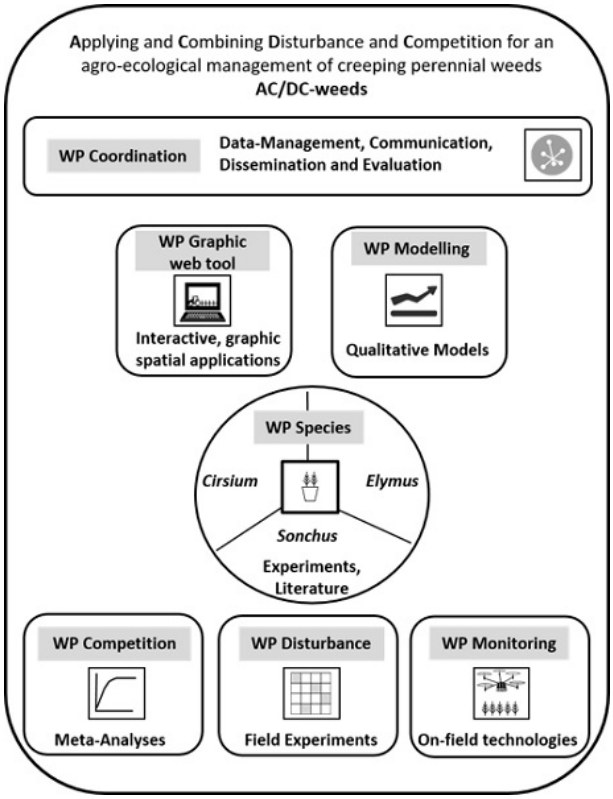


Fig. 1 AC/DC-weeds in a nutshell.

Abb. 1 *AC/DC-weeds auf einen Blick.*

Sonchus arvensis is native to Europe and Asia (LEMNA and MESSERSMITH, 1990). As weed it is especially problematic in Northern Europe in arable crops. The species reproduces vegetatively by creeping thickened roots and by an abundant seed production (LEMNA and MESSERSMITH, 1990). The creeping roots are located from 5-12 cm in soil and produce aerial shoots and long vertical roots from adventitious buds. Clonal spread may vary from 0.5 to 2.8 m per year and seeds may be spread by wind for up to 10 m distance (LEMNA and MESSERSMITH, 1990). The growth of roots fragments planted in autumn the previous year or in spring may give 1.5-2.2 m to 10-15 m long thickened roots (TØRRESEN et al., 2010). The creeping roots survive during winter to the next spring. *S. arvensis* is sensitive to light and to crop competition (VANHALA et al., 2006). There are few studies on the effect of competition on *S. arvensis*.

Cirsium arvense, native to Europe, today occurs in arable and grasslands in temperate zones all over the world. *C. arvense* has an expanded root system which can reach 3 m deep into the soil (TILEY, 2010). The plant expands in patches with adventitious roots. Nevertheless, sexual reproduction is important for the dioecious species, resulting in high genetic diversity even in patches (HETTWER and GEROWITT, 2004; BOMMARCO et al., 2010). *C. arvense* is very sensitive to light competition (DAU, 2012). Ploughing disturbs the plant only superficially but the effect is highly related to timing and depth (BRANDSÆTER et al., 2011; 2017). Like for other perennials it is a fundamental requirement to understand the species reaction to disturbance and competition both below and above ground - for *C. arvense* this is additionally complicated due to the dioecious reproduction.

Elymus repens is widespread throughout the world. It propagates through both seeds and underground rhizomes, which function as overwintering organs. Vegetative cloning is more

important than sexual reproduction in maintaining its population (WERNER and RIOUX, 1977). The majority of undisturbed rhizome networks tend to be located in the top 10 cm of the soil, easily reachable with tillage equipment. The highest potential for rhizome production is in summer, though even at relatively high latitudes growth can continue throughout the autumn (BOSTRÖM et al., 2013). *E. repens* displays a high morphological variation and the efficacy of different control methods shows a strong temporal and spatial variation: e.g. soil cultivation (RINGSELLE et al., 2016), rhizome fragmentation and/or mowing (BRANDSÆTER et al., 2012; LÖTJÖNEN and SALONEN, 2016; BERGKVIST et al., 2017). Under favourable growing conditions rhizome fragmentation in a growing crop can significantly reduce *E. repens'* rhizome production (BERGKVIST et al., 2017; RINGSELLE et al., 2018), however, it does not necessarily reduce the growth of this weed (KOLBERG et al., 2018).

All sources of literature on biology and control measures of the three species are collected and results systemized. Small-scale experiments with three weed species will implement factors disturbance of the above/below-ground parts and competition, either separately or in combination at different growth stages of weeds. Based on literature and experiments, species-specific ecological rules will be outlined on growth strategies, storage and spread (space, time, and soil depth) affected by disturbance and competition.

Continuous and strong competition is one strategy to suppress perennials. In periods between main crops, light competition can be enhanced by cover crops. In the WP Competition (Fig. 1) we collect reports on perennial weeds from experiments with cover crops and perform a meta-analysis to identify conditions for suppression. Traits of cover and companion crops describing and explaining the performance will be selected.

Disturbance is another strategy to manage perennials. We investigated disturbance in field experiments (WP Disturbance, Fig. 1). Two ways of disturbing the plants are tested: root cutting and defoliation. For root cutting a prototype provided by a committed partner is tested. Bio-based herbicides are applied to test their effect of defoliation. As treatments with cover crops are included in the experiments, an ambitious goal is to test whether disturbance and competition can be combined.

Perennial weeds grow in patches, which complicate weed control experiments, population studies and the estimation of their competitive abilities. The patchy distribution of perennial weeds calls for site-specific weed management, which requires cost-effective weed monitoring. We investigate to monitor perennial field infestations with unmanned aerial vehicle (UAV) imagery because UAV data collection is cost-effective and new weed detection methods based on aerial images show promising potentials. Success criteria will be detection accuracy, capacity, cost-effectiveness and ease of use. To benefit from the fast-developing research of image analysis (e.g. convolutional neural networks), annotated images will be shared to make validation and benchmarking possible for computer scientists.

The work on experiments, meta-analyses and detection algorithms mentioned above will widen our knowledge on agro-ecological processes determining the species success in arable farming. Besides, two products will pave the way for practical implementations: a qualitative decision model (WP Modelling, Fig. 1) and a web-visualisation of the growth of the perennial species above and below ground (WP Graphical Web Tool, Fig. 1).

The general aim of WP Modelling is to provide models to integrate agro-ecological management decisions for perennials weeds. Perennials resist the way of population modelling because of their clonal lifestyle with subterranean connections and storage. Modelling populations of these species must rely on new approaches, which includes spatial information and the subterranean part of the infestations. However, there is very few quantitative data, especially of the below ground part. Qualitative modelling can be used to overcome the shortage in full quantitative data when expertise, knowledge and weak data are available. For this purpose, AC/DC-weeds partners join data and expertise. An innovative modelling framework named IPSIM (Injury Profile SIMulator) will be used (AUBERTOT and ROBIN, 2013). This qualitative modelling platform provides a tool to design

aggregative qualitative network models to predict the impact of cropping practices, soil, weather and field environment on infestations of perennials. A dataset representing a range of weather patterns, soils and cropping practices will be compiled to assess the predictive quality of the models in comparing simulated and observed values. We aim to develop three models (one for each weed species of interest).

Regarding the patch building of creeping perennial and the definite need for a long-term agro-ecological management, innovative method of visualizing field infestations will be used (WP Graphic web tool, Fig. 1). Easily accessible, specific information underpinned with understandable illustrations will improve interest Understanding the effects of applying and combining disturbance and competition on perennial is crucial for agro-ecological management. Therefore, the tool will allow farmers and advisors to explore how managements affect perennial infestations and thus, to understand the consequences of different applications of disturbance and competition on field infestations.

Besides being effective against perennials, agro-ecological management should be more sustainable compared to the common practice. Environmental and economic effects of the perennial weed management will be investigated for both common practices and alternative methods investigated in this project. An environmental impact assessment (EIA) is adapted and applied. This approach takes into account all relevant impacts, including energy use. The energy use efficiency will also be compared between management approaches. Cost-effectiveness analyses will be conducted to estimate the relative effectiveness of different perennial weed managements (e.g., in terms of € / reduced weed patches, reduced sprout densities). We also hypothesize that perennial infestations on arable land has an influence on land value, renting contracts and social perception of farm management effects. This hypothesis will be tested in an interview-based survey on farms.

Current Progress

Field experiments on disturbance (root cutters, tillage, and mowing) and competition (cover crops and light) of the three focused perennial weeds have been established. The partners also regularly take drone pictures of weed field patches to assist the analyses. Lab and small scale experiments of temperature and herbicide effects on weed seedlings and root fragments are outlined. To assist efficient knowledge/literature sharing among partners, we have designed the structure of an article bank that includes key indicators useful for each WPs. Partners are continuously adding data to the article bank. AC/DC-weeds partners are planning to present results in the German Conference on Weed Biology and Weed Control in 2022.

Acknowledgements

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 771134. The project AC/DC-weeds is carried out under the ERA-NET Cofund SusCrop (Grant N°771134), being part of the Joint Programming Initiative on Agriculture, Food Security and Climate Change (FACCE-JPI). We sincerely thank all the academic partners who contribute to the AC/DC-weeds project. We sincerely thank our committed partners – Kverneland Group Operations Norway AS, Belchim Crop Protection, and the European Landowners' Organisation for their engagement.

References

ANDERT, S., J. BÜRGER, J.-E. MUTZ, GEROWITT, B., 2018: Patterns of pre-crop glyphosate use and in-crop selective herbicide intensities in Northern Germany. European Journal of Agronomy **97**, 20-27.

AUBERTOT, J.N., M.H. ROBIN, 2013: Injury Profile SIMulator, a Qualitative Aggregative Modelling Framework to Predict Crop Injury Profile as a Function of Cropping Practices, and the Abiotic and Biotic Environment. I. Conceptual Bases. PLoS ONE **8**, issue 9, e73202.

BERGKVIST, G., B. RINGSELLE, E. MAGNUSKI, K. MANGERUD, L.O. BRANDSÆTER, 2017: Control of *Elymus repens* by rhizome fragmentation and repeated mowing in a newly established white clover sward. Weed Research **57**, 172-181.

BOMMARCO, R., M. LÖNN, U. DANZER, K. PÄLSSON, P.R. TORSTENSSON, 2010: Genetic and phenotypic differences between thistle populations in response to habitat and weed management practices. Biological Journal of the Linnean Society **99**, 797-807.

BOSTRÖM, U., L. ANDERSSON, J. FORKMAN, I. HAKMAN, J. LIEW, E. MAGNUSKI, 2013: Seasonal variation in sprouting capacity from intact rhizome systems of three perennial weeds. Weed Research **53**, 387-398.

BRANDSÆTER, L.O., A.K. BAKKEN, K. MANGERUD, H. RILEY, R. ELTUN, H. FYKSE, 2011: Effects of tractor weight, wheel placement and depth of mouldboard ploughing on the infestation with perennial weeds in organic farmed cereals. European Journal of Agronomy **34**, 239-246.

BRANDSÆTER, L.O., M.G. THOMSEN, K. WÆRNHUS, H. FYKSE, 2012: Effects of repeated clover undersowing in spring cereals and stubble treatments in autumn on *Elymus repens*, *Sonchus arvensis* and *Cirsium arvense*. Crop Protection **32**, 104-110.

BRANDSÆTER, L.O., K. MANGERUD, M. HELGHEIM, T.W. BERGE, 2017: Control of perennial weeds in spring cereals through stubble cultivation and mouldboard ploughing during autumn or spring. Crop Protection **98**, 16-23.

DAU, A., 2012: *Cirsium arvense* (L.) Scop in arable farming: Vegetative and generative reproduction as influenced by agronomic measures. PhD-thesis, University of Rostock.

DURU, M., O. THEROND, G. MARTIN, R. MARTIN-CLOUAIRE, M. MAGNE, E. JUSTES, E. JOURNET, J. AUBERTOT, S. SAVARY, J. BERGEZ, J.P. SARTHOU, 2015: How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. Agronomy for Sustainable Development **35**, 1259-1281.

HETTWER, U., B. GEROWITT, 2004: An investigation of genetic variation in *Cirsium arvense* field patches. Weed Research **44**, 289-297.

KOLBERG, D., L. BRANDSÆTER, G. BERGKVIST, K. SOLHAUG, B. MELANDER, B. RINGSELLE, 2018: Effect of Rhizome Fragmentation, Clover Competition, Shoot-Cutting Frequency, and Cutting Height on Quackgrass (*Elymus repens*). Weed Science **66**, 215-225.

KNAPEN, A., J. POESEN, G. GOVERS, S. DE BAETS, 2008: The effect of conservationtillage on runoff erosivity and soil erodibility during concentrated flow. Hydrological Processes **22**, 1497-1508.

LEMNA, W.K., C.G. MESSERSMITH, 1990: The biology of Canadian weeds. 94. *Sonchus arvensis* L. Canadian Journal of Plant Science **79**, 509-532.

LEYS, A., G. GOVERS, K. GILLIJNS, J. POESEN, 2007: Conservation tillage on loamy soils: explaining the variability in interrill runoff and erosion reduction. European Journal of Soil Science **58**, 1425-1436.

LÖTJÖNEN, T., J. SALONEN, 2016: Intensifying bare fallow strategies to control *Elymus repens* in organic soils. Agricultural and Food Science **25**, 153-163.

NIEMANN, L., C. SIEKE, R. PFEIL, R. SOLECKI, 2015: A critical review of glyphosate findings in human urine samples and comparison with the exposure of operators and consumers. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit **10**, 3-12.

PIMENTEL, D., C. HARVEY, P. RESOSUDARMO, K. SINCLAIR, D. KURZ, M. MCNAIR, S. CRIST, L. SHPRITZ, L. FITTON, R. SAFFOURI, R. BLAIR, 1995: Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science **267**, 1117-1123.

RINGSELLE, B., G. BERGKVIST, H. ARONSSON, L. ANDERSSON, 2016: Importance of timing and repetition of stubble cultivation for post-harvest control of *Elymus repens*. Weed Research **56**, 41-49.

RINGSELLE, B., E. BERTHOLTZ, E. MAGNUSKI, L.O. BRANDSÆTER, K. MANGERUD, G. BERGKVIST, 2018: Rhizome Fragmentation by Vertical Disks Reduces *Elymus repens* Growth and Benefits Italian Ryegrass-White Clover Crops. Frontiers in Plant Science **8,** 2243.

SALONEN, J., T. HYVÖNEN, J. KASEVA, H. JALLI, 2013: Impact of changed cropping practices on weed occurrence in spring cereals in Finland – a comparison of surveys in 1997-1999 and 2007-2009. Weed Research **53**, 110-120.

SOANE, B.D., B.C. BALL, J. ARVIDSSON, G. BASCH, F. MORENO, J. ROGER-ESTRADE, 2012: Notill in northern, western and south-western Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment. Soil & Tillage Research **118**, 66-87.

TILEY, G.E.D., 2010: Biological Flora of the British Isles. *Cirsium arvense* (L.) Scop. Journal of Ecology **98**, 938-983.

TULLBERG, J.N., D.F. YULE, D. MCGARRY, 2007: Controlled traffic farming—From research to adoption in Australia. Soil & Tillage Research **97**, 272-281.

TØRRESEN, K.S., H. FYKSE, T. RAFOSS, 2010: Autumn growth of *Elytrigia repens*, *Cirsium arvense* and *Sonchus arvensis* at high latitudes in an outdoor pot experiment. Weed Research **50**, 353-363.

VANHALA, P., T. LÖTJÖNEN, T. HURME, J. SALONEN, 2006: Managing *Sonchus arvensis* using mechanical and cultural methods. Agricultural and Food Science **15**, 444-458.

WERNER, P.A., R. RIOUX, 1977: The biology of Canadian weeds. 24. *Agropyron repens* (L.) Beauv. Canadian Journal of Plant Science **57**, 905-919.

Webdienststruktur eines automatisierten Assistenzsystems zur teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmitteln mit ökonomischer Betrachtung und Risikoanalyse

Web service design of an automated assistance system for site-specific application of pesticides with financial and environmental risk perspectives

Christoph Sinn[1*], Sandra Rajmis[1], Isabella Karpinski[1], Daniel Jahncke[2], Jannik Günther[2], Burkhard Golla[1]

[1]Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow
[2]GeoInformationsDienst GmbH, Götzenbreite 10, 37124 Rosdorf
*Korrespondierender Autor, christoph.sinn@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.043

Zusammenfassung

In dem Projekt „Assistenzsystem zur teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmitteln" (AssSys) wird ein System für die teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln entwickelt. Es wird der Fragestellung nachgegangen, inwieweit sich Pflanzenschutzmittel einsparen lassen, wie diese umweltschonender ausgebracht werden können und wie wirtschaftlich eine teilflächenspezifische Behandlung ist. Das Herzstück von AssSys ist der Applikationskartenservice, welcher über das Internet mit zahlreichen Webservices verbunden ist. Die Webservices sind so konzipiert, das offene, gängige Standards zum Einsatz kommen, wie z. B. die Datenaustauschformate ISOXML und GeoJSON. Erste Applikationskarten konnten bereits erzeugt und auf das Terminal im Schlepper übertragen werden.

Stichwörter: Assistenzsystem, Benchmarking, Webservice

Abstract

In the project "Assistance system for site-specific application of plant protection products (AssSys)", a system for site-specific application of plant protection products is being developed. The questions of interest are to what extent the amount of pesticides applied can be reduced, how the applications can be made more eco-friendly and how economical a site-specific treatment is. The heart of AssSys is the application map service, which is linked to numerous web services via the Internet. The web services are designed with commonly used, open-standard formats such as the data exchange formats ISOXML and GeoJSON.

Keywords: Application assistant, Benchmarking, Webservice

Einleitung

Webservices dienen dem automatisierten, webbasierten Datenaustausch von Maschine zu Maschine. Dies kann z. B. zwischen Webserver und FMIS, oder zwischen Smartphone-App und Webservice der Fall sein. Es kommen definierte Schnittstellen, Protokolle und Standards zum Einsatz, dadurch sind Webservices modular einsetzbar. Wie durch die sinnvolle Vernetzung mit Webservices die Digitalisierung der Landwirtschaft weiter vorangetrieben werden kann, wird in dem Projekt AssSys demonstriert.

Material und Methoden

Um eine Applikationskarte zu erzeugen, werden Abstandsauflagen z. B. zu Gewässern oder terrestrischen Nichtzielflächen benötigt. Diese kann der von ISIP betriebene Webservice PAM (Pesticide Application Manager) liefern (SCHREIBER et al., 2016). Benötigt werden dafür u. a. die Eingangsparameter Schlaggeometrie und abstandsrelevante Strukturen, wie z. B. Gewässer und Hecken. Wie der vom JKI angebotene Webservice getDist4Agri solche abstandrelevanten Strukturen anhand der Schlaggeometrie liefern kann, wird weiter unten beschrieben (SINN und GOLLA, 2019). Übergibt man anschließend diese zusammen mit der Schlaggeometrie und dem Applikationsmuster an den PAM-Service, so werden die Abstandsauflagen in Form einer Karte mit den Nichtapplikationsflächen zurückgegeben (Abb. 1). Somit ist ein erster wichtiger Schritt für das Erstellen einer Applikationskarte erledigt.

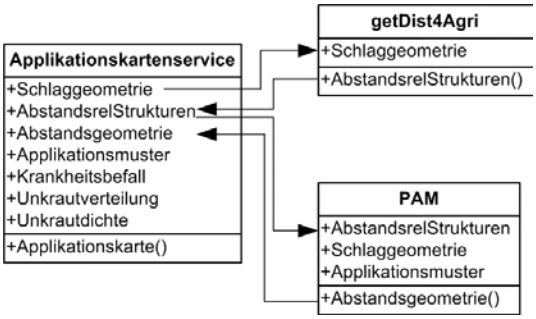


Abb. 1 Zusammenspiel zwischen Applikationskartenservice, PAM und getDist4Agri.

Fig. 1 *Interactions between application map service, PAM and getDist4Agri.*

In der GIS-gestützten Webanwendung Applikationskartenservice, welcher im Projekt „AssSys" entwickelt wird, können durch den Anwender Betriebs- und Schlaginformationen erfasst werden, die als Basis für die Erzeugung von Applikationskarten dienen. Der Service kann sowohl über eine grafische Benutzeroberfläche, als auch über eine definierte Schnittstelle und einer XML-Datei nach dem Industriestandard ISO 11783-10, kurz ISOXML, angesprochen werden. Mit diesen Informationen werden schlagspezifisch externe Services, welche im weiteren Verlauf beschrieben werden, in Echtzeit und unabhängig voneinander abgefragt und kombiniert. Der Applikationskartenservice ist dabei modular aufgebaut, so dass bei Bedarf auch weitere interne und externe Services eingebunden werden können. Neue Handlungsempfehlungen in Form einer teilflächenspezifischen Applikationskarte können in Abhängig der genutzten Services in unterschiedlichen Qualitäten generiert werden. Die Ergebnisse können als ISOXML für das Terminal auf dem Schlepper exportiert werden, so dass eine teilflächenspezifische Applikation erfolgen kann.

Alle Informationen, die für die Erzeugung der Applikationskarte erforderlich sind, können in Echtzeit abgerufen werden. Folgendes soll über Webservices bereitgestellt werden: Unkrautkarten, Prognose von Pflanzenkrankheiten, Berechnung der Nicht-Anwendungsflächen auf einem Schlag (PAM) und Kommunikation mit dem Terminal auf dem Schlepper. Das Julius Kühn-Institut (JKI) stellt dabei folgende Webservices zur Verfügung:

Webservice zur Ermittlung der Pflanzenschutzkosten (PS-Kosten)

Hier kann vor der geplanten Pflanzenschutzmaßnahme abschätzt werden, wie hoch potentielle Kosten der vorgesehenen Pflanzenschutzmittel (PSM), der Arbeitserledigung oder von geplanten Bonituren einer teilflächenspezifischen oder schlageinheitlichen Behandlung sind. Auch lässt sich mit dem Webservice eine bereits durchgeführte Pflanzenschutzmaßnahme bewerten, um diese bei der nächsten Applikation zu optimieren. In diesem Webservice besteht für den Landwirt die Option, eigene PSM-Preise zu verwenden. Werden keine eigenen Preise eingegeben, greift der Webservice auf aktuelle handelsübliche PSM-Preise der Agravis Raiffeisen AG (2019) zurück. Dasselbe gibt für die Berechnung der Boniturkosten. Neben der Option, eigene Boniturzeiten für betrachtete Schläge einzugeben, werden im Webservice KTBL-Boniturkosten (2019) verwendet. Der Webservice bietet damit die Möglichkeit, die Kosten der gesamten Pflanzenschutzmaßnahme einschließlich Arbeitserledigungskosten des Pflanzenschutzes und Arbeitserledigungskosten der Bonituren zu bestimmen. Einige der Outputs aus dem PS-Kosten-Webservice dienen im nachfolgend beschriebenen Benchmarking-Webdienst als Grundlage zur Berechnung weiterer Kennzahlen (Abb. 2).



Abb. 2 Applikationskartenservice und die Webservices Benchmarking sowie PS-Kosten im Detail.

Fig. 2 *Application map service and the Web services, Benchmarking and PS-Kosten (costs for plant protection products), in detail.*

Webservice zum Vergleich und zur Optimierung von Pflanzenschutzmaßnahmen

Benchmarking: Dieser Webservice dient dem betriebsinternen Vergleich von Pflanzenschutzmaßnahmen zur Selbsteinschätzung des Landwirtes oder zur Optimierung der eigenen Pflanzenschutzmaßnahmen durch einen Vergleich mit anderen Betrieben (externer Vergleich). Hierzu werden Erfolgsgrößen wie Erlöse, pflanzenschutzkostenfreie Leistungen (PSKfL), Kostenintensitäten, Produktivitäten und Break-Even-Points zur Bestimmung der jährlich notwendigen Mindesteinsatzflächen berechnet (Details siehe Beitrag Rajmis und Karpinski in diesem Band). Erzielte Erträge, eingesetzte Saatgutmengen und Düngemengen kann der Webservice aus der Ackerschlagdatei entnehmen, während die jeweiligen Preise (Erzeugerpreis, Saatgutpreis und Düngerpreis) manuell eingegeben werden können. Sind entsprechende Daten verfügbar, so ist auch der Vergleich von Deckungsbeiträgen möglich. Beim betriebsinternen Vergleich werden entsprechende Kennzahlen verschiedener Jahre in der gleichen Kultur auf gleichwertigen Schlägen verglichen, während beim externen Vergleich auch gleiche Jahre verschiedener Betriebe verglichen werden können.

Webservice zur Ermittlung abstandrelevanter Strukturen (getDist4Agri)

Für die Risikoabschätzung von PSM-Anwendungen in der Landwirtschaft sind die Abstände von Feldkante zu aquatischen und terrestrischen Lebensräumen relevante Informationen. Anwendungen in der Landwirtschaft, welche diese Eingangsdaten als Eingangsgröße benötigen und verarbeiten existieren (SCHREIBER et al., 2016). Die Strukturen, wie z.B. Gewässer oder Hecken sind bislang außerhalb des Verfahrens einzumessen und anschließend an den Dienst digital zu übergeben. Um derartige Services auch ohne vorheriges Einmessen der Strukturen nutzen zu können, wurde der Webservice „getDist4Agri" entwickelt (SINN und GOLLA, 2019). Der Dienst ermittelt auf Grundlage von Geodaten des ATKIS Basis-DLM für beliebige Schlaggeometrien in Deutschland die abstandsrelevanten Strukturen der Umgebung.

Webservice zur Abschätzung des Umweltrisikos von PSM-Anwendungen

Der Webservice schätzt für eine Schlag- oder Teilschlaggeometrie das Umweltrisiko von Spritzfolgen ab. Hierfür werden je PSM das Datum der Behandlung und die Aufwandmenge übergeben. Zusätzlich wird die Abdriftminderungsklasse der Anwendungstechnik übergeben. Das Umweltrisiko wird mit dem Risikoindikatormodell SYNOPS (STRASSEMEYER et al., 2017) berechnet. Hierfür verknüpft das Modell mittels GIS-Datenbanken und GIS-Prozeduren, Daten über die Exposition mit den Umweltbedingungen der PSM-Anwendungen (STRASSEMEYER und GUTSCHE, 2010). Durch den Service können unterschiedliche Applikationskarten für einen Schlag anhand des Umweltrisikos verglichen werden. Der Anwender wird dadurch in die Lage versetzt, entsprechend der allgemeinen Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes aus dem Anhang III der Pflanzenschutzrahmenrichtlinie der EU (2009/128/EG), die Nebenwirkungen auf die Nichtzielorganismen und die Umwelt einzuschätzen (EUROPEAN COMMISSION, 2009).

Ergebnisse und Zwischenstand

Der Datenstrom vom FMIS bis hin zum Pflanzenschutzgerät konnte bereits demonstriert werden. Es ist bereits möglich, eine Applikationskarte die unterstützt durch die Webservices erzeugt wurde, auf den Schlepper zu exportieren. Die JKI-Webservices (Abb. 3) getDist4Agri und PS-Kosten sind bereits vollständig implementiert (Stand Oktober 2019) und können unter http://asssys-services.julius-kuehn.de getestet werden. Die Identifizierung und Definition von relevanten ökonomischen Kennzahlen für den PS-Kosten-Webservice und Benchmarking-Webservice ist abgeschlossen. Die weiteren Webservices vom JKI liegen als Prototyp vor. Alle Services werden fortlaufend weiterentwickelt. Es wird angestrebt, dass die Webservices sich auch für andere Anwendungen außerhalb des Projekts eigenen.

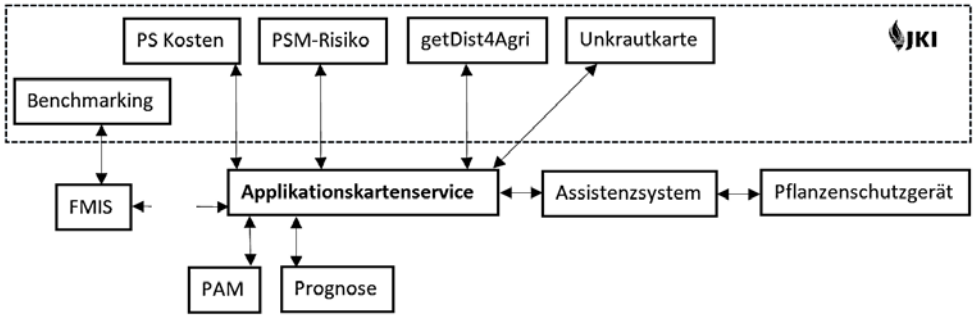


Abb. 3 Schematische Darstellung der Datenströme in AssSys.

Fig. 3 *Schematic view of the data streams in AssSys.*

Literatur

RAJMIS, S., I. KARPINSKI, 2020: Ökonomische Bewertung der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung. Tagungsband der 26. Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und Unkrautbekämpfung. Julius-Kühn-Archiv 464.

SCHEIBER, M., C. FEDERLE, J. FELDHAUS, B. GOLLA, B. HARTMANN, B. KLEINHENZ, D. MARTINI, M. RÖHRIG, 2016: Pflanzenschutz-Anwendungs-Manager (PAM): Automatisierte Berücksichtigung von Abstandsauflagen. In (RUCKELSHAUSEN et al., Hrsg.): Intelligente Systeme Stand der Technik und neue Möglichkeiten, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2016, 15.

SINN, C., B. GOLLA, 2019: getDist4Agri – ein Webservice zur Ermittlung abstandsrelevanter Landschaftsstrukturen für den PSM-Einsatz. In: MEYER-AURICH, A.; M: GANDORFER, N. BARTA, A. GRONAUER, J. KANTELHARDT, H. FLOTO(Hrsg.): Referate der 39. GIL-Jahrestagung in Wien, 18.-19. Februar 2019: Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft Fokus ; Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen – ein Widerspruch in sich? S. 245-250.

STRASSEMEYER, J., D. DAEHMLOW, A. DOMINIC, S. LORENZ, B. GOLLA, 2017: SYNOPS-WEB, an online tool for environmental risk assessment to evaluate pesticide strategies on field level. Crop Protection **97**, 28-44.

STRASSEMEYER, J., V. GUTSCHE, 2010: The approach of the German pesticide risk indicator SYNOPS in frame of the National Action Plan for Sustainable Use of Pesticides. Session 2 part II—soil, pesticide and nutrient indicators, Leysin (www.oecd.org/agriculture/sustainable-agriculture/44806454.pdf) Google Scholar.

PestiRed: A Swiss on-farm approach to reduce pesticide use in arable crops

PestiRed: On-Farm-Versuche auf Schweizer Betrieben um den Pflanzenschutzmittel Einsatz im Ackerbau zu reduzieren

Judith Wirth[1*], Thomas Steinger[2], Susanne Vogelgsang[3], Alexander Zorn[4], Philippe Jeanneret[5]

[1]Agroscope Changins, Produktionssysteme Pflanzen, Route de Duillier 50, 1260 Nyon, Switzerland
[2]Agroscope Changins, Pflanzenschutz, Route de Duillier 50, 1260 Nyon, Switzerland
[3]Agroscope Reckenholz, Pflanzenschutz, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Switzerland
[4]Agroscope Tänikon, Wettbewerbsfähigkeit und Systembewertung, Tänikon, 8356 Ettenhausen, Switzerland
[5]Agroscope Reckenholz, Agrarökologie und Umwelt, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Switzerland
*Korrespondierende Autorin, judith.wirth@agroscope.admin.ch

DOI 10.5073/jka.2020.464.044

Abstract

The concept of integrated pest management (IPM) has proven successful, however challenges in implementing IPM strategies remain. Furthermore, detailed investigations are needed to elucidate the performance and trade-offs of combined practices along entire crop rotations. In the framework of efforts to reduce the use of pesticides in Swiss agriculture, IPM in arable crops will be further developed in an on-farm project starting in autumn 2019. The overall aim of the project is to reduce pesticide use by 75% with a maximum yield loss of 10%. Preventive and alternative practices supporting natural control of noxious organisms (pathogens, pests, weeds) such as cover crops, intercropping, flower strips and biological control agents will be implemented and investigated in different 6-year crop rotations in a network involving 75 farms. The project involves scientists, farmers and extension services in a co-innovation process in five regions of the Swiss plateau. Effectiveness of the practices on weeds, diseases, pests and beneficials will be closely monitored and evaluated along the entire crop rotation.

Keywords: Alternative pest control methods, IPM, pesticide reduction, preventive pest control methods, profitability

Zusammenfassung

Das Konzept des integrierten Pflanzenschutzes (IPM) hat sich erfolgreich bewährt. Allerdings ist es immer noch eine Herausforderung IPM Strategien erfolgreich umzusetzen. Darüber hinaus fehlen umfassende Untersuchungen zu Effekten und Wechselwirkungen kombinierter Verfahren im Verlauf gesamter Fruchtfolgen. Im Rahmen der Bemühungen den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in der Schweizer Landwirtschaft zu reduzieren, wird der integrierte Pflanzenschutz im Ackerbau in einem mehrjährigen on-farm Projekt weiterentwickelt. Projektbeginn ist Herbst 2019. Ziel ist es, den PSM Einsatz um 75 % zu reduzieren, bei einem maximalen Ertragsverlust von 10 %. Es werden vorbeugende und alternative Maßnahmen umgesetzt, die vor allem natürliche Regulationsmechanismen von Schadorganismen (Pathogene, Schädlinge, Unkräuter) ausnutzen. Maßnahmen wie Zwischenfrüchte, Mischkulturen, Blühstreifen und biologische Bekämpfungsmittel werden in unterschiedlichen 6-jährigen Fruchtfolgen in einem Netzwerk von 75 landwirtschaftlichen Betrieben untersucht und umgesetzt. Es handelt sich um einen co-innovativen Ansatz, an dem Wissenschaftler, Landwirte und landwirtschaftliche Beratungsdienste in unterschiedlichen Regionen der Schweiz beteiligt sind. Die Wirksamkeit der Methoden auf Unkräuter, Krankheiten, Schädlinge und Nützlinge wird über alle Fruchtfolgen beobachtet und beurteilt.

Stichwörter: Alternative Pflanzenschutzmaßnahmen, integrierter Pflanzenschutz, vorbeugende Pflanzenschutzmaßnahmen, Wirtschaftlichkeit

Introduction

Integrated Pest Management (IPM) came up as a result of initiatives taken to reduce the complete dependence on synthetic pesticides to manage pests and mitigate damages to crops (CIANCIO and MUKERJI, 2007). In Switzerland the concept of integrated production (IP) based on IPM principles for pest management was launched around 40 years ago (BAGGIOLINI, 1990). It includes measures, mainly agronomic levers, to reduce pest population outbreaks, which leads to the reduction of the use of chemical plant protection products (PPP) (ASIAT, 1989). Besides obvious positive effects on the environment and human health, a reduced use of PPP offers ecological advantages like the promotion of beneficial organisms and soil fertility, which in turn contributes to contain pest

populations. The IP concept contributes to the practice of sustainable agriculture and has been further promoted in Switzerland (HÄNI et al., 2014). Since 1999, several IP recommendations are even part of the requirements for direct payments (Swiss agricultural subsidies). IP was established as an alternative between intensive agriculture with a high level of inputs and organic farming without chemical inputs, facing a growing number of Swiss consumers who consciously and increasingly buy organic as well as IP products. However, the use of chemical PPP has remained high and in 2017, the Swiss federal council launched a national action plan aiming at pesticide risk reduction and sustainable use of PPP. As a part of it and because of proven detrimental effects on all form of life, the use of chemical PPP for crop protection against weeds, pests and diseases is becoming more restricted, and legal as well as label requirements become more and more strict. Authorized active substances are re-evaluated and a part of them will be banned in the near future. Therefore, it is indispensable to develop, test and implement prevention strategies and alternative control methods.

In this project, we aim at moving up a level by applying agroecology concepts. To further reduce the use of PPP, we will use preventive and alternative measures and combinations of them as well as promote biological regulation and benefit from ecosystemic services. In order to be successful, preventive and alternative measures have to be implemented in a coherent manner. Despite a good knowledge of the effects of different alternative and preventive control measures, an overall evaluation of these measures and their combinations under Swiss agricultural conditions for the medium term and under practical conditions is missing. Moreover, there is lack of knowledge about economic performances and how to limit sanitary risks.

The farmers take the ultimate decision, which control methods to be used, with or without chemical inputs. It is up to them to make a classification and to decide whether alternative measures will be taken. In Switzerland and in the surrounding countries IP or conventional farmers are reluctant to implement new knowledge about alternative control methods in cultivation strategies (CHÈZE et al., 2020). While they perfectly know their production conditions due to years of experience, there is a lack of shared and evaluated information about the possibilities and risks of alternative control methods. On the one hand, they do not easily have access to consistent information about the successful use of alternative strategies and measures. On the other hand applied research knowledge, which investigates scientifically the implementation and the success of alternative measures in agricultural practice, is missing. Alternative measures have to be part of an overall perennial approach (cultivation system) and their efficacy needs to be assessed in the long term in a local context.

This is where the project comes into play with its co-innovation approach. From the beginning of the project, practical knowledge is combined with the findings from advice and research implicating farmers, advisors and scientists. Practical cultivation concepts and diversified crop rotations will be developed and innovative control methods will constantly be assessed and if necessary supplemented and optimized.

Objectives of the project

Alternative control strategies for arable crops will be defined together with farmers, agricultural advisors and researchers and implemented on 75 farms distributed in five arable regions of Switzerland. With around 25% of the utilized agricultural area of Switzerland, arable crops are an important target when it goes to reducing PPP use. The objective is to greatly reduce pesticide use (-75% on average within the rotation) while maintaining yield and crop quality (a maximum economic loss of 10%). The acceptance of these alternative strategies by the farmers will also be evaluated, as well as the possibilities to extend these measures throughout Switzerland.

Approach and concept

The project is based on the principles of integrated production and the aim is agroecological crop protection. Agricultural production will be based on the functionalities of ecosystems, maximizing functional biodiversity and strengthening biological regulation in agroecosystems.

Existing fragmentary knowledge about preventive and alternative control measures will be integrated in a global approach over the duration of a diversified 6-year rotation. Mutual interactions between the different measures will also be exploited.

The project is based on a co-innovative approach. Acquired knowledge and experience are exchanged between practice and research. The three groups of actors (farmers, advisors and researchers) will closely work together in order to develop and optimize the measures and strategies of plant protection in which chemical pest control will only be applied as a last solution (Fig. 1).

Finally, the effect of the alternative plant protection measures will be examined under practical agricultural conditions and the farmers will receive financial contributions to compensate the additional workload and potential yield losses.

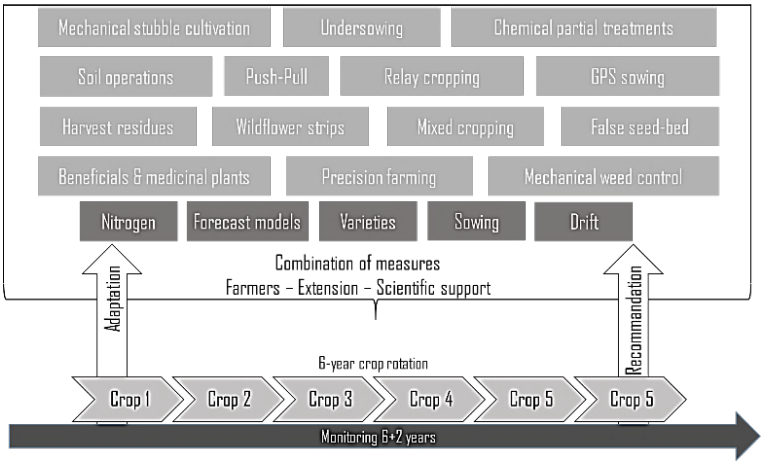


Fig. 1 Implementation concept of the PestiRed project.

Abb. 1 *Implementierungskonzept des PestiRed Projekts.*

Preventive and alternative plant protection measures

The measures will build on the principles of the integrated plant protection pyramid. Preventive measures (avoid or reduce initial populations of pest organisms) are given priority, followed by curative non-chemical measures such as biological regulation, the use of natural substances and mechanical/physical regulation (Tab. 1). Chemical control will only be used if the measures employed do not allow a satisfactory harvest. The optimization of the combination of measures will be an important innovative element of the project at the interface between research and practice.

The catalogue of measures currently consists of 23 measures. Five are basic mandatory measures and 18 are specific measures, which vary from one region to the other. The catalogue of measures will evolve over the whole project period in the framework of the process of co-innovation.

Tab. 1 Areas of action measures, mechanisms of action and objectives to be achieved.

Tab. 1 *Maßnahmengebiete, Wirkmechanismen und zu erreichende Ziele.*

Areas of action		Mechanism of action and objectif of the field of action
preventive	Measures aimet at the reduction of initial pest populations	Reduction of the use of PPP with agronomic measures, like diversified crop rotation and adequate soil cultivation against intitial pest populations, such as weeds (soil seed bank), plant dieseases (inoculum) and insect populations.
	(5 measures)	
	Measures of avoidance	Reduction of the use of PPP with optimized cultural measures such as optimized sowing (date, density, distance), intermediate crops,soil cover, associated crops, under sowing, competitive varieties, less susceptible varieties, push-pull technique. The preventive measures create inappropriate conditions for the developement of pest populations.
	(11 measures)	Promotion of natural antagonists by measures of habitat management.
curative (non-chemical)	Non-chemcial control measures	Reduction of the use of PPP with biological regulation measures (antagonists), based on natural substances, physical (thermal processes) and/or mechanical control measures.
	(4 measures)	Curative non-chemical control measures are given priority.
curative (chemical)	Chemical control measures (3 measures)	The targeted and reduced use of PPP based on the use of damage thresholds and forecasting systems. Chemical measures must only be used once all non chemical control measures have been exhausted.

Monitoring and scientific support

A semi-experimental network of 75 farms was built. Agronomic, ecological and economic performances will be monitored for 6 years on two fields per farm. Innovative plant protection strategies based on a combination of the above mentioned measures have to be implemented on an innovative field and will be compared to a) a control field with the same crop grown conventionally and b) to the performances obtained from 2015 to 2018 with the same crop on the same farm.

On the innovative fields and on the control fields each farmer will accurately record all agricultural practices applied and in particular those concerning the use of PPP and harvest characteristics (yield and quality). Agroscope guarantees an accurate monitoring of weeds, plant diseases, insect pests as well as antagonists at field level and in the surrounding environment.

The diminution of the use of PPP will be measured with the help of three indicators: a) treatment frequency index, b) number of interventions and c) amount of active ingredient per ha.

Profitability and acceptance of alternative plant protection measures

From an economic viewpoint, the adoption of alternative plant protection measures by farmers mainly depends on the expected profit, i.e. costs, benefits and corresponding risk. Furthermore, social (norms and motives) and dispositional factors (such as moral or environmental concern) are also important parameters (Dessart et al., 2019). Based on detailed data provided by all farmers via electronic field calendars and additional surveys, we will analyze the profitability and the acceptance of alternative plant protection measures.

To evaluate the profitability, we assess the costs and benefits for the innovative and the control field on each farm. To compare the two fields, we apply an extended contribution margin, covering variable costs of production as well as machinery and tillage costs and benefits. The aggregation of the economic data per crop and crop rotation on farm and regional level allows a detailed economic evaluation.

Dispositional factors, such as individual farming objectives, the resistance to change and moral or environmental concerns are twice collected via surveys of participating farmers: at the beginning of the project and to its end. Merging the results from the economic and social analyses allows analyzing and better understanding the acceptance and adoption of single measures. This is important for the upscaling of promising measures to a Swiss level and beyond.

Timeline and funding

The project start is 2019 and it will end in 2026. It will be carried by IP-Suisse, the Swiss farmers association practicing integrated production, in close collaboration with agricultural services, extension services and agricultural advisors of the three participating cantons (Vaud, Geneva and Solothurn). The project is funded by the Swiss Federal Office for Agriculture, IP-Suisse, the three implicated cantons and two private partners.

References

ASIAT, 1989: Recommandations pour la production intégrée en grandes cultures. Centrale des moyens d'enseignement agricole, 1st edition, Zollikhofen, 40.

BAGGIOLINI, M., 1990: Aperçu historique de la «production agricole intégrée, Bulletin de la Société Entomologique Suisse **63,** 493-500.

CHEZE, B., M. DAVID, V. MARTINET, 2020: Understanding farmers' reluctance to reduce pesticide use: A choice experiment, Ecological Economics **167**.

CIANCIO, A., K.G. MUKERJI, 2007: General concepts in integrated pest and disease management.

DESSART, F.J., J. BARREIRO-HURLE and R. VAN BAVEL, 2019: Behavioural factors affecting the adoption of sustainable farming practices: A policy-oriented review, European Review of Agricultural Economics **46,** 417-71.

HÄNI, F.J., G. POPOW, H. REINHARD, A. SCHWARZ and U. VÖGELI, 2014: Protection des plantes en production durable.

Regional adjustment of management options of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) along roadside verges in Bavaria (2018-2022)

*Entwicklung regional angepasster Bekämpfungsmaßnahmen gegen das Beifußblättrige Traubenkraut (*Ambrosia artemisiifolia *L.) entlang des Straßenverkehrsnetzes in Bayern (2018-2022)*

Rea Maria Hall*, Bernhard Urban, Nora Durec, Lisa Zant, Mirjam Aliabadi, Gerhard Karrer

University of Natural Resources and Life Science Vienna, Department of Integrative Biology and Biodiversity Research, Gregor Mendel Straße 33, 1180 Vienna, Austria
*Korrespondierende Autorin, rea.hall@boku.ac.at

DOI 10.5073/jka.2020.464.045

Abstract

Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is an invasive annual plant with highly allergenic pollen. Its spread often occurs along roadsides, where it builds stable and rapidly growing populations. The most sustainable way of controlling the species is to prevent seed production in order to deplete the soil seed bank. Therefore, in a 4-years field (2019 to 2022) trial four different cutting regimes differing in timing and frequency of cuts as well as two different means of physical control are tested on eight roadside verges in Bavaria, characterized by different climatic conditions and traffic densities. On the basis of soil seedbank samplings along these roadside verges as well as on the road embankments the study should reveal which cutting regime is most effective in the prevention of flower and seed formation of common ragweed.

In addition, a 3-years field trial (2019 to 2021) on the competitive suppression of common ragweed by four different seed mixtures combined with three different cutting regimes was implemented on three different sites. First results showed that the primary habitat of common ragweed is the roadside verge: 97.9% of all plants counted as well as 96.7% of all seeds found in the soil seed bank were concentrated on the first 1.5 m next to the lane, irrespective of the soil properties and the inclination of the embankment.

Keywords: Cutting regime, invasive alien species, physical weed control, soil seed bank

Zusammenfassung

Das invasive Ragweed *(Ambrosia artemisiifolia L.* (Asteraceae), ist eine einjährige, zweikeimblättrige Pflanze, deren Pollen sehr schwere Allergien beim Menschen auslösen kann. Die primäre Verbreitung erfolgt i. d. R. entlang von Straßen, wo Ragweed überaus stabile und schnellwachsende Populationen bildet. Die nachhaltigste Form der Bekämpfung der Pflanze ist es, die Samenproduktion zu verhindern und damit die Bodensamenbank abzubauen. In Rahmen dieses vierjährigen Feldversuches (2019 bis 2022) sollen deshalb unterschiedliche Schnittsysteme (verschiedene Zeitpunkte und Häufigkeiten) sowie zwei Methoden der physikalischen Bekämpfung, auf ihre Effizienz zur Verhinderung der Pollen- und Samenausbildung bei Ragweed getestet werden. Der Versuch wird auf acht Straßenstandorten in Bayern durchgeführt, die sich durch ein unterschiedliches Verkehrsaufkommen auszeichnen und in verschiedenen Klimaregionen liegen.

Zusätzlich dazu, wurde ein dreijähriger Feldversuch auf drei Standorten eingerichtet, auf denen zwischen 2019 und 2021 die unterdrückende Wirkung von heimischen Konkurrenzsaaten auf das Wachstum und Entwicklung von Ragweed getestet wird. Bereits in der ersten Phase des Versuches, der sich mit der potenziellen Wanderbewegung von Ragweed in die Böschungen befasste, wurde klar, dass Ragweed tatsächlich ein Phänomen des Bankettes ist. Da die Pflanze anscheinend Konkurrenz meidet, wurden 97,9 % aller Pflanzen sowie 96,7 % aller Samen in der Bodensamenbank auf den ersten 1,5 m zum Fahrbahnrand gefunden, unabhängig von den Bodenbeschaffenheiten auf den Standorten und der Böschungsneigung.

Stichwörter: Bodensamenbank, invasives Unkraut, Mahdregime, physikalische Unkrautbekämpfung

Introduction

Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is an annual Asteraceae species with high economical impact as its pollen causes allergies and asthma, and it causes yield losses in different crops, such as sunflower, maize and pumpkin (D'Amato et al., 2007; Kazinczi et al., 2008; Essl et al., 2009). Its main naturalization and establishment in Europe began after World War II due to a steadily increasing trade volume between Europe and the USA which also included seeds (clover, maize etc.) that were contaminated with seeds of common ragweed. Thus, the geographical routes of distribution can be clearly traced back to European harbors such as Rijeka, Trieste or Genoa (Kazinczi et al., 2008; Karrer

et al., 2011). Outgoing from these Eastern and Southern European sites of introduction a steady spread of the plant towards Western and Northern Europe was observed in the last decades, primarily along the high-capacity road system. As its large ecological amplitude enables common ragweed to be a successful pioneer in several types of environments (FUMANAL et al., 2008); it can establish and grow even under harsh environmental conditions. Common ragweed can deal with de-icing salt, tire abrasions and heavy metals but also with extreme soil compaction, drought and very nutrient-poor conditions (CECCHI et al., 2006; FUMANAL et al., 2007; SMITH et al., 2013) which makes these habitats very unfavorable for other (native) plant species. Once established along the roadside verge, seeds of the plant can be easily transported by water run-off and wind and particularly by machinery of the road maintenance services. KARRER et al. (2011) showed that one flail mower can have a seed contamination of up to 40,000 seeds. Another factor accelerating the spread of ragweed is the traffic volume: The higher the traffic frequency, the faster ragweed seeds can be distributed (NAWRATH and ALBERTERNST, 2008; LEMKE et al., 2018). For example in Eastern Austria the tense and highly frequented road networks in the greater Vienna area promoted the distribution of common ragweed not only to various road verges but also to surrounding areas like agricultural sites, and ruderal sites. In contrast, in the lower frequented Western parts of Austria ragweed stands can be clearly linked to the linear structures of the high-capacity road system (KARRER, 2008; ESSL et al., 2009). The same linear patterns like in Western Austria can also be observed in Bavaria where common ragweed is increasingly spreading along road verges, but has not yet reached other habitat types like agricultural areas, so far (NAWRATH and ALBERTERNST, 2010; StMUG, 2013).

To avoid the further spread of the plant in these surrounding habitats, a sustainable control of the plant is essential but difficult because a single plant can produce more than 60.000 seeds (DICKERSON and SWEET, 1971) which may stay germinable in the soil for up to 40 years (TOOLE and BROWN, 1946). Therefore, the management solution for the control of common ragweed must aim at a continuous depletion of the soil seed bank. Actually along road verges, mowing is the most common vegetation control measure, primarily to ensure visibility and for other security reasons as the use of herbicides is often prohibited by law due to environmental concerns. Nevertheless, the influence of different mowing practices on the growth and reproduction of common ragweed is quite complex as this annual plant usually reacts to mowing like a perennial plant by resprouting from the basal buds and remaining on the main axis below the cutting height (BRANDES and NITZSCHE, 2007; BOHREN et al., 2008). Therefore, the timing of the cut can be essential: If done too early, mowing could enhance the production of male flower heads (BÉRES, 2004). If done too late, seeds might already have ripened before the cut (BOHREN et al., 2008). In addition, former experiments in Austria showed that an important factor influencing the growth potential of common ragweed along roadsides is the presence and the composition of (native) competitors which can be very effective in prohibiting the successful emergence of ragweed seedlings.

Thus, the aims of the study which is carried out on behalf of the Bavarian State Ministry of Housing, Construction and Traffic (Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr) are**:**

- Evaluation of the diffusion potential of common ragweed into the embankment
- Development of a regionally adjusted mowing regimes taking into account different climatic conditions, which should effectively contain the seed production of common ragweed and can therefore contribute to a sustainable eradication of the plant along these roadside verges
- Evaluation of the effectiveness of physical control options (hot foam and electro shocking)
- Evaluation of the suppressive effect of competition seeding on the establishment success of common ragweed

Materials and Methods

Ragweed diffusion to the embankment

On eight sites from Southern to Northern Bavaria we implemented in 2018 a grid design with 10 x 0.25 m² plots over the length of the ragweed population next to the lane and over the total width of the embankment (40 to 100 plots per site depending on the width). On each plot, the number of plant individuals was counted and soil samples were taken (10 cm diameter, 10 cm depth) with a standardized hammer core cutter. The seeds in the soil samples were washed out and germinated in petri dishes in a climate chamber with 12 hours full light at 30 °C and 12 hours darkness at 15°C (optimum conditions; LEIBLEIN-WILD et al., 2014) and incubated for 30 days. Petri dishes were checked every second day. Seeds with a visible radicle were recorded as germinated and removed.

Regional adjustment of mowing regimes

On eight different Bavarian highways and federal roads (Tab. 1) we implemented five trial plots of 20 m length and 1.5 m width (= standard cutting width of the mowing machinery) in two replications on which four different mowing regimes varying in time and frequency as well as the effectiveness of two physical control options are tested from 2019 to 2022. (Fig. 1). With variant 2, 3 and 4 (V2-V4) the effectiveness of different cutting dates throughout the vegetation period should be tested with a view to avoid flower and/or seed formation. Particularly an early cut in June (V3 and V4) during the vegetative growth phase before flowering, can reduce mass flowering and therefore pollen production.

Tab. 1 Information on the trial sites of the eight different Bavarian highways and federal roads where four mowing regime and two physical control measures will be tested from 2019 until the year 2022.

Tab. 1 *Informationen zu den Testflächen auf acht verschiedenen Bayerischen Autobahnen und Bundesstraßen, auf denen unterschiedliche Mahdregime oder Schnittsystem sowie zwei physikalische Bekämpfungsmaßnahmen von 2019 bis 2022 getestet werden.*

Site Code	Site Description	Coordinates (decimal degrees)
BY066	A99 Munich, highway around Munich	48.226579, 11.551578
BY101	A9 Munich, highway through the city of Munich	48.215778, 11.626861
BY198	A8 Lake Chiemsee, highway connecting i.e. Munich with Austria	47.817436, 12.371588
BY133	A6 Nuremberg; highway connecting Nuremberg with the Czech Republic	49.399122, 11.216390
BY279	A3 Nuremberg; highway junction with A6	49.408089, 11.293777
BY348	B2 Gersthofen; highly frequented federal road connecting i.e. Augsburg with Nuremberg	48.523671, 10.834224
BY276	St2092 Mühldorf am Inn; highly frequented federal road connecting a large region of Oberbayern with the highway A 94	48.269753, 12.549329
B22	B22 Bamberg; highly frequented federal road connecting i.e. Bamberg with Würzburg	49.867940, 10.865577

However, as the plant can easily resprout after cutting a second (V4) or even a third mowing measure (V3) has to be undertaken to avoid flower and seed formation on resprouted shoots. However, the major aim in fighting ragweed should be the prevention of seed formation. Thus, V2 should reveal if seed formation can be more effectively reduced with a late first cut during male flowering (August). As ragweed inflorescence is proteandric, the probability of the presence of viable seeds is quite low during male flowering. In addition, during male flowering a huge part of the assimilates of the plant have already been mobilized and invested into flower formation and are therefore no longer available for resprouting (FUMANAL et al., 2007; KARRER, 2008; SMITH et al., 2013). Due to safety reasons (clear view on traffic signs etc.) the implementation of a non-cut control variant was not possible. Therefore, mowing regime V5 which is actually common practice along Bavarian road systems serves as control.

Month	Hot foam	Electro shock	V2	V3	V4	V5	V5	V4	V3	V2
	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m
May										
June										
July										
August										
September										
October										

Fig. 1 Arrangement of the trial plots on each site in driving direction and time schedule of the four different mowing regimes (V2-V5) and the physical control measures (Hot foam & Electro shock). The months in which the management measures have to be executed are marked in black.

Abb. 1 *Anordnung der Versuchsflächen auf jeweiligen Standorten entsprechend der Fahrrichtung sowie die Darstellung des Zeitplans der vier einzelnen Mahdregime (V2-V5) und der physikalischen Bekämpfungsmaßnahmen. Die Monate in denen die Maßnahme zu treffen ist, sind schwarz markiert.*

The first alternative approach is the rootwave system *(© Ubiqutek) which* uses electricity to "boil" weeds inside out from the root upward by initiating an electric shock into the xylem of the plant, that goes through the plant with the water stream and therefore kills off the plants, including the surface near buds from which common ragweed can regenerate after cutting. The second physical control measure is the IproGreen HWS 24 (© IproTech) that uses hot foam consisting of sugar tensides and fat. The foam should supply effective heat utilization and a longer exposure time on the plant and should therefore kill off the plant more reliable than other heat control measures like hot water or steam.

This trial started in autumn 2018 with an initial soil sampling to determine the primary contamination of each plot. Thereby, 15 soil samples per 20 m were taken (= 150 samples per site). Again, seeds of the soil samples were washed out and germinated in petri dishes following the same protocol as in the embankment trial. From 2019 to 2022 we will execute a monthly monitoring from April until October on 10 subplots (0.25 m^2) per plot (= 100 subplots per site) on which the following parameters are counted and measured: number of ragweed individuals, average plant height of ragweed, mean coverage of ragweed, date of male flower appearance, number of male flowers, date of female flower appearance, and number of seed agglomerations.

Effectiveness of competition seeding

To test the establishment success of native plant species on road verges and consequently their effectiveness in the suppression of common ragweed establishment, the road verges on three different sites (Munich, Nuremberg and Augsburg) were completely removed and renewed with standard substrate frequently used along Bavarian highways. In spring 2018 three different seed mixtures were sown: 1) a Bavarian standard seed mixture usually used on nutrient poor, dry sites, and two special mixtures developed by the University of Natural Resources and Life Science Vienna, which mainly contain 2) fast growing *Lolium perenne*, and 3) dominated by undemanding tussock-forming *Festuca*-species. These seed mixtures were contaminated with ragweed seeds based on three contamination levels of (0, 5 and 50 plants per square meter). In addition, we wanted to test the effects of three different cutting regimes (Variant 2, 4, 5 in Figure 1) on the establishment success and the growth performance of the seed mixtures and common ragweed all together in three replications (= 810 m per site; plot length: 10 m, plot width: 1.5 m). Furthermore, additional 200 m of the renewed road verge were left without any seeding to monitor the natural establishment on these renewed road verges.

First results

Results of the embankment trial showed clearly that 97.9% of all ragweed plants were found in 1.5 m distance to the lane. This result was confirmed by the soil seedbank analysis: 96.7% of all seed

were found in a distance of max. 2 m to the edge of the road, irrespective of soil properties and the inclination of the embankment (Fig. 2). Thus, it can be assumed the ragweed seeds show only a very little movement from the road edge into the embankment.

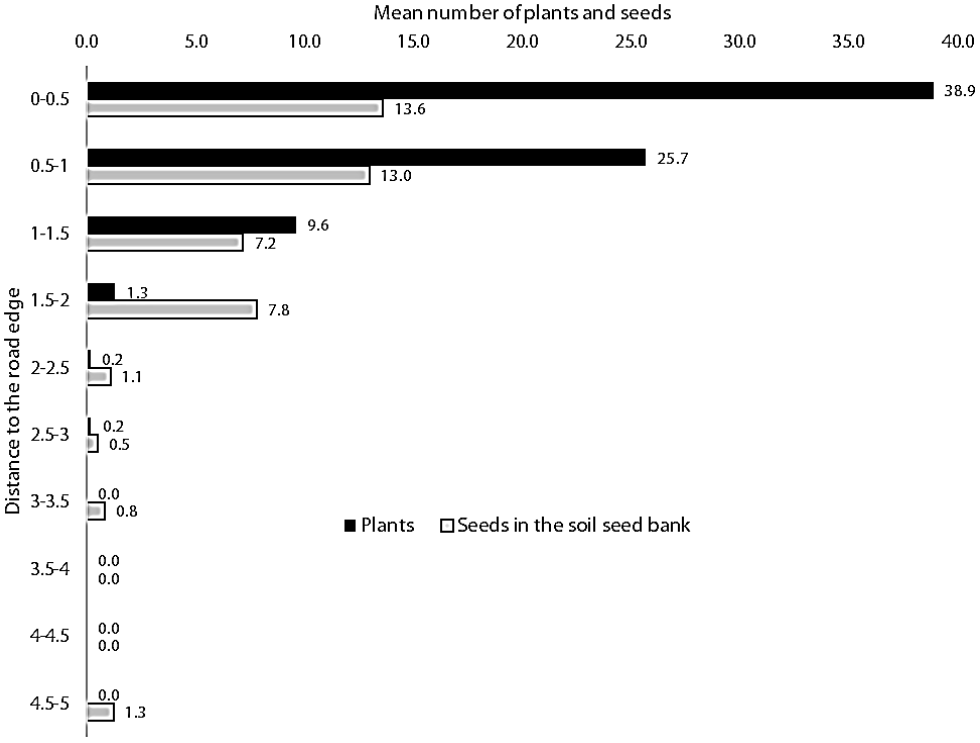


Fig. 2 Mean number of counted plant individuals and seeds in the soil seed bank of common ragweed along eight different Bavarian highways and federal road embankments in dependency of the distance to the road edge (n = 530 plots).

Abb. 2 *Durchschnittliche Anzahl der Pflanzenindividuen und Samen in der Bodensamenbank von Ambrosia artemisiifolia in Abhängigkeit vom Fahrbahnabstand entlang acht Bayerischer Autobahnen und Bundesstraßen (n = 530 Probeflächen).*

In addition, we found huge differences in the ragweed contamination of the sites. Particularly, the roads in Munich-Fröttmaning (BY101), Lake Chiemsee (BY198), and Gersthofen (BY348) showed significantly higher numbers of ragweed individuals than all other sites. Despite that, we did not find any differences in the number of seeds in the soil seed bank, indicating that the majority of newly built ragweed seeds, already germinated in the year after formation and that only a small portion is entering the soil seed bank. In total we found only 308 seeds in the soil samples, of which 51.3% were still germinable.

Outlook

First results of the other trials will be available at the beginning of 2020. Until then all the data gained during the vegetation period 2019 is fully analysed and authorized for communication through the contracting authority.

Acknowledgement

This project is funded by Autobahndirektion Bayern-Nord in collaboration with the Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr. We would like to thank all staff members of the

road and highway maintenance depots for their efforts, their enthusiasm, and for their support during the work on the road verges.

References

BÉRES, I., 2004: Integrated weed management of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.). Hungarian Weed Research and Technology **5**, 3-14.

BOHREN, C., N. DELABAYS, G. MERMILLOD, A. BAKER, J. VERTENTEN, 2008: *Ambrosia artemisiifolia* L: Optimieren des Schnittregimes. Agrarforschung **15**, 308-313.

BRANDES, D., J. NIETZSCHE, 2007: Verbreitung, Ökologie und Soziologie von *Ambrosia artemisiifolia* L. in Mitteleuropa. Tuexenia **27**, 167-194.

CECCHI, L., S. TESTI, P. CAMPI, S. ORLANDINI, 2010: Long-distance transport of ragweed pollen does not induce new sensitizations in the short term. Aerobiologia **26**, 351–352.

D'AMATO, G., L. CECCHI, S. BONINI, C. NUNES, I. ANNESI-MAESANO, H. BEHRENDT, G. LICCARDI, T. POPOV, P. VAN CAUWENBERGE, 2007: Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. Allergy **62**, 976-990.

DICKERSON, C.T., R.D. SWEET, 1971: Common ragweed ecotypes. Weed Science **19**, 64-66.

ESSL, F., S. DULLINGER, I. KLEINBAUER, 2009: Changes in the spatio-temporal patterns and habitat preferences of *Ambrosia artemisiifolia* during its invasion in Austria. Preslia **81**, 119–133.

FUMANAL, B., B. CHAUVEL, A. SABATIER, F. BRETAGNOLLE, 2007: Variability and Cryptic Heteromorphism of *Ambrosia artemisiifolia* Seeds: What Consequences for its Invasion in France? Annals of Botany **100**, 305-313.

FUMANAL, B., C. GIROD, G. FRIED, F. BRETAGNOLLE, B. CHAUVEL, 2008: Can the large ecological amplitude of *Ambrosia artemisiifolia* explain its invasive success in France? Weed Research **48**, 349-359.

KARRER, G., 2008: Endbericht zum Projekt "Ausbreitungsbiologie und Management einer eingeführten und extrem allergenen Pflanze, Wege und Ursachen der Ausbreitung von Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*)" im Auftrag der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Baudirektion BD1, 28.04.2008. - Die Niederösterreichische Landesregierung, Abteilung Baudirektion BD1, 51 S., Beil.

KARRER, G., I. MILAKOVIC, M. KROPF, C. BLÖCH, A. DLUGOSCH, M. LEITSCH-VITALOS, G. HACKL, S. FOLLAK, S. FERTSAK, M. SCHWAB, A. BAUMGARTEN, M. GANSBERGER, R. MOOSBECKHOFER, E. REITER, E. PUBLIG, F. ESSL, D. MOSER, I. KLEINBAUER, S. DULLINGER, M. HAUSER, F. FERREIRA, M. WALLNER, M. MAYER, P. KLUG, B. JEITLER, M. KERNGAST, 2011: Ausbreitungsbiologie und Management einer extrem allergenen, eingeschleppten Pflanze – Wege und Ursachen der Ausbreitung von Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) sowie Möglichkeiten seiner Bekämpfung. Endbericht, BMLFUW, Wien.

KAZINCZI, G., I. BÉRES, R. NOVÁK, K. BÍRO, Z. PATHY, 2008: Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*): a review with special regards to the results in Hungary. I. Taxonomy, origin and distribution, morphology, life cycle and reproduction strategy. Herbologie **9**(1), 55-91.

LEIBLEIN-WILD, M.C., R. KAVIANI, O. TACKENBERG, 2014: Germination and seedling frost tolerance differ between the native and invasive range in common ragweed. Oecologia **174**, 739-750.

LEMKE, A., I. KOWARIK, M. VON DER LIPPE, 2018: How traffic facilitates population expansion of invasive species along roads: the case of common ragweed in Germany. J. Appl. Ecol. In print. doi: 10.1111/1365-2664.13287.

NAWRATH, S., B. ALBERTERNST, 2008: Untersuchung von Einschleppungs- und Ausbreitungswegen der Beifuß-Ambrosie in Bayern. Bayerisches Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Projektgruppe Biodiversität und Landschaftsökologie. pp.79.

NAWRATH, S., B. ALBERTERNST, 2010: Vorkommen von *Ambrosia artemisiifolia* an bayerischen Straßen. Hoppea **71**, 249-261.

SMITH, M., L. CECCHI, C. A. SKJØTH, G. KARRER, B. ŠIKOPARIJA, 2013: Common ragweed: A threat to environmental health in Europe. Environment International **61**, 115-126.

STMUG – BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT, 2013. Erfahrungsbericht 2012 und Aktionsprogramm „Ambrosiabekämpfung" in Bayern 2013. http://www.stmug.bayern.de/gesundheit/aufklaerung_vorbeugung/umweltgesund/ambrosia/doc/ambrosiabericht%202012_und_aktionsprogramm_2013.pd

TOOLE, H.E., E. BROWN, 1946: Final results of the Durvel buried seed experiment. Journal of Agricultural Research **72**, 201-210.

Vergleich von Unkrautregulierungsmaßnahmen im Buchweizenanbau

Comparison of means to control weeds in buckwheat cultivation

Simon Strahm*, Jürg Hiltbrunner

Agroscope, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich
*Korrespondierender Autor, simon.strahm@agroscope.admin.ch

DOI 10.5073/jka.2020.464.046

Zusammenfassung

Buchweizen als interessante Nischenkultur erfreut sich in der Schweiz immer größer werdender Beliebtheit. Im Rahmen von Sortenversuchen (2015-2018) konnten vielversprechende Sorten für die zukünftige Körnernutzung eruiert werden. Diese sind, nebst anderen positiven Eigenschaften, vor allem kürzer im Wuchs. Auf Flächen mit erhöhtem Unkrautdruck kann dies zu Problemen führen, obwohl Buchweizen durch eine schnelle Jugendentwicklung vergleichsweise konkurrenzstark ist. Aktuell sind in der Schweiz weder Herbizide zugelassen noch sind den Autoren Versuchsergebnisse zur mechanischen Regulierung der Begleitflora in Buchweizen bekannt.

Um diese Lücke zu schließen, wurden 2018 und 2019 an je zwei Standorten verschiedene mechanische Unkrautregulierungsmaßnahmen mit einer chemischen verglichen. Als Faktoren wurden im randomisierten Kleinparzellenversuch Sorten mit unterschiedlichen Pflanzenlängen (kurz, mittel und lang) sowie der Behandlungszeitpunkt (Vorauflauf, 2-3-Blattstadium, 4-5-Blattstadium) mit Striegel, Hackgerät und Herbizid untersucht. Die Wirkung auf den Buchweizen sowie die Begleitarten wurde mittels Schätzung des Bodenbedeckungsgrades vor und nach jedem Eingriff erfasst und der Kornertrag beim Drusch bestimmt.

Der Einsatz von mechanischen Unkrautregulierungsmaßnahmen im 4-5-Blattstadium reduzierte die Bodenbedeckung der Begleitarten im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle um 30 bis >70 %. Die Wirkung des Hackgerätes war besser als diejenige des Striegels. In den vorliegenden Versuchen konnte durch einen zweimaligen Einsatz des Striegels beziehungsweise des Hackgerätes keine verbesserte Wirkung auf die Begleitarten beobachtet werden. Beim Blindstriegeln oder beim Einsatz von Vorauflaufherbiziden ist jedoch Vorsicht geboten, da bei einem zu späten Einsatzzeitpunkt des Blindstriegelns der Striegel die sehr schnell keimenden Buchweizenpflanzen beschädigen oder das Vorauflaufherbizid bei umfangreichen Niederschlägen bis zum Bereich der Samen verlagert werden und zu phytotoxischen Schäden führen kann. Im Gegensatz zu den signifikant unterschiedlichen Kornerträgen zwischen den Sorten wurde kein Einfluss der untersuchten Unkrautregulierungsverfahren auf den Kornertrag beobachtet. Folglich kann abgeleitet werden, dass sowohl der Striegel als auch Hackgeräte für die erfolgreiche mechanische Unkrautregulierung in Buchweizen ohne negative Auswirkungen auf den Kornertrag eingesetzt werden können.

Stichwörter: Buchweizen, Feldversuch, Schweiz, Sorten, Unkrautregulierung

Abstract

Buckwheat as an interesting niche culture enjoys increasing popularity in Switzerland. In variety trials (2015-2018) promising varieties for grain use have been identified. Besides their positive agronomic properties they grow shorter. On areas with increased weed pressure, this can lead to problems, although buckwheat is relatively competitive due to good early vigour. However, no herbicide is currently authorized in Switzerland, and no information about mechanical weed control in buckwheat is available to the authors.

To close this gap, in 2018 and 2019 various mechanical weed control measures were compared with a chemical at two sites each. The randomized small plot trial was conducted with three buckwheat varieties with different plant length (short, middle and long) and the interventions at three different stages (before emergence, 2-3-leaf stage and 4-5-leaf stage). The effect on buckwheat and the accompanying species was recorded by estimating the soil cover before and after each control method and grain yield was determined at harvest.

The use of mechanical weed control methods at the 4-5-leaf-stage reduced the soil cover of weeds by 30 to > 70% compared to the untreated control. In general, the use of the hoe was more effective than the tine weeder. Based on the experiments, two control methods of either the tine weeder or the hoe did not improve the effect on the weed when compared to a single control method. In the case of tine weeding prior to emergence or the use of pre-emergence herbicides, caution is advised: depending on the weather, the harrow can damage the rapidly germinating buckwheat plants or shift the herbicide to the seeds and lead to phytotoxic damages. The agronomic properties and the grain yield were not significantly affected by any of the control methods, so either the use of the hoe or the tine weeder are possible means for successful buckwheat cultivation.

Keywords: Buckwheat, field trial, Switzerland, variety, weed control

Einleitung

Die Geschichte des Buchweizenanbaus in Europa und in der Schweiz reicht bis ins Mittelalter zurück. Der ursprünglich aus China stammende Buchweizen (ZELLER und HSAM, 2004) breitete sich vermutlich in dieser Zeit über Kirgisistan und Usbekistan auch nach Europa aus (ZELLER, 2001). Die mit Vorteil extensiv geführte Kultur verlor dann mit der Intensivierung des Ackerbaus nach und nach an Bedeutung. In der Schweiz betrug die Anbaufläche im Jahr 1972 noch weniger als ein Hektar (LUSTENBERGER et al., 1977).

Als glutenfreie Alternative zu Getreideprodukten stieg in den letzten Jahren die Nachfrage nach Buchweizen an. Die geringen Ansprüche an das Klima und den Boden sowie die nicht vorhandene Verwandtschaft mit häufig angebauten Kulturpflanzen machen Buchweizen auch für Produzenten attraktiv. Die kurze Vegetationszeit von ca. 115 Tagen erlaubt zudem den Anbau als Zweitkultur z. B. nach Gerste und die hohen Trachtwerte für Nützlinge machen Buchweizen auch für die Verwendung in Blühstreifen interessant.

Im Rahmen von Sortenversuchen bei Agroscope (2015-2018) konnten für die Körnernutzung vielversprechende Sorten eruiert werden (STRAHM et al., 2019). Diese sind nebst positiven Eigenschaften wie hoher Kornertrag, gute Jugendentwicklung, hohe Standfestigkeit und gleichmäßige Abreife vor allem auch kürzer im Wuchs. Trotz der schnellen Jugendentwicklung kann dies auf Flächen mit hohem Unkrautdruck zu Problemen führen. Aktuell ist in der Schweiz weder ein Herbizid zugelassen noch liegen Versuchsergebnisse zur mechanischen Unkrautregulierung vor. Um diese Lücke zu schließen, wurden während zwei Jahren Feldversuche angelegt.

Material und Methoden

Die Versuche wurden in den Jahren 2018 und 2019 je auf einem konventionell und einem biologisch bewirtschafteten Feld in einem randomisierten Blockversuch mit einer Parzellengröße von 1,5 m x 10,0 m durchgeführt. In einem Faktor wurden drei Buchweizensorten mit unterschiedlichem Wuchstyp untersucht:

- Temp: determinant, Pflanzenlänge: bis ca. 80cm
- Drushina: determinant, Pflanzenlänge: bis ca. 120cm
- La Harpe: indeterminant, Pflanzenlänge: bis 160cm

Als zweiter Faktor wurde die Unkrautregulierungsmaßnahme variiert. Bei jeder Sorte wurden verschiedene Unkrautregulierungsmaßnahmen mit einem Herbizid (nicht auf den bio-zertifizierten Feldern), Striegel und Hackgerät angewendet (Tab. 1). Ein Vorversuch im Jahr 2017 hat gezeigt, dass der Einsatz des Striegels im 2-3-Blatt-Stadium eine geringe Wirkung auf das Unkraut hat, aber die kleinen Buchweizenpflanzen vergleichsweise stark schädigt. Es wurde deshalb auf den Einsatz des Striegels in einem frühen Stadium verzichtet.

Die Wirkung dieser Maßnahmen auf den Buchweizen wie auch auf die Begleitarten wurde mittels Schätzung des Bodenbedeckungsgrades vor und nach jeder Anwendung erfasst. Zusätzlich wurde die Standfestigkeit bei der Blüte und kurz vor der Ernte sowie der Kornertrag, der Wassergehalt in den Körnern zum Zeitpunkt der Ernte sowie das Tausendkorngewicht (TKG) der getrockneten Körner bestimmt.

Tab. 1 Untersuchte Unkrautregulierungsverfahren (CO = Kontrolle, HE00 = Herbizid im Vorauflauf, TW00 = Blindstriegeln, TW45 = Striegeln im BBCH 14-15, TW00_TW45 = Blindstriegeln + Striegeln im BBCH 14-15, H45 = Hacken im BBCH 14-15, H23_H45 = Hacken im BBCH12-13 + Hacken im BBCH 14-15, TW00_H45 = Blindstriegeln + Hacken im BBCH 14-15, TW45_H45 = Striegeln im BBCH14-15 + Hacken im BBCH 14-15) in drei verschiedenen Buchweizensorten der Jahre 2018 und 2019.

Tab. 1 *Weed control means (CO = control, HE00 = herbicide pre-emergence, TW00 = tine weeding pre-emergence, TW45 = tine weeding at BBCH 14-15, TW00_TW45 = tine weeding pre-emergence + tine weeding at BBCH 14-15, H45 = hoeing at BBCH 14-15, H23_H45 = hoeing at BBCH12-13 + hoeing at BBCH 14-15, TW00_H45 = tine weeding pre-emergence + hoeing at BBCH 14-15, TW45_H45 = tine weeding at BBCH14-15 + hoeing at BBCH 14-15) in three buckwheat varieties in the years 2018 and 2019.*

		Zeitpunkt der Regulierungsmaßnahme (BBCH Code)		
Abkürzung	**Methode**	**Vorauflauf**	**2-3-Blatt (BBCH 12-13)**	**4-5-Blatt (BBCH 14-15)**
CO	Unbehandelte Kontrolle	-	-	-
HE00	Herbizid (Nimbus CS, 3l/ha)	x	-	-
TW00	1 x Striegel	x	-	-
TW45	1 x Striegel	-	-	x
TW00_TW45	2 x Striegel	x		x
H45	1 x Hackgerät	-	-	x
H23_H45	2 x Hackgerät	-	x	x
TW00_H45	Striegel / Hackgerät	x	-	x
TW45_H45	Striegel / Hackgerät			x

Ergebnisse

Beim Bodenbedeckungsgrad wurden weder bei den Sorten noch bei den Begleitarten signifikante Wechselwirkungen festgestellt ($p<0,05$), weshalb die Ergebnisse unabhängig von der Sorte dargestellt werden. Der Buchweizen bedeckte den Boden signifikant schneller als das Unkraut und zeigte damit seine Konkurrenzkraft (Abb. 1). Das Vorauflaufherbizid wirkte anfänglich zu 100 % gegen die Begleitarten, zeigte aber insbesondere 2019 auch eine phytotoxische Reaktion beim Buchweizen. Im Vergleich zur Kontrolle wurde die Reduktion des Bodenbedeckungsgrades des Unkrautes aber gegen Ende der Vegetationsdauer wieder geringer (bis zu 31,9 %). Zum Zeitpunkt der Ernte war der Bodenbedeckungsgrad der Begleitarten insgesamt gering und betrug in der Kontrolle 10,7 %, im blindgestriegelten Verfahren 6,8 % und im Verfahren mit dem Vorauflaufherbizid 7,3 %. Diese Unterschiede waren nicht signifikant.

Bis zum 2-3-Blatt-Stadium war sowohl beim Bodenbedeckungsgrad des Buchweizens als auch beim Unkraut kein Unterschied zwischen den Verfahren feststellbar. Mit dem Einsatz des Striegels im Nachauflauf konnte zwar der Bodenbedeckungsgrad um rund 34 – 45 % reduziert werden, dieser Effekt war jedoch nicht signifikant (Tab. 2). Mit dem Einsatz des Hackgerätes gelang eine Reduktion von > 70 %, wobei bei keinem der Verfahren der Buchweizenbestand signifikant negativ beeinflusst wurde. Der zweimalige Einsatz desselben Gerätes (2x Striegeln, -45,2 % und 2x Hacken, -87,3 %) lieferten im Vergleich zum einmaligen Einsatz (1x Striegeln, -44,1 % und 1x Hacken, -80,4 %) keine signifikant besseren Ergebnisse. Ebenso konnte die Kombination von Blindstriegeln und spätem Hacken beziehungsweise gleichzeitiges Striegeln und Hacken im 4-5-Blatt-Stadium nicht mit besseren Resultaten als mit einmaligem Hackeinsatz überzeugen. Im 4-5-Blatt-Stadium waren die Unterschiede zwischen den Striegelverfahren und den Hackverfahren signifikant, was zum Zeitpunkt der Ernte nicht mehr der Fall war, weshalb aufgrund der absoluten Werte lediglich noch von einer Tendenz zu besserer Unkrautregulierung mit dem Hackgerät im Vergleich zum Striegel gesprochen werden kann. Der Bodenbedeckungsgrad der Begleitarten unterschied sich in den reinen Striegelverfahren allerdings auch nicht signifikant von der Kontrolle.

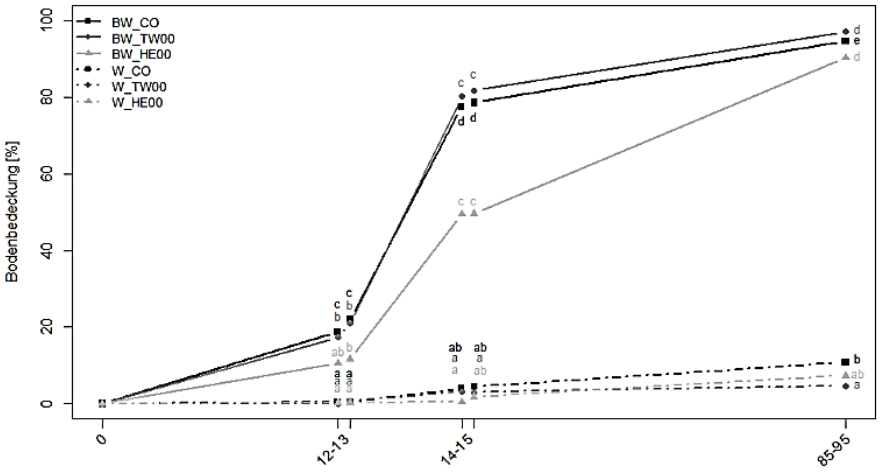


Abb. 1 Bodenbedeckungsgrad [%] von Buchweizen (BW) und Unkraut (W) an den verschiedenen Boniturzeitpunkten für die Verfahren Kontrolle (CO), Blindstriegeln (TW00) und Herbizid (HE00) als Mittel über die drei Buchweizensorten und an den Standorten mit konventioneller Bewirtschaftung für die Jahre 2018 und 2019. Unterschiedliche Buchstaben pro Verfahren kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Fig. 1 *Soil cover [%] of buckwheat (BW) and weed (W) at the different rating dates for the untreated control (CO), tine weeding before emergence (TW00) and herbicide (HE00) as mean of the three buckwheat varieties at the sites with conventional management in the years 2018 and 2019. Different letters indicate significant differences within the treatments ($p < 0.05$).*

Obwohl die Kornerträge der Sorten signifikant unterschiedlich waren (La Harpe: 12,6 dt/ha; Temp: 18,9 dt/ha und Drushina: 21,9 dt/ha; $p<0,05$) unterschieden sie sich nicht zwischen den verschiedenen Unkrautregulierungsmaßnahmen (Abb. 2). Auch im Verfahren mit dem Vorauflaufherbizid und vergleichsweise starker phytotoxischer Wirkung wurde lediglich eine Ertragsminderung von 10-20% beobachtet. Die in diesen Versuchen miteinander verglichenen Unkrautregulierungsmaßnahmen können angewendet werden, ohne einen großen Ertragsverlust zu verursachen. Eine Tendenz ist allerdings dennoch ersichtlich. So können die Verfahren Blindstriegeln und der Einsatz eines Vorauflaufherbizides den Kornertrag unter Umständen negativ beeinflussen. Dies ist jedoch gemäß den Beobachtungen sehr wetterabhängig. Bei der Herbizidanwendung im Jahr 2019 wurde vermutlich durch starke Niederschläge nach der Saat der Wirkstoff in tiefere Bodenschichten verlagert, was zu beachtlichen Schäden an den Buchweizenpflanzen und einem insgesamt schlechten Feldaufgang aufgrund phytotoxischer Reaktionen führte. Beim Blindstriegeln wird es als zentral erachtet, dass die Maßnahme zwingend vor dem Feldaufgang durchgeführt wird. Bei günstiger Witterung und abhängig von der Sorte kann dies bereits 2-3 Tage nach der Saat der Fall sein, weshalb das Blindstriegeln nur bei stark verzögertem Aufgang oder aber tiefen Saattiefen angewendet werden sollte.

Ausserdem wurden weder das TKG, die Standfestigkeit zur Blütezeit noch die Standfestigkeit vor der Ernte durch die untersuchten Unkrautregulierungsmaßnahmen signifikant beeinflusst (Daten nicht gezeigt).

Tab. 2 Wirkungsgrad der Verfahren [%] auf den Bodenbedeckungsgrad der Begleitarten relativ zur Kontrolle im 4-5-Blattstadium (BBCH 14-15) sowie vor der Ernte (BBCH 85-95) des Buchweizen. Mittelwerte aus vier Versuchen mit drei Buchweizensorten in den Jahren 2018 und 2019. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p < 0,05). Abkürzungen siehe Tabelle 1.

Tab. 2 *Efficiency of the different treatments [%] on the soil cover of weeds relativ to the control at the 4-5-leaf stage (BBCH 14-15) and prior to harvest (BBCH 85-95) of buckwheat. Mean of four trials with three buckwheat varieties in the years 2018 and 2019. Different letters indicate significant differences (p < 0.05). For abbreviations, see table 1.*

Maßnahme	Wirkungsgrad [%] bei BBCH 14-15 rel. zu CO (7,4 % absolute Bodenbedeckung)		Wirkungsgrad [%] bei BBCH 85-95 rel. zu CO (10,7 % absolute Bodenbedeckung)	
TW00	9,7	d	-36,5	ab
TW45	-35,7	bc	-44,1	ab
TW00_TW45	-34,7	bd	-45,2	ab
CO	0,0	cd	0,0	b
H45	-92,0	a	-80,4	a
H23_H45	-94,9	a	-87,3	a
TW00_H45	-85,1	a	-83,6	a
TW45_H45	-87,1	a	-77,8	a

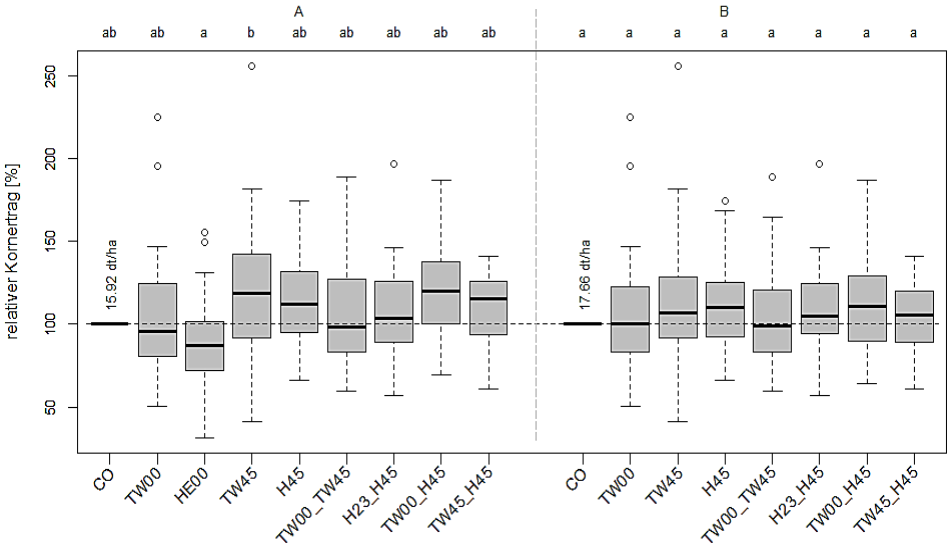


Abb. 2 Mittlerer relativer Kornertrag [%] von drei Buchweizensorten standardisiert auf 13 % Wassergehalt der untersuchten Verfahren zur Regulierung der Begleitarten: (A) zwei Versuche mit Vorauflaufherbizid (B) vier Versuche als mechanische Verfahren. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p < 0,05). Abkürzungen siehe Tabelle 1.

Fig. 2 *Mean relative grain yield [%] of three buckwheat varieties standardized to a moisture content of 13% for (A) two trials with the herbicide treatment (B) four trials with the mechanical control measures. Different letters indicate significant differences (p < 0.05). For abbreviations, see table 1.*

Schlussfolgerungen

Basierend auf den vorliegenden Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass für die Regulierung der Begleitarten im Buchweizenanbau sowohl der Striegel als auch das Hackgerät eingesetzt werden können. Bei guten Bedingungen nach der Maßnahme (gutes Vertrocknen der Begleitarten) konnte keine verbesserte Wirkung festgestellt werden, wenn ein zweiter Durchgang mit der Hacke oder dem Striegel vorgenommen wurde. Ein Einsatz im 4-5-Blattstadium – vor allem mit dem Hackgerät – reduzierte wirkungsvoll den Druck der Begleitarten ohne negative Auswirkungen auf den Kornertrag. Das in vorgängigen Versuchen als effektive Maßnahme

beschriebene Vorauflaufherbizid Nimbus CS (ZELLWEGER et al., 2017) kann unter bestimmten Bedingungen zu Schäden bei Buchweizen führen, die aber keine signifikanten Ertragsminderungen bewirkten.

Bei der Wahl des Verfahrens sollten aber dennoch einige Aspekte beachtet werden:

- Bei der chemischen Unkrautregulierung ist es wichtig, die Wetteraussichten zu beachten. Nach der Applikation sollten möglichst einige trockene Tage folgen, um eine Verlagerung des Wirkstoffes in den Saatgutablagehorizont zu verhindern. Außerdem müssen die Zulassungsbestimmungen bzgl. chemischen Pflanzenschutzes bei Buchweizen berücksichtigt werden (in der Schweiz ist zurzeit noch kein Mittel zugelassen).
- Blindstriegeln schädigt auf Grund der sehr schnellen Keimung möglicherweise den Buchweizen stärker als das Unkraut. Blindstriegeln sollte nur bei witterungsbedingten Auflaufverzögerungen in Betracht gezogen werden oder aber wenn die Samen tiefer abgelegt werden.
- Generell ist die Bekämpfung von Unkräutern mit dem Hackgerät erfolgsversprechender als mit dem Striegel.

Beobachtungen im Feld lassen vermuten, dass Buchweizen neben der schnellen Jugendentwicklung auch durch andere Eigenschaften seine Konkurrenzkraft gegenüber anderen Pflanzen erhöhen kann. Versuche zur unkrautunterdrückenden Wirkung von Wurzelausscheidungen laufen zurzeit bei Agroscope.

Generell wird empfohlen, Buchweizen auf Flächen mit einem geringen N-Nachlieferungsvermögen anzubauen, um der Entwicklung von sehr krautigen Pflanzen mit schlechter Abreife vorzubeugen. An allen vier Versuchsstandorten wurden zum Zeitpunkt der Saat N_{min}-Gehalte > 100 kg/ha gemessen. Durch die mechanischen Eingriffe wurde vermutlich die N-Mineralisierung weiter verstärkt. In welchem Ausmaß die mechanische Unkrautregulierung beziehungsweise eine übermässige N-Verfügbarkeit die Standfestigkeit der Sorten beeinflusst, müsste genauer untersucht werden.

Literatur

LUSTENBERGER, R., F. ESCHER, J. SOLMS, A. HAUSER, 1977: Über den Anbau und die Verarbeitung von Buchweizen (*Fagopyrum sagittatum*, Gilib). Separatdruck aus Schweizerische Landwirtschaftliche Monatshefte **55**, 275–294, Benteli AG, Bern.

STRAHM, S., D. FÜGLISTALLER, C. LÄDRACH, A. ENGGIST, A. THUET, C. LUGINBÜHL, H. RAMSEIER, J. HILTBRUNNER., 2019: Buchweizenanbau in der Schweiz: neue Sorten für eine alte Nischenkultur. Agrarforschung Schweiz **10** (5), 198-205.

ZELLER, F.J., 2001: Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* Moench): Nutzung, Genetik, Züchtung. Die Bodenkultur **52** (3), 259–271.

ZELLER, F.J., S.L.K. HSAM, 2004: Buchweizen – die vergessene Kulturpflanze: Funktionelles Lebensmittel. Biologie in unserer Zeit **34** (1), 24–31.

ZELLWEGER, H., G. FEICHTINGER, E. PÉREZ, A. WALTER, A. HUND, 2017: Unkrautbekämpfung beim Buchweizen: Vergleich von fünf ausgewählten Herbiziden. Agrarforschung Schweiz **8** (7+8), 310-317.

Vergleich zweier Zwischenfrucht-Anbauverfahren von Zuckerrüben im Praxisversuch, unter Berücksichtigung verschiedener Herbizidwirkstoffe

Comparison of two cover crops methods in sugar beets in a field trial with different herbicide active substance

Marleen Schulz[1*], Friedhelm Schwager[2], Becke Strehlow[1]

[1]Hochschule Neubrandenburg, Brodaer Straße 2, 17033 Neubrandenburg
[2]Nordzucker AG, An der Zuckerfabrik 1, 29525 Uelzen
*Korrespondierende Autorin, Marleen_Schulz@outlook.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.047

Zusammenfassung

Zukünftig wird sich der Anbau von Zuckerrüben erschweren. Grund dafür ist unter anderem, dass in absehbarer Zeit immer mehr herbizide Wirkstoffe wegfallen, da sie ihre Zulassung verlieren. So wurde die Genehmigung für den Wirkstoff Desmedipham bereits vor einigen Wochen von der Europäischen Union nicht erneuert und auch eine Verlängerung der Zulassung des Wirkstoffs Phenmedipham ist ungewiss. Auf einem Praxisbetrieb wurde ein Streifenversuch angelegt, um zu überprüfen, ob mit den verbleibenden herbiziden Wirkstoffen und verschiedenen Zwischenfruchtanbauverfahren, die am Standort auftretenden Unkräuter erfolgreich bekämpft werden können. Neben dem Unkrautspektrum und dem Bekämpfungserfolg der eingesetzten Herbizide wurde in den verschiedenen Anbauvarianten das Wachstum der Rüben, sowie der Rüben- und Zuckerertrag erfasst.

Verglichen wurde die unkrautunterdrückende Wirkung verschiedener Zwischenfrucht-Anbauverfahren. Dies könnte auf die unterschiedlichen Biomasserückstände der einzelnen Varianten zurückgeführt werden. Die geringste unkrautunterdrückende Wirkung wies die Winterweizen-Zwischenfrucht auf, welcher vor der Zuckerrübenaussaat mit Glyphosat beseitigt wurde. Der Zeitpunkt der Beseitigung des Zwischenfrucht-Winterweizens hatte einen starken Effekt auf die spätere Verunkrautung der Zuckerrüben.

Außerdem wurden zwei Herbizid-Varianten verglichen, in denen einerseits die Wirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham und andererseits Clopyralid und Metamitron eingesetzt wurden. Dabei zeigte die Herbizid-Variante Desmedipham und Phenmedipham die höchsten Wirkungsgrade gegenüber den Leitunkräutern. Auffällig war jedoch, dass in dieser Herbizid-Variante der Rübenertrag mit 83,8 t/ha und der Zuckergehalt mit 15,5 % geringer ausfiel als in der Vergleichs-Variante Clopyralid und Metamitron (98,8 t/ha mit 16,5 % Zucker). Die mittlere Anzahl der Unkrautpflanzen lag über dem gesamten Boniturzeitraum auf einem sehr geringen Niveau. Es wurden maximal elf Pflanzen/m² bonitiert. Dies könnte erklären, dass trotz der höheren Unkrautzahlen in der Herbizid-Variante Clopyralid und Metamitron höhere Erträge realisiert wurden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass trotz wegfallender Herbizide, Zuckerrüben erfolgreich angebaut werden können und der Zwischenfruchtanbau einen wichtigen Beitrag zur Unkrautunterdrückung leisten kann.

Stichwörter: Zuckerrübe, Herbizide, Zwischenfrucht, Wachstum

Abstract

In the future, the cultivation of sugar beet will become more difficult. One of the reasons is that more and more herbicidal active ingredients will be prohibited because they loose their approvals. A few weeks ago the approval for the active substance desmedipham was not renewed by the European Union and the approval for Phenmedipham is also uncertain. On a practical farm, a strip trial with various cultivation methods was carried out to check if the herbicidal active substances available for use in sugar beet and various covercropping methods could be used to control weeds successfully. In addition to the weed spectrum and the efficacy of the herbicides used, the growth of the sugar beets as well as the beet and sugar yield were recorded in the various cultivation variants.

The weed-suppressing effect of various covercropping methods was compared. Differences could be attributed to the different biomass residues of the individual cover crop varieties. The lowest weed-suppressing effect was found for the winter wheat cover crop, which was removed with glyphosate before sowing of the sugar beet. The time of removal of the winter wheat cover crop had a strong effect on the subsequent weeds in the sugar beet.

In addition, two herbicide variants were compared in which on the one hand the active ingredients desmedipham and phenmedipham and on the other hand clopyralid and metamitron were used. The herbicide variants desmedipham and phenmedipham showed the highest efficacy on the main target weeds. However, it was noticeable that in this herbicide variant the beet yield of 83.8 t/ha and the sugar content of 15.5 % were

lower than in the comparison variant clopyralid and metamitron (98.8 t/ha with 16.5 % sugar). The average number of weed plants over the entire experimental period was at a very low level. A maximum of eleven weed plants/m² were assessed. This could explain that higher yields were achieved under the herbicide variant clopyralid and metamitron although higher weed numbers were detected.

In summary, it can be stated that despite the loss of important herbicides, sugar beet can be successfully cultivated and cover crops can make an important contribution to weed suppression.

Keywords: Sugar beet, herbicides, cover crop, growth

Einleitung

Die Veröffentlichungen der Wirtschaftsverbände Zucker zum Rübenanbau zeigen, dass die Anbauflächen von Zuckerrüben trotz des Wegfalls der nationalen Zuckerquoten und der Rübenmindestpreise in 2017, sowie trotz fallender Preise auf dem Weltzuckermarkt steigen (Tab. 1) (WVZA, WVZD). Die Anzahl an Rübenanbauern in Deutschland ist rückläufig, die durchschnittliche Anbaufläche pro Rübenanbauer ist jedoch in den letzten drei Jahren um circa vier Hektar gestiegen, was die steigende Anbaufläche erklärt (Tab. 1). Die Rübenerträge und Zuckergehalte unterliegen jährlichen Schwankungen und liegen zwischen 63 und 84 t/ha bzw. zwischen 17,9 und 19,3 % (Tab. 1).

Tab. 1 Zuckerrübenanbau und Zuckererzeugung in Deutschland (*Schätzungen).

Tab. 1 *Sugar beet cultivation and sugar production in Germany (*estimates).*

	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020*
Anbaufläche in ha	299.692	382.012	390.285	375.575
Anzahl der Rübenanbauer	28.509	27.142	26.571	25.000
Ø-Anbaufläche je Rübenanbauer in ha	10,5	14,1	14,7	15,0
Rübenertrag in t/ha	75,2	84,1	63,1	69,5
Zuckergehalt in %	17,9	17,9	19,3	18,1

Quelle: WVZB, WVZE

Beim Zuckerrübenanbau spielt die sogenannte „abnehmende Hand" eine wichtige Rolle, so konzentriert sich der Anbau vornehmlich um die Standorte der Zuckerfabriken (Abb. 1).

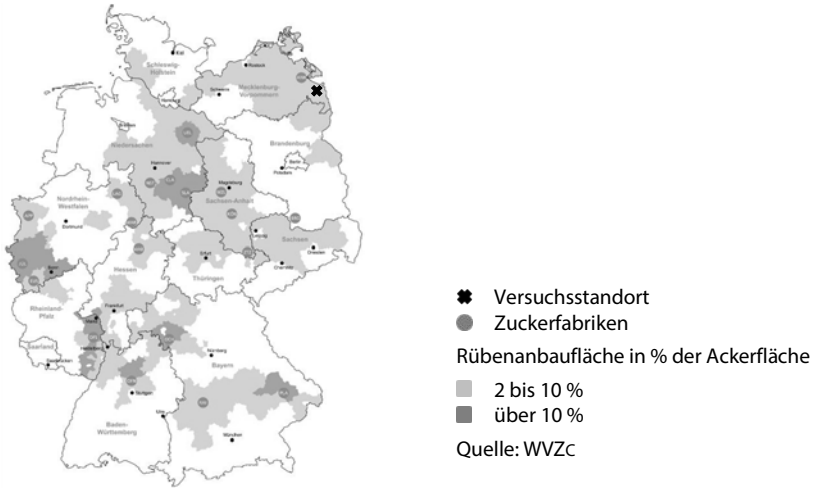


Abb. 1 Zuckerrübenanbaugebiete.

Fig. 1 *Sugar beet growing areas.*

In Bezug auf den Herbizideinsatz stellt die Zuckerrübe besondere Ansprüche. Vor allem in ihrer Jugendentwicklung und dem späten Reihenschluss ist die junge Pflanze konkurrenzschwach

gegenüber der Ackerbegleitflora, so dass mehrmalige Herbizideinsätze im Keimblattstadium der Ungräser und -kräuter praxisüblich sind (ROßBERG et al. 2017).

Die Pflanzenschutzintensität im Zuckerrübenanbau ist in den letzten Jahren stetig gestiegen. Der Behandlungsindex liegt bei den Herbiziden zwischen 2,1 und 2,8 (ROßBERG et al. 2017). Die Gründe für den zunehmenden Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sind vielfältig. In Bezug auf den Herbizideinsatz ist ein Grund jedoch das Auftreten schwer bekämpfbarer Unkräuter wie Bingelkraut, Hundspetersilie, Kamille, Klettenlabkraut, Knöterichar ten (v. a. Vogel- und Windenknöterich) und Weißer Gänsefuß, aber auch Schosserrüben und Raps (VASEL et al. 2012). Die Herbizidapplikationen erfolgen üblicherweise im Splitting-Verfahren mit reduzierten Aufwandmengen und die Behandlungshäufigkeiten liegen zwischen 3,5 und 3,9 (ROßBERG et al. 2017).

Auf nahezu allen Zuckerrübenflächen wurden vor allem die Wirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham besonders häufig zur Unkrautregulierung eingesetzt. Diese Wirkstoffkombination ist Bestandteil vieler Herbizide, mit welcher die oben genannten Problemunkräuter, mit Ausnahme von Hundspetersilie und Kamille, sicher kontrolliert werden konnten. Aufgrund der hohen Einsatzmengen der Herbizidwirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham wurden Metaboliten beider Wirkstoffe bereits in Oberflächengewässern bzw. dem Grundwasser gefunden, so dass eine Erneuerung der Zulassung des Wirkstoffs Phenmedipham nach dem Zulassungsende ungewiss ist (DRESSLER 2019). Die Durchführungsverordnung 2019/1100 der Europäischen Kommission vom 27. Juni 2019 regelte bereits die Nichterneuerung der Zulassung für den Wirkstoff Desmedipham. Die Aufbrauchfrist für Herbizide mit diesem Wirkstoff endet am 01. Juli 2020.

Weitere wichtige Herbizidwirkstoffe sind Ethofumesat und Metamitron (ROßBERG et al. 2017). Der Wirkstoff Metamitron, in Kombination mit Clopyralid, weist Wirkungslücken beim Bingelkraut, Klettenlabkraut und den Knöterichar ten auf. Bingelkraut und Klettenlabkraut lassen sich stattdessen mit dem Wirkstoff Ethofumesat kontrollieren (GEHRING und THYSSEN 2019). Aufgrund des Wegfalls von Desmedipham un der potentiellen Nichterneuerung von Phenmedipham gibt es zukünftig im Rübenanbau keine herbiziden Wirkstoffe, die den Vogel- und Windenknöterich erfolgreich kontrollieren. Um die an einem Standort auftretenden Unkräuter zu bekämpfen, müssen vermehrt Wirkstoffmischungen eingesetzt werden (GEHRING und THYSSEN 2019), was die Spritzmittelauswahl für den Landwirt erschwert.

Bei 44 % der Rüben-anbauenden Landwirtschaftsbetriebe deutschlandweit erfolgt die Saatgutablage in ein gepflügtes Saatbett. Auf 30 % der Flächen erfolgt die Aussaat per Mulchsaatverfahren in Verbindung mit dem Anbau von Zwischenfrüchten, 24 % der Landwirte hingegen bauen ihre Zuckerrüben per Strohmulchverfahren an, während auf den restlichen 2 % die Aussaat per Strip-Till-Verfahren erfolgt (STOCKFISCH et al. 2013).

Eine Alternative zum chemischen Pflanzenschutz wäre die mechanische Unkrautregulierung. Der Unkrautbesatz lässt sich mit Hilfe von Hacke und Striegel verringern und in Verbindung mit kameragestützen Lenksystemen wird der Anteil an geschädigten und entwurzelten Rüben reduziert. Im Vergleich zum Herbizideinsatz weist die mechanische Unkrautregulierung geringere Wirkungsgrade auf (90 % versus 82 %) (KUNZ et al. 2016).

In der vorliegenden Untersuchung soll überprüft werden, ob die standortspezifische Verunkrautung während der konkurrenzschwachen Jugendentwicklung der Zuckerrübe, trotz Wegfall der Wirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham sicher kontrolliert werden kann. Hierfür wurden Streifenversuche auf zwei Praxisflächen angelegt, um zum einen die Wirkung von Herbizidmischungen (mit und ohne Desmedipham/Phenmedipham) und zum anderen verschiedene Zwischenfruchtanbaufahren (abgefrorener Bestand einer Zwischenfruchtmischung, Winterweizen-Zwischenfrucht mit Beseitigung der Zwischenfrucht vor der Zuckerrüben-Aussaat mit Glyphosat und Winterweizen-Zwischenfrucht mit Beseitigung der Zwischenfrucht nach der Zuckerrüben-Bestandesetablierung mit einem Graminizid) in ihrer Unkraut-unterdrückenden Wirkung miteinander zu vergleichen. Die Arbeiten wurden im Rahmen einer Masterarbeit an der Hochschule Neubrandenburgdurchgeführt.

Material und Methoden

Anbauverfahren, Versuchsanlage und Versuchsvarianten

Der Versuch wurde auf den Praxisflächen eines Ackerbaubetriebes in Mecklenburg-Vorpommern, im Landkreis Rostock, angelegt (53°55'06.8"N, 12°23'21.2"O) (Abb. 1). Er wurde auf zwei Flächen (Fläche A: 20,43 ha, Fläche B: 0,67 ha) durchgeführt, die durch einen Feldweg voneinander getrennt sind (Abb. 2). Die Bodenart ist lehmiger Sand und die Bodenpunkte liegen bei 37/38.

Die Zuckerrüben wurden auf beiden Flächen im absätzigen Strip-Till-Verfahren direkt in den Zwischenfruchtbestand gelegt. Einen Tag vor der Aussaat wurde der Boden in den entsprechenden Streifen bearbeitet und gleichzeitig 20 m^3/ha flüssige Gärreste ausgebracht. Am 10. April erfolgte die Aussaat der Rüben mit einer Ablagetiefe von 3 cm. Die Ablageentfernung betrug 18 und der Reihenabstand 45 cm, so dass die Aussaatdichte bei etwa zwölf Zuckerrübenpflanzen pro m^2 lag.

Um neben den Auswirkungen der verschiedenen Zwischenfrucht-Anbauverfahren auch die Effekte der verschiedenen, eingesetzten Herbizidwirkstoffe auf die Verunkrautung, sowie die Zuckerrübenentwicklung und den –ertrag zu erfassen, wurde auf beiden Versuchsflächen ein Streifenversuch ohne Wiederholungen angelegt (Abb. 2).

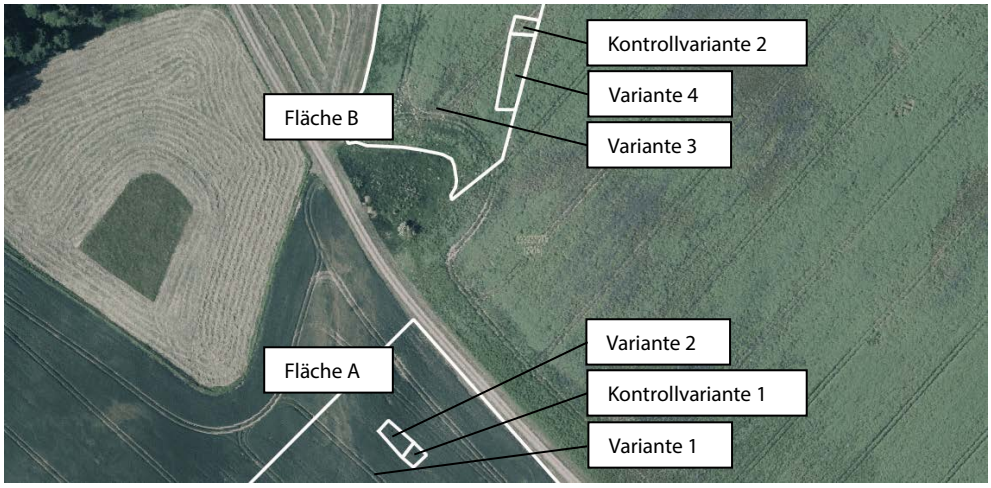


Abb. 2 Lage der Versuchsflächen und –varianten.

Fig. 2 *Location of test plots and –variants.*

Auf der Versuchsfläche A wurden die Zuckerrüben in einen abgestorbenen Zwischenfruchtbestand gedrillt. Die Zwischenfruchtmischung (Lupinen, Phacelia und Rauhafer) wurde am 11. August 2018 gedrillt. Die Herbizid-Variante 1 enthielt die Wirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham (3,75 l/ha Betanal MAXXPRO: 47 g/l Desmedipham; 60 g/l Phenmedipham, 75 g/l Ethofumesat und 27 g/l Lenacil; Bayer CropScience)) und wurde nicht als Streifen, sondern auf der gesamten Fläche am 27. April, 6. und 23. Mai appliziert (Abb. 2 und 3, Tab. 2). Die Herbizid-Variante 2 stellte eine Alternative zur bisher praxisüblichen und weitverbreiteten ersten Herbizid-Variante 1 dar. Variante 2 umfasste die Applikation des Wirkstoffes Clopyralid (0,10 l/ha LONTREL 600: 600 g/l Clopyralid; Corteva) am 17. Mai und des Wirkstoffes Metamitron (4,00 l/ha Metafol SC: 696 g/l Metamitron; UPL) an zwei Terminen (27. April und 06. Mai). Die Pflanzenschutzmittel wurden als Streifen auf ca. 85 m^2 ausgebracht (Abb. 2 und 3, Tab. 2). Mit dieser Versuchsvariante soll der Frage nachgegangen werden, ob die Unkräuter trotz potentiellem Wegfall der beiden Wirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham mit den weiterhin verfügbaren Herbizidwirkstoffen Clopyralid und Metamitron bekämpft werden können.

Auf der Versuchsfläche B wurden die Zuckerrüben nicht in einen abgestorbenen Bestand einer Zwischenfruchtmischung, sondern in einen Weizenbestand gelegt. Der Winterweizen „Ponticus" wurde am 28. September 2018 mit einer Aussaatstärke von 245 Körner/m² gedrillt. Auf der Herbizid-Variante 3 wurde der Winterweizen acht Tage nach der Rübenaussaat am 18. April mit dem Graminizid Quizalofop-P (2,00 l/ha Targar Super: 46,3 g/l Quizalofop-P; Nufarm) beseitigt. Diese Variante wurde auf 0,6 ha appliziert (Abb. 2 und 3, Tab. 2). In der Herbizid-Variante 4 (250 m²) wurde der Weizen vor der Rübenaussaat am 24. Februar mit dem Totalherbizid Glyphosat(3,00 l/ha Durano: 360 g/l Glyphosat; Bayer CropScience) beseitigt (Abb. 2 und 3, Tab. 2). Der Winterweizen hatte zu den Applikationszeitpunkten das BBCH Stadium 25 (Variante 4) beziehungsweise 31/32 (Variante 3) erreicht. In diesen beiden Versuchsvarianten erfolgte die Bekämpfung der später auflaufenden Unkräuter mit den Wirkstoffen Clopyralid und Metamitron, identisch mit der Versuchsvariante 2 (Abb.3 und Tab. 2). Mit diesem Streifenversuch soll überprüft werden, ob der Zeitpunkt der Beseitigung des Weizenbestandes vor- bzw. nach der Rübenaussaat einen Einfluss auf das Rübenwachstum, sowie das Unkrautspektrum hat. Außerdem wird der Versuchsfrage nachgegangen, ob die Winterweizenzwischenfrucht als kurzzeitige Begleitkultur zu den Zuckerrüben die auftretenden Unkräuter besser unterdrückt als die Zwischenfruchtmischung, die über den Winter abgefroren ist.

Tab. 2 Versuchsvarianten.

Tab. 2 *Experimental treatments.*

Feld	Zwischenfrucht-Anbauverfahren	Variante	Wirkstoffe	Anzahl Applikationen
A	Zwischenfruchtmischung (Lupine, Phacelia, Rauhafer)	Kontrolle	-	0
		1	Phenmedipham + Desmedipham	3
		2	Clopyralid + Metamitron	3
B	Weizen (Ponticus)	Kontrolle	Graminizideinsatz nach Aussaat	1
		3	Graminizideinsatz nach Aussaat	1
			Clopyralid + Metamitron	3
		4	Glyphosateinsatz vor Aussaat	1
			Clopyralid + Metamitron	3

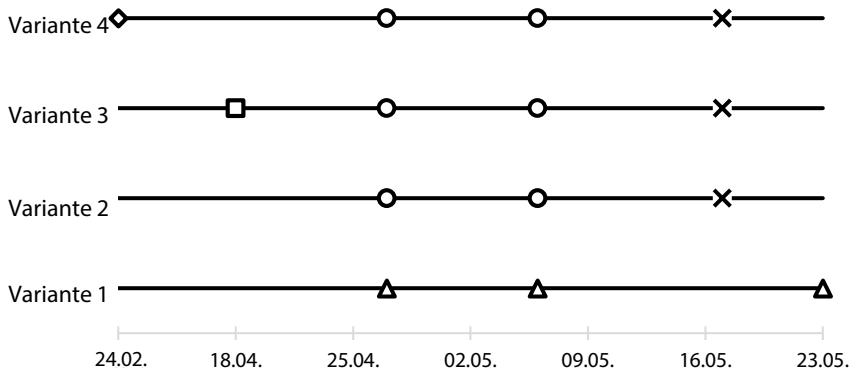
Auf beiden Flächen wurden Spritzfenster (unbehandelte Kontrollvarianten) angelegt (Abb. 2 und Tab. 2) um das Unkrautspektrum und den Bekämpfungserfolg der Herbizidmaßnahmen zu erfassen. Beide Kontrollvarianten waren ca. 50 m² groß. Auf der Kontrollvariante der Fläche B erfolgte ein Graminizideinsatz (2,00 l/ha Targa Super) um den Winterweizenbestand zu beseitigen und nur die nachfolgend auflaufenden Unkräuter zu bonitieren (Tab. 2).

Untersuchungsmethoden

Zur Dokumentation des Wachstumsverlaufs der Zuckerrüben wurde ab dem Tag der Aussaat bis zum Reihenschluss wöchentlich das BBCH-Stadium bestimmt. Die Anzahl aufgelaufener Unkrautpflanzen, sowie deren Deckungsgrad wurden mit Hilfe des Göttinger Zählrahmens (1/10 m²) in jeder einzelnen Versuchsvariante in zehnmaliger Wiederholung an acht Boniturterminen von Mitte April bis Mitte Juni erfasst. Der Wirkungsgrad der Herbizide wurde für die Varianten 1 und 2 auf Fläche A zur Endbonitur am 12. Juni mit Hilfe folgender Formel nach Abbott (Abbott 1925) berechnet:

$$\text{Wirkungsgrad in \%} = \frac{\text{Pflanzen Kontrolle} - \text{Pflanzen behandelte Variante}}{\text{Pflanzen Kontrolle}}\ x\ 100$$

Um den Ertrag der Zuckerrübe und deren Zuckergehalt zu bestimmen, wurde am 24. September auf den einzelnen Versuchsvarianten eine Proberodung durchgeführt. Hierzu wurden pro Versuchsvariante jeweils auf 2,5 m² in zweimaliger Wiederholung die Rüben geerntet, gezählt und gewogen, um die Pflanzenanzahl je Hektar, sowie den Ertrag zu berechnen. Außerdem wurde der Zuckergehalt der Rüben im Labor der Nordzucker AG analysiert.



Herbizid	Wirkstoffe	Symbol
Durano	360 g/l Glyphosat	◇
Targa Super	46,3 g/l Quizalofop-P	□
Betanal MAXXPRO	47 g/l Desmedipham; 60 g/l Phenmedipham, 75 g/l Ethofumesat und 27 g/l Lenacil	△
Metafol SC	696 g/l Metamitron	○
LONTREL 600	600 g/l Clopyralid	✖

Abb. 3 Behandlungszeitpunkte und eingesetzte Herbizide der einzelnen Varianten.

Fig. 3 *Treatment times and herbicides used for the individual variants.*

Ergebnisse

Unkrautspektrum der beiden Versuchsfelder

Tabelle 3 zeigt die Anzahl der verschiedenen Unkrautarten, die Summe der insgesamt bonitierten Unkrautpflanzen über den Versuchszeitraum, deren Mittelwert und Standardabweichung, sowie die maximal bonitierte Pflanzenanzahl für die Kontrollvarianten der beiden Versuchsflächen. Generell ist zu sehen, dass es Unterschiede im Unkrautbesatz zwischen den zwei Versuchsflächen gab. Während auf Fläche A das Artenspektrum größer war (Feld A: 17 Arten, Feld B: 7 Arten), wies die Fläche B Fläche B eine höhere Gesamtunkrautdichte auf (Feld A: 880 Pflanzen/m^2, Feld B: 1640 Pflanzen/m^2) (Tab. 3).

Tab. 3 Unkrautspektrum der beiden Kontrollvarianten.

Tab. 3 *Weed spectrum of the two control variants***.**

Feld	Artenanzahl	Summe (Pfl./m^2)	Mittelwert (Pfl./m^2)	Standardabweichung	Maximum (Pfl./ m^2)
A	17	880	7,52	5,71	20
B	7	1640	12,71	15,55	100

Tabelle 4 zeigt die mittlere Dichte und Stetigkeit der Leitunkrautarten der Kontrollvarianten beider Versuchsflächen. Der Vergleich der beiden Flächen zeigt, dass sich die Versuchsstandorte in ihren Leitunkräutern nicht stark voneinander unterschieden. Zu den Leitunkräutern zählten auf beiden Flächen der Gemeine Windenknöterich (POLCO) und das Acker-Stiefmütterchen (VIOAR). Beide wurden häufig und mit hohen Pflanzenanzahlen/m^2 an den einzelnen Terminen bonitiert (Tab. 4). Auf Feld A wurden der Raps (BRSNN), der Weiße Gänsefuß (CHEAL) und die Vogel-Wicke (VICCR) häufiger bonitiert als auf Feld B (Tab. 4). Der Vogel-Knöterich (POLAV) wurde auf beiden Flächen

vergleichsweise selten bonitiert und der Schlitzblättrige Storchschnabel (GERDI) war lediglich auf Versuchsfläche A vertreten (Tab. 4).

Tab. 4 Dichte und Stetigkeit der Leitunkrautarten der beiden Kontrollvarianten.

Tab. 4 *Density and consistency of the leading weed species of of the two control variants.*

Unkraut	Feld A		Feld B	
	Dichte (Pfl./m²)	Stetigkeit (%)	Dichte (Pfl./m²)	Stetigkeit (%)
BRSNN	10,00	78	10,00	11
CHEAL	10,91	56	12,11	33
GERDI	10,00	44	-	-
POLAV	10,00	33	12	33
POLCO	13,64	78	17,09	78
VICCR	14,00	33	10,00	22
VIOAR	10,71	56	26,79	56

Mittelvergleich: Unkrautbekämpfung auch mit den weiterhin verfügbaren Herbizidwirkstoffen Clopyralid und Metamitron realisierbar?

Abbildung 4 zeigt den Einfluss der Zwischenfruchtmischung (Fläche A) auf die mittlere Unkrautdichte der Versuchsvarianten 1 und 2 je Boniturtermin. Der Vergleich der beiden Varianten zeigt, dass die Variante 1 (Desmedipham und Phenmedipham), eine geringere mittlere Unkrautdichte aufwies als die Variante 2 (Clopyralid und Metamitron). Dennoch lag die mittlere Anzahl der Unkrautpflanzen/m² mit maximal elf Pflanzen/m² über dem gesamten Boniturzeitraum hinweg auf einem niedrigen Niveau.

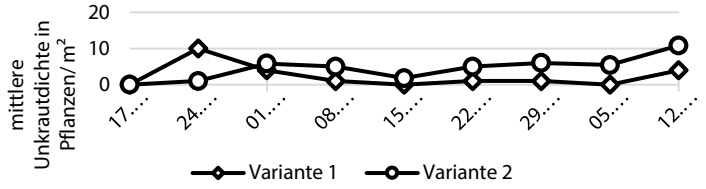


Abb. 4 Entwicklung der mittleren Unkrautdichte der Fläche A.

Fig. 4 *Development of the mean weed density on field A.*

Tabelle 5 stellt den Wirkungsgrad der Herbizidmaßnahmen nach ABBOTT bei den Leitunkräutern der Versuchsvarianten 1 und 2 zur Endbonitur am 12. Juni dar (Abb. 5). Generell ist zu sehen, dass sich die Herbizidvarianten in ihrer Wirkung gegenüber den Unkräutern unterschieden. Die Variante 1 (Desmedipham und Phenmedipham) wies einen Wirkungsgrad von 76,47 % gegenüber der Gesamtverunkrautung (HERBA) auf und lag deutlich über dem Wirkungsgrad der Variante 2 (Clopyralid und Metamitron), deren Behandlungserfolg nur bei 23,53 % lag (Tab. 4). In Bezug auf die einzelnen Unkrautarten lässt sich festhalten, dass beide Herbizid-Varianten POLAV zu 100 % bekämpfen konnten. Die Wirkungsgerade gegenüber CHEAL und VIOAR bzw. BRSNN und GERDI, unterschieden sich zwischen den Herbizid-Varianten jedoch stark: Die Wirkungsgerade lagen in der Variante 1 mit 50 bzw. 100 % über den Wirkungsgraden in der Variante 2, in welcher die aufgeführten Unkrautarten mit den Wirkstoffen Clopyralid und Metamitron nicht bekämpft werden konnten (Tab. 4). VICCR war zu Endbonitur lediglich auf der Variante 2 vertreten, wobei die Herbizidmaßnahmen bei ihrer Bekämpfung keine Wirkung zeigten (Tab. 4). Die Herbizideinsätze beider Varianten zeigten gegenüber POLCO keinerlei Erfolge (Tab. 4).

Tab. 5 Endverunkrautung (Pfl./m²) und Wirkungsgrade der Herbizidapplikationen (%) der Varianten 1 und 2.

Tab. 5 *Final weed in plants/m² and efficiency of herbicide applications in % of variants 1 and 2.*

	HERBA		**BRSNN**		**CHEAL**		**GERDI**	
	Pfl./m²	**%**	**Pfl./m²**	**%**	**Pfl./m²**	**%**	**Pfl./m²**	**%**
Variante 1	40	76,47	0	100,00	10	50,00	0	100,00
Variante 2	130	23,53	10	0,00	70	0,00	10	0,00
Kontrollvariante	170	/	10	/	20	/	10	/
	POLAV		**POLCO**		**VICCR**		**VIOAR**	
	Pfl./m²	**%**	**Pfl./m²**	**%**	**Pfl./m²**	**%**	**Pfl./m²**	**%**
Variante 1	0	100,00	20	0,00	/	/	10	50,00
Variante 2	0	100,00	10	0,00	70	0	20	0,00
Kontrollvariante	40	/	10	/	/	/	20	/

Winterweizen-Zwischenfrucht: Hat die Beseitigung des Weizenbestandes vor- bzw. nach der Rübenaussaat einen Einfluss auf die Unkrautdichte?

Abbildung 5 zeigt den Einfluss der Winterweizen-Zwischenfrucht auf die mittlere Gesamtverunkrautung der Versuchsvarianten 3 (Beseitigung der Weizen-Zwischenfrucht nach der Zuckerrübenaussaat) und Variante 4 (Beseitigung der Weizen-Zwischenfrucht vor der Zuckerrübenaussaat), je Boniturtermin. An den ersten drei Boniturterminen war die mittlere Unkrautdichte gering und unterscheidet sich nicht zwischen den Versuchsvarianten. Unterschiede in der mittleren Unkrautdichte traten erst ab dem 08. Mai auf. Die Variante 3 wies nun im Vergleich zur Variante 4 eine geringere mittlere Unkrautdichte auf. Die maximale mittlere Unkrautdichte der Variante 3 lag bei 51 Unkrautpflanzen/m² und die der Variante 4 bei 21 Pflanzen/m². Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Zeitpunkt der Beseitigung des Zwischenfrucht-Weizens die spätere Verunkrautung beeinflusst.

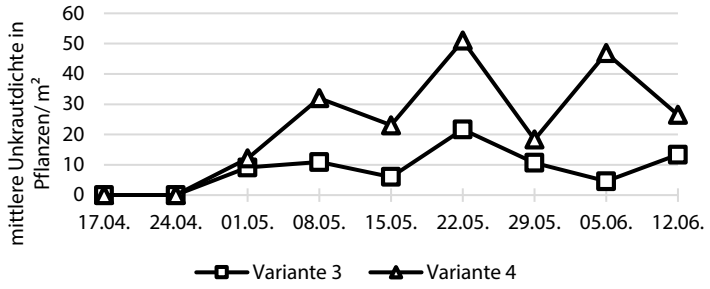


Abb. 5 Entwicklung der mittleren Unkrautdichte der Fläche B.

Fig. 5 *Development of the mean weed density of area B.*

Anbauverfahren Zwischenfrucht: Welche Auswirkungen hat eine Winterweizen-Zwischenfrucht als kurzzeitige Begleitkultur im Vergleich zu einer Beseitigung vor Rübenaussaat bzw. einer Zwischenfruchtmischung?

Abbildung 6 zeigt den Einfluss der verschiedenen Zwischenfrucht-Anbauverfahren auf die mittlere Unkrautdichte je Boniturtermin. Der Herbizideinsatz (Wirkstoffe Clopyralid und Metamitron) fiel auf den Zwischenfrucht-Varianten identisch aus. Insgesamt fällt der Unkrautbesatz auf der Fläche B (Winterweizen-Zwischenfrucht), ab Mai, höher aus als auf der Fläche A (Zwischenfruchtmischung). Zu sehen ist, dass die Variante 4 (Beseitigung der Weizen-Zwischenfrucht vor der Zuckerrübenaussaat) eine höhere mittlere Unkrautdichten aufwies als die Variante 3 (Beseitigung der Weizen-Zwischenfrucht 8 Tage nach der Zuckerrübenaussaat) und die Variante 2 (abfrierende Winterzwischenfruchtmischung). Die Varianten 2 und 3 wiesen im Vergleich zur Variante 4 mehr abgestorbene Biomasse auf der Bodenoberfläche auf (Daten nicht dargestellt), was die Unkraut-unterdrückende Wirkung erklären könnte. Die geringsten Unkrautdichtenwies Variante 2 auf, was

jedoch auch auf die geringere Gesamtverunkrautung der Fläche A zurückgeführt werden könnte (Tab. 3).

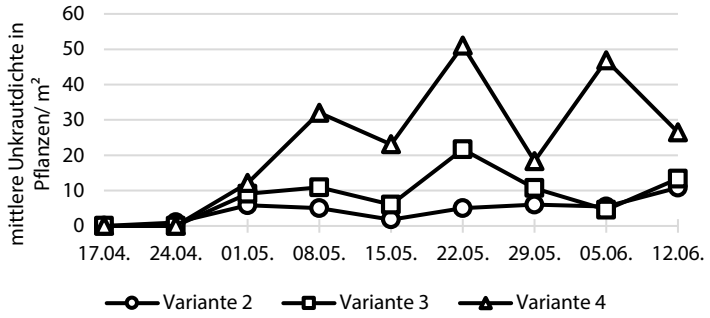


Abb. 6 Entwicklung der mittleren Unkrautdichte der Variante 2 (Fläche A), 3 und 4 (Fläche B).

Fig. 6 *Development of the mean weed density of variant 2 (area A), 3 and 4 (area B).*

Wachstumsverlauf der Zuckerrüben

Abbildung 7 zeigt den Wachstumsverlauf als durchschnittliches BBCH-Stadium der Rübenpflanzen in den einzelnen Versuchsvarianten je Boniturtermin. Generell ist zu sehen, dass sich die Zuckerrüben in den einzelnen Versuchsvarianten über den gesamten Boniturzeitraum hinweg ähnlich mit einem kontinuierlichen Wachstum entwickelten. Auffällig war dabei jedoch, dass verhaltenere Rübenwachstum der Variante 3 (Winterweizen-Zwischenfrucht, Graminizideinsatz nach Rübenaussaat). Die Rüben liefen verzögert auf und erreichten das Keimblattstadium (BBCH 10) im Vergleich zu den anderen Varianten erst eine Woche später, am 01. Mai. Die Blattentwicklung der Rüben im Mai wies zwischen den einzelnen Versuchsvarianten keine Unterschiede auf. Die Rüben, welche in den Glyphosat-behandelten Weizenbestand gedrillt wurden (Variante 4), wiesen am 05. Juni einen leichten Entwicklungsvorsprung im Rosettenwachstum auf, so erreichten diese BBCH 32 (Reihenschluss bei 20 % der Rüben) eine Woche vor den Rüben in den Vergleichsvarianten.

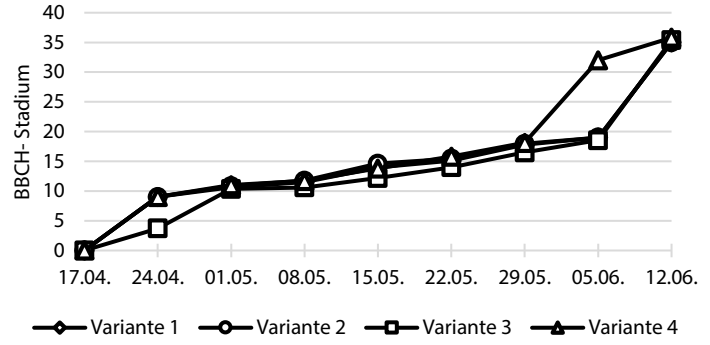


Abb. 7 Entwicklung des durchschnittlichen BBCH-Stadiums je Variante.

Fig. 7 *Development of the average BBCH stadium per variant.*

Ertrag und Zuckergehalt der Rüben

Abbildung 8 zeigt den mittleren Rübenertrag und Zuckergehalt am Tag der Proberodung (24. September) für die einzelnen Versuchsvarianten. Generell ist zu sehen, dass es bei beiden Ertragsparametern deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsvarianten gibt.

Besonders auffällig ist, dass die Variante 1 (Desmedipham und Phenmedipham) den geringsten Rübenertrag (83,8 t/ha) und Zuckergehalt (15,5 %) aufwies, obwohl die Herbizidbehandlung am wirkungsvollsten war (Abb. 4).

Beim gleichen Zwischenfruchtanbauverfahren wurden mit den Wirkstoffen Clopyralid und Metamitron (Variante 2) der höchste Rübenertrag (98,8 t/ha) und ein höherer Zuckergehalt (16,5 %) ermittelt. Bei der Winterweizen-Zwischenfrucht wurden auf den Varianten 3 und 4 mit 16,7 % die höchsten Zuckererträge erzielt, wobei die Rübenerträge mit 92,9 t/ha (Variante 3) und 89,8 t/ha (Variante 4) niedriger ausfielen als auf Variante 2.

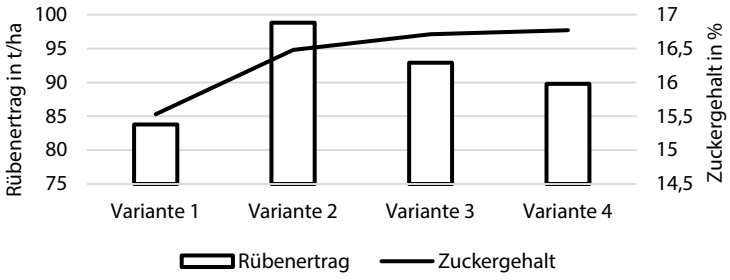


Abb. 8 Rübenertrag und Zuckergehalt am 24. September.

Fig. 8 *Beet yield and sucrose yield on the 24th of September.*

Diskussion

Mit der ersten Versuchsfrage sollte überprüft werden, ob die Unkrautbekämpfung auch mit den weiterhin verfügbaren Wirkstoffen Clopyralid und Metamitron (Variante 2) erfolgreich durchgeführt werden kann, wenn die Zulassungen der Wirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham (Variante 1) wegfallen.

Der Vergleich der mittleren Gesamtverunkrautung zeigte, dass die Variante 1 mit durchschnittlich 2,3 Pflanzen/m² eine geringere mittlere Unkrautanzahl aufwies als die Variante 2 (durchschnittlich 4,5 Pflanzen/m²). Jedoch lag die mittlere Anzahl der Unkrautpflanzen pro m² in beiden Versuchsvarianten über den gesamten Zeitraum hinweg auf einem geringen Niveau. Diese herrschende Konkurrenz zwischen Unkraut- und Zuckerrübenpflanzen kann auch den höheren Rübenertrag der Variante 2 von 98,8 t/ha erklären, während die Rüben in der Variante 1 einen Ertrag von 83,8 t/ha erzielten. Dies zeigt auch, dass Zuckerrüben eine gewisse Restverunkrautung durchaus tolerieren können (Brandes et al. 1998).

Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass die Herbizidwirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham einen Einfluss auf den Ernte- und Zuckerertrag haben. Dennoch ist eine Unkrautbekämpfung mit den alternativ zur Verfügung stehenden Wirkstoffen Clopyralid und Metamitron, für den Versuchsstandort erfolgreich durchführbar und könnte die Wirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham ersetzen. Problematisch ist dabei jedoch, dass beim Weißen Gänsefuß (CHEAL) bereits Resistenzerscheinungen gegenüber dem Wirkstoff Metamitron gefunden wurden (Ulber et al. 2007). Hieraus folgt, dass eine Spritzfolge mit Metamitron keine Alternative der guten fachlichen Praxis darstellt und auf andere Herbizidwirkstoffe zurückgegriffen werden muss. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass in Variante 2 zusätzlich der Wirkstoff Ethofumesat eingesetzt wurde.

Mit der zweiten Versuchsfrage wurden die zwei Bekämpfungszeitpunkte der Winterweizen-Zwischenfrucht und deren Einfluss auf das Rübenwachstum überprüft. Der Winterweizen-Zwischenfruchtbestand der Variante 3 (Graminizideinsatz nach Rübenaussaat) hatte eine längere Standzeit als der Weizen der Variante 4 (Totalherbizideinsatz vor Rübenaussaat).

Die Rüben der Variante 3 liefen aufgrund der im Frühjahr herrschenden Trockenheit, gefördert durch die Konkurrenz zu dem bis dahin bestehenden Weizenbestand, verzögert auf und erreichten das Keimblattstadium eine Woche später. Diesen Wachstumsrückschritt holten die Rüben im Laufe der Vegetationsperiode wieder auf, da gegen Ende April die Niederschlagsmengen zunahmen. Die Rübenpflanzen auf der Variante 4 erreichten BBCH 32 früher, dennoch hatten auf beiden Varianten zum letzten Boniturtermin 50 % der Rüben den Reihenschluss erreicht. Auf die Rübenentwicklung hatte der Bekämpfungszeitpunkt des Winterweizens keinen gravierenden Einfluss.

Bei der Unkrautunterdrückung kann davonausgegangen werden, dass die Unkräuter durch die längere Standzeit des Winterweizens (Variante 3) besser unterdrückt wurden. Hinzu kommt, dass der Boden dieser Variante mit der abgestorbenen und unkrautunterdrückenden Biomasse des Weizens bedeckt war.

Die Zuckerrüben der Variante 3 reagierten aufgrund des geringeren Unkrautdruckes mit höheren Erträgen (92,9 t/ha) und der geringere Ertrag der Variante 4 (89,8 t/ha) könnte an dem bedeutend höheren Unkrautdruck liegen. Außerdem wirkt sich die längere Standzeit der Winterweizen-Zwischenfrucht (Variante 3) positiv auf die Verhinderung von Bodenerosion aus. Für die Unkrautdichte ist der Zeitpunkt des Winterweizen-Zwischenfruchtbestandes entscheidend und hat Auswirkungen auf die Unkrautunterdrückung, den Rübenertrag und den Zuckergehalt.

Mit der dritten Versuchsfrage sollte geklärt werden, ob ein Winterweizenbestand als kurzzeitige Begleitkultur zu den Zuckerrüben (Variante 3, Feld B) die Rübenentwicklung beeinflusst und ob die Ungräser und -kräuter besser unterdrückt werden, als von einer vor der Rübenaussaat abgestorbenen Zwischenfruchtmischung (Variante 2, Feld A).

Das Rübenwachstum wurde durch den Winterweizenbestand der Variante 3 scheinbar nur zum Wachstumsbeginn beeinflusst. Am letzten Boniturtermin hatten die Rüben beider Varianten den Reihenschluss erreicht. Unterschiede gab es jedoch bei der Verunkrautung der beiden Versuchsvarianten. Auf Variante 2 wurden mit durchschnittlich 4,5 Unkrautpflanzen/m^2 weniger Pflanzen bonitiert als auf Variante 3 mit durchschnittlich 8,5 Pflanzen/m^2. Die Entwicklung der Unkrautzusammensetzung beider Versuchsflächen war unterschiedlich, dass ein Vergleich des Winterweizens als Zwischenfrucht und der Winterzwischenfruchtmischung in ihrer Unkrautunterdrückenden Wirkung nicht möglich ist.

Unter Berücksichtigung des chemischen Bekämpfungszeitpunktes der Winterweizen-Zwischenfrucht scheint sich dieser jedoch mehr auf die Verunkrautung auszuwirken als die standortspezifische Verunkrautung und die Art der Zwischenfrucht.

Der Zuckerertrag fiel auf beiden Varianten mit 16,5 % (Variante 2) beziehungsweise 16,7 % (Variante 3) ähnlich aus. Unterschiede gab es im Ertrag. Die Rüben der Variante 2 erreichten einen Ertrag von 98,8 t/ha und die der Variante 3 ein Gewicht von 92,9 t/ha. Der Ertragsunterschied kann an dem unterschiedlichen Unkrautdruck der beiden Versuchsflächen liegen, da es innerhalb der Kontrollvarianten Standortunterschiede gab (Kontrollvariante Feld A: 17 Unkrautarten bei durchschnittlich 7,52 Pflanzen/m^2, Kontrollvariante Feld B: 7 Unkrautarten bei durchschnittlich 12,71 Pflanzen/m^2).

Aus dem Versuch geht hervor, dass auch ohne die am häufigsten verwendeten Herbizidwirkstoffe Desmedipham und Phenmedipham die Rübenanbauflächen vergleichsweise frei von Ackerbegleitflora sind, wie die Variante 2 zeigt. Die Wirkstoffe Clopyralid und Metamitron stellen dabei eine gute Alternative, vor allem zum bereits nicht mehr zugelassenen Wirkstoff Desmedipham dar. Dennoch fielen die Wirkungsgrade der Herbizidmaßnahmen vergleichsweise gering aus, was nicht zuletzt an der trockenen Witterung im Frühjahr lag. Außerdem wurde sichtbar, dass die Zuckerrüben während ihres Wachstums, vor allem während ihrer kritischen Jugendentwicklung, ein gewisses Spektrum an Unkräutern durchaus tolerieren können, wie die zweite Variante zeigt. Ist der Druck durch die Unkräuter jedoch so hoch wie in Variante 3, wird bei gleichem Herbizideinsatz zwar weiterhin ein hoher Zuckerertrag erreicht, jedoch sinkt der Rübenertrag aufgrund der Konkurrenz zur Ackerbegleitflora.

Dabei ist natürlich auch das Auftreten von resistenten Unkräutern entscheidend was jedoch auf den Flächen, auf denen der Versuch durchgeführt wurde, nicht der Fall war. Weiterhin ist zu bedenken, dass es sich hierbei lediglich um einen einjährigen Versuch handelt und es für sichere Daten unumgänglich ist, diesen erneut durchzuführen. Außerdem müssen die Statistischen Analysen zeigen, ob diese Unterschiede signifikant sind.

Literatur

ABBOTT W. S., 1925: A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology, Vol. 18, S. 265-267.

BRANDES A.; SCHÄUFELE W. R.; BENZ, W., 1998: Einfluß unterschiedlicher Unkrautdeckungsgerade auf den Ertrag von Zuckerrüben. Zuckerindustrie 123, Nr. 12, S. 943–944.

DRESSLER (LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, LEBENSMITTELSICHERHEIT UND FISCHERE MECKLENBURG-VORPOMMERN - PFLANZENSCHUTZDIENST), 2019: „Hinweis vom 21.03.2019". Zugegriffen am 15. Oktober 2019. https://www.isip.de/isip/servlet/resource/blob/287688/0c67e27509262297f7d656f21aa 7cb79/5-2019-data.pdf.

GEHRING, K,; THYSSEN, S., 2019: „Wirkungsschwerpunkte der Herbizidwirkstoffe- /Kombinationen im Rübenbau". Zugegriffen am 20. November 2019. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ips/dateien/wirkungsschwerpunkte_13.pdf.

KUNZ, C.; WEBER, J. F.; GERHARDS, R., 2016: Comparison of different mechanical weed control strategies in sugar beet. 27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und –bekämpfung, S. 446-451.

ROßBERG, D.; AECKERLE, N.; STOCKFISCH, N., 2017: Erhebungen zur Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln in Zuckerrüben. Gesunde Pflanzen 2017, 69 (2), S. 59–66.

STOCKFISCH, N.; GALLASCH, M.; REINEKE, H.; TRIMPLER, K.; MIELKE, C.; REINERS, M.; RISSER, P.; SCHMITZ, K.; MÄRLÄNDER, B., 2013: Betriebsbefragung zur Produktionstechnik im Zuckerrübenanbau: Datenbasis und Basisdaten. Sugar Industrie 138, No. 10, S. 656-663.

ULBER, L.; JÜTTERSONKE, B.; ELLMER, F.;EINHORN, G., 2017: Reaktionsvariabilität auf unterschiedliche Herbiziddosierungen und Herbizidresistenz innerhalb der Unkrautarten Chenopodium album L. und Amaranthus retroflexus L.. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst, 59 (7), S. 149–154.

VASEL, E.- H.; LADEWIG, E.; MÄRLÄNDER, B., 2012: Weed composition and herbicide use strategies in sugar beet cultivation in Germany. Journal für Kulturpflanzen, 64 (4), S. 112–125.

WVZA (WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER E.V./ VEREIN DER ZUCKERINDUSTRIE E.V.), o. J.: „Die Zuckerpolitik der Europäischen Union". Zugegriffen am 28. August 2019. https://www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/eu-zuckerpolitik/eu-zuckerpolitik.html

WVZB (WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER E.V./ VEREIN DER ZUCKERINDUSTRIE E.V.), o. J.: „Rübenanbau und Zuckererzeugung". Zugegriffen am 28. August 2019. https://www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/zahlen-und-fakten/zuckermarkt-deutschland/ruebenanbau-zuckererzeugung.html

WVZC (WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER E.V./ VEREIN DER ZUCKERINDUSTRIE E.V.), o. J.: „Standorte des Zuckerrübenanbaus und der Zuckerfabriken". Zugegriffen am 28. August 2019. https://www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/zahlen-und-fakten/zuckermarkt-deutschland/standorte.html

WVZD (WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER E.V./ VEREIN DER ZUCKERINDUSTRIE E.V.), o. J.: „Weltzuckerhandel". Zugegriffen am 28. August 2019. https://www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/zahlen-und-fakten/weltzuckermarkt/zuckerhandel.html

WVZE (WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER E.V./ VEREIN DER ZUCKERINDUSTRIE E.V.), o. J.: „Dritte Ernte- und Erzeugungsschätzung 2019 für Zuckerrüben". Zugegriffen am 20. November 2019. https://www.zuckerverbaende.de/aktuell/presse-aktuelle-infos/882-2019-11-12-07-01-37.html

Sektion 6: Herbizidresistenz
Session 6: Herbicide resistance

Populationsdynamik und Resistenzentwicklung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Herbizidbehandlung

Impact of soil tillage and herbicide treatment on population dynamics and resistance development of black-grass (Alopecurus myosuroides)

Klaus Gehring*, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising-Weihenstephan
*Korrespondierender Autor, klaus.gehring@lfl.bayern.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.048

Zusammenfassung

Die Entwicklung von herbizidresistentem Acker-Fuchsschwanz ist ein zunehmendes produktionstechnisches Problem beim Anbau von Wintergetreide. Um den Einfluss der Bodenbearbeitung und der Herbizidbehandlung auf die Resistenzentwicklung und die Populationsdynamik von Acker-Fuchsschwanz zu untersuchen wurde am Standort Pettenbrunn im Landkreis Freising von 2011 bis 2018 ein Dauerversuch durchgeführt. Als Versuchsvarianten wurden vier unterschiedliche Herbizidbehandlungskonzepte unter wendender vs. nicht-wendender Grundbodenbearbeitung verglichen. Es konnten zwischen den Herbizidbehandlungskonzepten signifikante Unterschiede auf die Populationsentwicklung, die chemische Regulierungsfähigkeit von Acker-Fuchsschwanz und das Auftreten von Resistenzen gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ACCase-Inhibitoren nachgewiesen werden. Im Vergleich der Versuchsvarianten zeigte sich der regelmäßige Einsatz von Herbiziden aus der HRAC-Gruppe A unter nicht-wendender Bodenbearbeitung als besonders kritisch für die Regulierungsfähigkeit von Acker-Fuchsschwanz und die Entwicklung von ACCase-Resistenzen.

Stichwörter: ACCase-Inhibitoren, Dauer-Feldversuch, pfluglose Bodenbearbeitung, Wirkortresistenz

Abstract

The development of herbicide-resistant black-grass is an increasing challenge for winter cereal production . To investigate the impact of soil tillage and herbicide treatment on the resistance development and the population dynamics of black-grass, a long-term field trial was carried out at the Pettenbrunn site in the Freising district from 2011 to 2018. Four different herbicide treatment concepts were compared as trial variants under plough tillage vs. reduced soil tillage. Significant differences in population development, chemical weed control of black-grass and the occurrence of resistance to herbicides from the group of ACCase inhibitors could be demonstrated. A comparison of the experimental variants showed that the regular use of herbicides from HRAC group A under reduced soil tillage was particularly critical for the regulatory capacity of black-grass and the development of ACCase resistance.

Keywords: ACCase inhibitors, long-term field trial, reduced soil tillage, target site resistance

Einleitung

Acker-Fuchsschwanz ist das bedeutendste Ungras im Anbau von Wintergetreide. Die Befallsflächen und Besatzintensität haben sich in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich erhöht. Die Regulierungsfähigkeit von Acker-Fuchsschwanz wird zudem durch die fortlaufende Entwicklung von Herbizidresistenz erschwert. In der Anbaupraxis wird vorwiegend versucht diesen Prozess durch ein angepasstes Herbizidmanagement zu begegnen. In einen langjährigen Feldversuch wurde geprüft, inwieweit die Populations- und Resistenzentwicklung von Acker-Fuchsschwanz durch unterschiedliche Herbizidregime unter wendender und nicht-wendender Bodenbearbeitung kontrolliert werden kann.

Material und Methoden

In einen stationären Dauerversuch in der Nähe von Freising, am Standort Pettenbrunn, wurden die Faktoren Grundbodenbearbeitung und Herbizidanwendung hinsichtlich der Regulierung von Acker-Fuchsschwanz und dem Einfluss auf die Resistenzentwicklung untersucht. Die Grundbodenbearbeitung wurde als dauerhaft wendende bzw. nicht-wendende Bearbeitung in zwei getrennten Versuchsblöcken durchgeführt. Innerhalb dieser Blöcke wurden vier unterschiedliche Herbizidbehandlungskonzepte ohne Wiederholung vorgenommen (Tab. 2). Der Herbizideinsatz in den einzelnen Behandlungsvarianten erfolgte hinsichtlich Präparateauswahl nach dem jeweils verfügbaren Präparatespektrum und mit Vorzug der leistungsfähigsten Produkte (Tab. 1). Der Behandlungsaufwand wurde an die Besatzdichte der jeweiligen Versuchsvariante angepasst. Ziel der geprüften Behandlungsvarianten war eine ausreichend sichere Kontrolle des Acker-Fuchsschwanzes. Die einzelnen Großparzellen (15 x 24 m; 360 m^2) wurden dauerhaft ortstreu unter Monokultur Winterweizen in der Versuchsperiode von 2010 bis 2018 in einfacher Wiederholung angelegt. Der Besatz mit Acker-Fuchsschwanz wurde jeweils im Herbst nach dem Auflaufen, im Frühjahr nach Vegetationsbeginn und zum Vegetationshöhepunkt ausgezählt. Die Auszählungen erfolgten in Form von 10 Einzelstichproben auf 0,1 m^2 in unbehandelten Kontrollflächen und in den Herbizidbehandlungen der jeweiligen Versuchsvarianten. Der Wirkungsgrad der Herbizidbehandlungen wurde durch Vergleich der Acker-Fuchsschwanz Ährendichte in der jeweiligen Behandlung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle ermittelt. Als unbehandelte Kontrollen dienten vier bzw. fünf systematisch innerhalb der Versuchsparzelle verteilte Kontrollflächen in einer Größe von jeweils 4,5 bis 6,0 m^2. Die Lage der Kontrollflächen wurde von Vegetationsperiode zu Vegetationsperiode systematisch gewechselt. Die Ergebnisse der Auszählungen zur Populationsentwicklung und der Resistenzuntersuchungen wurde mit der Software Unistat unter Anwendung einer Kruskal-Wallis Rangvarianzanalyse auf Signifikanz geprüft (UNISTAT LTD., 2015).

Tab. 1 Im Feldversuch eingesetzte Herbizide.

Tab. 1 *Herbicides used in field trials.*

Herbizid, Handelsname	**Aufwand (l bzw. kg ha^{-1})**	**Wirkstoff (g l^{-1} bzw. kg^{-1})**	**HRAC-Wirkgruppe**
Arelon Top**	1,0 - 3,0	Isoproturon 500	C2
Atlantis OD	1,0	Mesosulfuron 9,7 + Iodosulfuron 1,9	B
Atlantis WG + FHS	0,3 - 0,5	Mesosulfuron 29,2 + Iodosulfuron 5,6	B
Axial 50	0,9 - 1,2	Pinoxaden 50	A
Axial Komplett	1,2	Pinoxaden 45 + Florasulam 5	A, B*
Boxer	3,0	Prosulfocarb 800	N
Broadway + FHS	0,2 - 0,22	Pyroxsulam 68,3 + Florasulam 22,8	B
Caliban Duo	0,33	Propoxycarbazone 159,2 + Iodosulfuron 9,3	B
Carmina 640	3,5	Chlortoluron 600 + Diflufenican 40	C2, F1*
Fenikan**	1,5 - 3,0	Isoproturon 500 + Diflufenican 63	C2, F1*
Herold	0,6	Flufenacet 400 + Diflufenican 200	K3, F1*
Lentipur	2,0	Chlortoluron 700	C2
Lexus** + FHS	0,02	Flupyrsulfuron 463	B
Ralon Super**	1,2	Fenoxaprop-P 63,6	A
Stomp Aqua	2,0 - 4,0	Pendimethalin 455	K1
Sword	0,25	Clodinafop 214	A
Traxos	1,2	Pinoxaden 25 + Clodinafop 22,3	A

Legende: FHS = Formulierungshilfsstoff; *) dikotyl wirksam; **) Zulassung ausgelaufen

Tab. 2 Im Feldversuch geprüfte Behandlungsvarianten.

Tab. 2 *Treatment variants tested in field trials.*

Faktor	Behandlungsvariante
A	Grundbodenbearbeitung:
G	Grubber; nicht-wendend
P	Pflug; wendend
B	Herbizideinsatz:
1	Gute fachliche Praxis; Kombination und regelmäßiger Wechsel der Wirkungsgruppen
2	Übliche Praxis; kosteneffizienter Präparateeinsatz
3	ALS-Hemmer, regelmäßig
4	ACCase-Hemmer, regelmäßig

Neben den Auszählungen der Bestandesdichte von Acker-Fuchsschwanz wurden jährlich Samenproben aus den unbehandelten Kontrollen der einzelnen Versuchsvarianten entnommen. Mit diesen Samenproben wurden Resistenzprüfungen in Form eines topfbasierten Biotests durchgeführt. In den jährlichen Biotesten wurde die Resistenz gegenüber den in der Anbaupraxis eingesetzten Herbiziden aus den HRAC-Gruppen A, B, C2 und K1/3 festgestellt. Die Resistenzuntersuchungen wurden als standardisierte Versuche in der Klimakammer und im Gewächshaus vorgenommen (GEHRING et al., 2018). Die Einstufung der Herbizidresistenz erfolgte in einem fünfstufigen Klassensystem nach CLARKE et al. (1994). Ergänzend zu den Resistenzuntersuchungen im Biotest wurden regelmäßig molekulargenetische Untersuchungen hinsichtlich Wirkortresistenzen im Bereich der bekannten Mutationsstellen für Herbizide aus der Gruppe der ACCase- und ALS-Inhibitoren in Auftrag gegeben (IDENTXX, 2018).

Ergebnisse

Bereits nach der erstmalig unterschiedlichen Grundbodenbearbeitung im Herbst 2010 wurde in der darauffolgenden Vegetationsperiode ein um den Faktor 6 bis 7 höherer Besatz mit Acker-Fuchsschwanz in den Varianten ohne wendende Bodenbearbeitung (G1-4) im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung in den Varianten P1-4 festgestellt (Tab. 3). Bei nicht-wendender Bodenbearbeitung bewegte sich die Acker-Fuchsschwanz-Bestandesdichte nach dem Auflaufen im Herbst während der gesamten Versuchsperiode, mit Schwankungen, weitgehend auf dem Ausgangsniveau. Bei der Bestandesdichte zum Vegetationshöhepunkt bzw. bei den Auszählungen der Ähren Ende Mai bis Mitte Juni war eine tendenzielle Steigerung um etwa 40 - 60 % gegenüber der Bestandesdichte zum Versuchsbeginn erkennbar. In den Varianten mit wendender Bodenbearbeitung kam es ab der Vegetationsperiode 2012 zu einer erheblichen Steigerung der Bestandesdichte von Acker-Fuchsschwanz, die sich über die Versuchsperiode fortsetzte. Im Mittel über die gesamte Laufzeit des Versuches wurde die Besatzdichte im Herbst um den Faktor 3-4 und zum Vegetationshöhepunkt um den Faktor 5-11 im Vergleich zum Ausgangsbesatz der einzelnen Behandlungsvarianten zu Versuchsbeginn gesteigert. Um den stark unterschiedlichen Ausgangsbesatz zwischen den beiden Bodenbearbeitungsvarianten zu relativieren wurde die Besatzdichte der einzelnen Herbizidbehandlungsvarianten auf den Ausgangsbesatz im Jahr 2011 normiert. Die Analyse der Populationsentwicklung zeigte bei der Bestandesdichte im Herbst einen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten G1-3 und den Varianten P2 und P4. Für die Bestandesdichte zum Vegetationshöhepunkt konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten G1-3 und der Variante P4 festgestellt werden (Tab. 3). Im Vergleich wurde die Populationsentwicklung von Acker-Fuchsschwanz wesentlich von der Art der Bodenbearbeitung beeinflusst. Entgegen der Erwartung aufgrund der Erfahrungen aus der Anbaupraxis wurden im Laufe der Versuchsperiode in den Varianten mit wendender Bodenbearbeitung wesentlich höhere Besatzdichten als in den Varianten mit nicht-wendender Bodenbearbeitung beobachtet. Im Vergleich der verschiedenen Herbizidregime führte die dauerhafte Anwendung von ACCase-Inhibitoren in den Varianten G4 und P4 zu tendenziell bzw. signifikant höheren Besatzdichten an Acker-Fuchsschwanz-Ähren zum Vegetationshöhepunkt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass dieses

Behandlungsregime in der Variante G4 im Jahr 2016 abgebrochen werden musste, weil eine ausreichende Regulierung von Acker-Fuchsschwanz mit Herbiziden aus der Gruppe der ACCase-Inhibitoren in dieser Versuchsvariante nicht mehr möglich war.

Tab. 3 Entwicklung der Bestandesdichte von Acker-Fuchsschwanz je nach Bodenbearbeitung und Herbizidbehandlung.

Tab. 3 *Development of density of black grass depending on soil tillage and herbicide treatment.*

Variante	**G1**	**G2**	**G3**	**G4**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**
Jahr	**Bestandesdichte im Herbst nach Bodenbearbeitung (Pfl./m²)**							
2011	705	640	535	655	131	89	126	70
	Bestandesdichte im Herbst (%), normiert auf den Ausgangsbesatz im Jahr 2011							
2011	100	100	100	100	100	100	100	100
2012	88	92	106	101	161	335	178	337
2013	46	110	93	125	166	174	200	384
2014	115	121	118	140	347	353	430	466
2015	91	67	43	111	332	646	279	559
2016	136	178	55	266	334	527	271	296
2017	106	91	111	-	496	522	385	493
2018	43	61	75	-	573	713	385	779
2011-18	91	103	88	141	314	421	278	427
STAT	a	a	a	ab	ab	b	ab	b
Jahr	**Bestandesdichte zum Vegetationshöhepunkt (Ähr./m²)**							
2011	629	583	430	508	89	77	113	43
	Bestandesdichte zum Vegetationshöhepunkt (%),normiert auf die Bestandesdichte in 2011							
2011	100	100	100	100	100	100	100	100
2012	134	129	171	162	408	574	325	867
2013	91	114	145	157	340	281	266	746
2014	179	153	198	183	618	526	580	1012
2015	139	120	131	181	657	909	482	1233
2016	211	204	170	191	618	714	469	1151
2017	171	160	231	-	1084	1052	845	1837
2018	97	114	158	-	1011	1156	752	2035
2011-18	140	137	163	163	605	664	477	1123
STAT	a	a	a	ab	ab	ab	ab	b

STAT = Kruskal-Wallis One-way ANOVA

Bei der chemischen Kontrolle von Acker-Fuchsschwanz traten jahrgangsspezifische Schwankungen innerhalb der einzelnen Behandlungsvarianten, als auch Unterschiede im Vergleich zwischen den Behandlungsvarianten auf. Im Mittel über die Versuchslaufzeit erzielten die Behandlungsvarianten 1-3 sowohl bei wendender (P1-3), als auch bei nicht-wendender Bodenbearbeitung (G1-3) gleichwertige Bekämpfungsleistungen im Bereich von 94 – 95 % Wirkungsgrad. Bei regelmäßigem Einsatz von ACCase-Inhibitoren bei nicht-wendender Bodenbearbeitung (Variante G4), war im Versuchsjahr 2016 mit einem Wirkungsgrad von 31 % keine ausreichende Regulierung von Acker-Fuchsschwanz mehr möglich. Die Behandlungsvariante wurde daher vorzeitig beendet. Unter wendender Bodenbearbeitung fiel die Bekämpfungsleistung bei demselben Behandlungsregime (P4) im letzten Versuchsjahr ebenfalls auf einen völlig unzureichenden Wirkungsgrad von 28 % ab. Im Vergleich der Versuchsvarianten konnte ein signifikanter Unterschied in der Bekämpfungsleistung von Acker-Fuchsschwanz zwischen der regelmäßigen Anwendung von ALS-Inhibitoren unter wendender Bodenbearbeitung (P3) und der regelmäßigen Anwendung von ACCase-Inhibitoren unter nicht-wendender Bodenbearbeitung (G4) nachgewiesen werden.

Tab. 4 Entwicklung der Bekämpfungsleistung gegen Acker-Fuchsschwanz je nach Bodenbearbeitung und Herbizidbehandlung.

Tab. 4 *Development of control performance against black-grass depending on soil cultivation and herbicide treatment.*

Variante	G1	G2	G3	G4	P1	P2	P3	P4
Jahr	Bekämpfungsleistung, Wirkung (%)							
2011	94	97	83	79	83	89	95	93
2012	100	98	96	80	100	99	85	61
2013	96	91	99	93	90	98	99	98
2014	90	98	100	83	98	98	100	99
2015	89	84	100	56	95	96	100	98
2016	94	98	97	31	94	83	99	75
2017	98	98	100	-	99	98	100	84
2018	99	94	80	-	99	94	84	28
2011-18	95	95	94	70	95	94	95	79
STAT	ab	ab	ab	a	ab	ab	b	ab

STAT = Kruskal-Wallis One-way ANOVA

Im Biotest zur Überprüfung der Herbizidresistenz wurde festgestellt, dass in der Ausgangspopulation auf der Versuchsfläche bereits eine niedrige Resistenz gegenüber ACCase-Inhibitoren vorhanden war (Tab. 5). Die Entwicklung der Herbizidresistenz gegenüber ACCase-Inhibitoren (HRAC-Gruppe A) wurde während der Versuchsperiode im Biotest durchgängig gegenüber den Herbiziden Sword® (Clodinafop) und Axial 50® (Pinoxaden) untersucht. In der Betrachtung über alle Versuchsvarianten war kein eindeutiger Trend in der Entwicklung der ACCase-Resistenz erkennbar. Im Mittel pendelte das Niveau der ACCase-Resistenz in den ersten Versuchsjahren bis 2014 auf einer gleichbleibenden Intensität, um in den Jahren 2015 – 2016 deutlich anzusteigen. Nach einem Rückgang der mittleren ACCase-Resistenzgrade in 2017 wurden im letzten Versuchsjahr 2018 die nominal höchsten Resistenzgrade über alle Versuchsvarianten festgestellt. Im Unterschied zu den weiteren Versuchsvarianten trat in der Variante mit regelmäßigem Einsatz von ACCase-Inhibitoren unter nicht-wendender Bodenbearbeitung ab dem Versuchsjahr 2014 ein deutlicher Anstieg der ACCase-Resistenz auf. Im letzten Versuchsjahr 2018 wurde ein maximaler Resistenzgrad von 4,5 erreicht. Das gleiche Herbizidregime zeigte unter wendender Bodenbearbeitung ebenfalls diese Entwicklung, allerdings auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Im Vergleich der Art der Bodenbearbeitung lag die ACCase-Resistenz bei nicht-wendender Bodenbearbeitung regelmäßig über den Werten bei wendender Bodenbearbeitung. Signifikant niedrigere ACCase-Resistenzgrade konnten für die Herbizidbehandlung nach guter fachlicher Praxis und dem regelmäßigen Einsatz von ALS-Inhibitoren unter wendender Bodenbearbeitung (Varianten P1 und P3) gegenüber dem regelmäßigen Einsatz von ACCase-Inhibitoren unter nicht wendender Bodenbearbeitung (Variante G4) nachgewiesen werden.

Die Untersuchung der Herbizidresistenz gegenüber ALS-Inhibitoren erfolgte im Biotest durch Wirksamkeitsprüfung mit den Präparaten Atlantis OD® (Mesosulfuron + Iodosulfuron), Attribut® (Propoxycarbazone) und Broadway® (Pyroxsulam + Florasulam). In der Versuchsperiode von 2011 bis 2014 wurde für alle Versuchsvarianten keine ALS-Resistenz im Biotest festgestellt. Ab dem Versuchsjahr 2015 traten niedrige ALS-Resistenzgrade mit Schwankungen zwischen den Versuchsvarianten bis zum Versuchsende in 2018 auf. Es konnten weder tendenzielle noch signifikante Unterschiede in der Entwicklung der ALS-Resistenz zwischen den Herbizid- und Bodenbearbeitungsvarianten festgestellt werden.

Tab. 5 Im Biotest festgestellte Herbizidresistenz gegenüber Herbiziden der HRAC-Gruppe A und B.

Tab. 5 *Herbicide resistance to HRAC Group A and B herbicides identified in the biotest.*

Variante	G1	G2	G3	G4	P1	P2	P3	P4
Jahr	**Resistenzklasse (0-5) gegen HRAC-Gruppe A Herbizide**							
2011	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
2012	2,0	0,5	1,5	2,5	1,0	0,5	0,5	0,5
2013	1,5	2,0	1,0	1,5	0,0	0,0	0,5	1,0
2014	1,5	1,0	0,5	3,5	0,5	0,5	0,0	1,0
2015	3,5	4,0	3,0	4,0	0,5	2,0	0,5	2,0
2016	2,5	3,5	2,0	4,0	1,5	2,0	1,0	2,5
2017	2,0	2,5	2,0	4,0	0,0	0,5	1,0	2,0
2018	2,5	3,5	2,0	4,5	2,0	2,5	1,0	3,5
2011-18	2,1	2,3	1,7	3,2	0,9	1,2	0,8	1,8
STAT	ab	ab	ab	b	a	ab	a	ab
Jahr	**Resistenzklasse (0-5) gegen HRAC-Gruppe B Herbizide**							
2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2013	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2015	0,7	1,0	0,7	1,0	0,3	0,3	0,0	0,0
2016	0,7	0,7	1,3	1,3	0,7	0,3	0,7	1,0
2017	0,0	0,0	0,7	1,0	0,0	0,0	0,0	0,3
2018	0,3	0,7	0,7	1,0	0,7	0,7	0,3	0,7
2011-18	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,1	0,3
STAT	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

STAT = Kruskal-Wallis One-way ANOVA., n.s.= nicht signifikant

Molekulargenetische Untersuchungen auf Wirkortresistenz wurden zu Versuchsbeginn im Jahr 2011, in der Versuchsperiode in 2013, 2015 und 2017 sowie im abschließenden Versuchsjahr 2018 durchgeführt. Hierbei wurden die für ALS-Resistenz bekannten Genpositionen Pro-197 und Trp-574 sowie die für ACCase-Resistenz bekannten Positionen Ile-1781, Trp-2027, Ile-2041, Asp-2078 und Gly-2096 untersucht. Im Mittel über alle Versuchsvarianten wurden während der Versuchsperiode Mutationen an der Position Asp-2078 mit einer Häufigkeit von 1,4 %, an der Position Ile-1781 mit einer Häufigkeit von 8,6 % und an der Position Gly-2096 mit einer Häufigkeit von 28,9 % detektiert. Die Häufigkeit der ACCase-Wirkortresistenz war in den Varianten mit nicht-wendender Bodenbearbeitung (G1-4) regelmäßig höher als in den Varianten mit wendender Bodenbearbeitung (P1-4). Für die mit geringer Häufigkeit festgestellten Mutationen an den Positionen Asp-2078 und Ile-1781 konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten festgestellt werden. ACCase-Wirkortresistenz durch Mutation an der Position Gly-2096 wurde bereits zu Versuchsbeginn im Jahr 2011 in der Variante G4 mit einer Häufigkeit von 25 % nachgewiesen (Tab. 6). In den folgenden Untersuchungen trat diese Form der Wirkortresistenz mit tendenziell zunehmender Häufigkeit auf. Zum Ende der Versuchslaufzeit, im Jahr 2018, wurden Gly-2096-Mutationen in allen Versuchsvarianten mit unterschiedlicher Häufigkeit festgestellt. In der Versuchsvariante mit regelmäßiger Anwendung von ACCase-Inhibitoren unter nicht-wendender Bodenbearbeitung (Variante G4) trat diese Form der ACCase-Wirkortresistenz signifikant häufiger auf als beim Herbizideinsatz nach guter fachlicher Praxis unter wendender Bodenbearbeitung (P1). An den weiteren untersuchten Genpositionen wurden keine Mutationen festgestellt.

Tab. 6 Wirkortresistenz durch Mutationen an der Position Gly-2096; Häufigkeit (%).

Tab. 6 *Target site resistance by mutations at position Gly-2096; frequency (%).*

Variante	G1	G2	G3	G4	P1	P2	P3	P4
Jahr	Häufigkeit (%) von Mutationen an der Position Gly-2096							
2011	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2013	12,5	37,5	12,5	25,0	0,0	12,5	0,0	12,5
2015	37,5	37,5	0,0	62,5	0,0	12,5	0,0	37,5
2017	25,0	75,0	50,0	87,5	0,0	12,5	25,0	62,5
2018	50,0	87,5	37,5	100,0	12,5	75,0	12,5	75,0
2011-18	25,0	47,5	20,0	60,0	2,5	22,5	7,5	37,5
STAT	ab	ab	ab	b	a	ab	ab	ab

STAT = Kruskal-Wallis One-way ANOVA

Diskussion

Der Langzeitversuch zeigt eine deutlich höhere Resistenzdynamik von Acker-Fuchsschwanz gegenüber ACCase-Inhibitoren im Vergleich zu ALS-Inhibitoren. Die Art der Grundbodenbearbeitung beeinflusste diese Entwicklung in der Form, dass bei nicht-wendender Bodenbearbeitung der Verlust der Kontrollfähigkeit durch ACCase-Inhibitoren frühzeitiger eintrat als bei wendender Bodenbearbeitung. Es handelte sich hierbei aber effektiv nur um einen zeitlichen Verzug von zwei Vegetationsperioden. Die kontinuierliche Anwendung von ALS-Inhibitoren führte im Versuchszeitraum dagegen nur zu einer tendenziellen Erhöhung der Resistenz gegenüber ALS-Inhibitoren auf sehr niedrigem Niveau. Die beiden weiteren Herbizidregime nach guter fachlicher Praxis bzw. nach ortsüblicher Praxis konnten die Bekämpfungsleistung von Acker-Fuchsschwanz aufrechterhalten; eine Differenzierung war nicht erkennbar. Hinsichtlich eines sachgerechten Herbizidmanagements in der Produktionspraxis ist hieraus der Schluss zu ziehen, dass Herbizide aus der Gruppe der ACCase-Inhibitoren mit einer möglichst niedrigen Frequenz eingesetzt und die Möglichkeiten zum Einsatz alternativer Wirkgruppen (z. B. K1, K3, N) und des Wirkmechanismuswechsels so weit wie möglich ausgeschöpft werden sollten (GEHRING et al., 2012). Die Untersuchungsergebnisse zum Auftreten von Wirkortresistenz (TSR) gegenüber ACCase-Inhibitoren bestätigen das Ausbreitungspotenzial über Pollentransfer, wie von PETERSEN et al. (2010) beschrieben. Die unerwartet hohe Populationsdynamik bei wendender Bodenbearbeitung im Vergleich zur nicht-wendender Bodenbearbeitung geben Hinweise auf erweiterte Möglichkeiten eines integrierten Unkrautmanagements zur Vermeidung von Herbizidresistenz (ZWERGER et al., 2017) in der Anbaupraxis.

Literatur

CLARKE, J.H., A.M. BLAIR, S.R. MOSS, 1994: The testing and classification of herbicide resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass). Aspects of Applied Biology **37**, 181-188.

GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT, 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, S. THYSSEN, 2018: Stand und Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **458**, 113-120.

IDENTXX, 2018: Molekulargenetische Untersuchung zur Wirkortresistenz bei Acker-Fuchsschwanz. Unveröffentlicht.

PETERSEN, J., M. DRESBACH-RUNKEL, J. WAGNER, 2010: A method to determine the pollen-mediated spread of target-site resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase inhibitors in black grass *Alopecurus myosuroides*. Journal of Plant Diseases and Protection **117** (3), 122-128.

UNISTAT® LIMITED, 2015: User's Guide, Version 6.5. London, UK, 1244 P.

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, D. M. WOLBER, 2017: Integriertes Unkrautmanagement zur Vermeidung von Herbizidresistenz. Journal für Kulturpflanzen, **69** (4), 146–149.

Evolution der Herbizidresistenz in *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* im deutschen Getreideanbau der letzten 15 Jahre

Evolution of herbicide resistance in Alopecurus myosuroides *and* Apera spica-venti *in German cereal production during the last 15 years*

Jan Petersen[1*], Hans Raffel[2]

[1]Technische Hochschule Bingen, Berlinstr. 109, 55411 Bingen a.R.
[2]Syngenta Deutschland, Am Technologiepark 1, 63477 Maintal
*Korrespondierender Autor, petersen@th-bingen.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.049

Zusammenfassung

Das Vorkommen von Herbizidresistenzen bei Ungräsern nimmt in den letzten 30 Jahren in Deutschland kontinuierlich zu. Dies gilt sowohl für die Anzahl der betroffenen Arten, die regionale Verbreitung, den Resistenzgrad, die Anzahl der Aktivsubstanzen, der Wirkstoffklassen und damit die betroffenen Herbizide. Der Beitrag zeigt anhand von Gewächshausbiotestergebnissen von 1197 Acker-Fuchsschwanz- und 737 Windhalmproben die Entwicklungen sowie den aktuellen Status Quo auf. Deutlich wird die Verschärfung der Entwicklung im Bereich der Nachauflaufherbizide mit Blattaktivität insbesondere bei *A. myosuroides* und die Zunahme der ALS-Herbizidresistenzen bei A. *spica-venti*. Die Frequenz von wirkstoffklassenübergreifenden Kreuzresistenzen nimmt zu. In der Folge können viele Acker-Fuchsschwanz- und einige Windhalmpopulationen im Nachauflauf nicht mehr mit selektiven Herbiziden kontrolliert werden. Die Situation wurde im Untersuchungszeitraum 2006 bis 2018 stetig deutlicher und zeigt, dass das Ausmaß an Änderungen in den Ackerbausystemen aktuell noch nicht ausreicht den Trend zu stoppen. Dadurch wird die Produktivität des gesamten Ackerbaues gefährdet, der Herbizideinsatz tendenziell erhöht und damit auch der Selektionsdruck eher verstärkt statt, wie notwendig, abgesenkt.

Stichwörter: ACCase-Inhibitoren, ALS-Inhibitoren, Kreuzresistenz, Photosystem-II-Hemmer

Abstract

The occurrence of herbicide resistance in grass weeds has been steadily increased in Germany over the past 30 years. This applies both to the number of species affected, the regional distribution, the degree of resistance and the number of herbicides and classes of active substances involved. Based on greenhouse bioassay results of 1137 *Alopecurus myosuroides* populations and 737 *Apera spica-venti* populations, the article shows the developments as well as the current status quo. The aggravation of the development in the field of post-emergence herbicides, in particular in *A. myosuroides*, and the increase in ALS herbicide resistance in *A. spica-venti* are clear. The frequency of cross-class resistance increases. As a result, many *A. myosuroides* and some *A. spica-venti* populations can no longer be controlled with selective herbicides in the post emergence treatments. The situation became more and more evident in the period from 2006 to 2018 and shows that the extent of changes in arable farming systems is currently not enough to stop the trend. As a result, the productivity of agriculture is endangered and the use of herbicides and thus also the selection pressure is increased rather than reduced as necessary.

Keywords: ACCase-inhibitors, ALS-inhibitors, cross resistance, photosystem-II-inhibitors

Einleitung

Herbizidresistenzen breiten sich insbesondere beim Acker-Fuchsschwanz und beim Gemeinen Windhalm seit über 30 Jahren in Deutschland aus. Dies gilt sowohl für die Anzahl der Resistenzfunde, die Resistenzgrade, die betroffenen Wirkstoffe und deren Wirkmechanismen als auch für die Regionen. War zunächst der Acker-Fuchsschwanz zunächst in den Küsten- und Flussmarschen Nordwestdeutschlands betroffen (Niemann und Pestemer, 1984), so hat sich die Problematik mittlerweile auf fast alle Regionen ausgedehnt, in denen der Acker-Fuchsschwanz verbreitet ist. Bei dieser Unkrautart kommt hinzu, dass sie sich stetig ausbreitet. Dies trifft u.a. für den nordostdeutschen Raum zu. In der Folge gibt es immer mehr Regionen, in denen neben Acker-Fuchsschwanz auch der Gemeine Windhalm verbreitet ist. Auch für diese Art wird eine Zunahme von Herbizidresistenzfällen beobachtet (Niemann, 2000). Treten beide Arten auf einem Feld auf und sind Resistenzen gegen unterschiedliche Wirkstoffklassen präsent, dann kann es schwer werden

eine erfolgreiche Herbizidstrategie umzusetzen. Immer deutlicher wird, dass mit Herbiziden allein die Resistenzproblematik nicht zu stoppen sein wird. Je mehr in den Bekämpfungsstrategien auf die Herbizide abgestellt wird, desto schneller entwickeln und verbreiten sich die Probleme. Um schlagspezifisch Landwirten und Beratern eine Auskunft darüber geben zu können, ob und wenn ja welche Herbizidresistenzen in den Ungräsern vorkommen, werden seit 2006 bzw. seit 2009 Resistenzmonitorings bei Acker-Fuchsschwanz und Gemeinem Windhalm in Kooperation der Firma Syngenta und der Technischen Hochschule Bingen durchgeführt. Der vorliegende Beitrag beschreibt die Entwicklungen für beide Arten an ausgewählten herbiziden Wirkstoffen mit dem Ziel den Status quo und die Dynamik dazustellen. Dies kann eine wichtige Grundlage sein, aktuelle Bekämpfungsstrategien zu überdenken und anzupassen.

Material und Methoden

Die jährlichen Monitoringversuche basieren auf Samenproben von Acker-Fuchsschwanz und Gemeinen Windhalm von Verdachtsflächen (Acker-Fuchsschwanz) und von zufälligen Probennahmen von Flächen mit nicht bekämpftem Windhalmbesatz. Die Samenproben wurden im Herbst des jeweiligen Sammeljahres in einem Gewächshausbiotest eingebracht. Hierfür wurde ein gesiebter und gedämpfter (4 h bei 70 °C) Ackerboden (sandiger Lehm mit ~ 2 % organische Substanz, 35,7 mg/100 g P_2O_5, 18,6 mg/100 g K_2O und einem pH-Wert von 6,8) vom Standort Bingen genutzt. Der Boden wurde in Torftöpfe (8 x 8 cm, Jiffy) bis ca. 1 cm unter den Topfrand gefüllt, gedüngt (~100 kg/ha N) und rückverfestigt. Auf diesen so vorbereiteten Töpfen wurden ca. 30-50 Acker-Fuchsschwanz- und 50 bis 100 Windhalmsamen gesät. Eine Abdeckung mit Boden erfolgt beim Acker-Fuchsschwanz mit ca. 6 und bei Gemeinem Windhalm mit ca. 2 mm Boden.

Tab. 1 Herbizide, Wirkstoffe, Konzentrationen und Aufwandmengen der in den Monitoringversuchen bei den Arten Acker-Fuchsschwanz und Gemeinen Windhalm eingesetzten Herbizide.

Tab. 1 *Herbicides, active ingredients, concentrations and application rates of the products used in the monitoring experiments on the species A. myosuroides and A. spica-venti.*

Art	Herbizid (Wirkstoff)	Konzentration	Aufwandmenge	Wirkungsweise (HRAC)
Acker-Fuchsschwanz	Axial50 (Pinoxaden)	50 g/l	1,2 l/ha	A
	Atlantis WG (Mesosulfuron / Iodosulfuron)	30/6 g/kg	500 g/ha + 1,0 l/ha Mero	B
	Focus Ultra (Cycloxydim)	100 g/l	2,5 l/ha	A
	Broadway (Pyroxsulam / Florasulam)	68,3/22,8 g/kg	240 g/ha + 1,0 l/ha FHS	B
Gemeiner Windhalm	Axial50 (Pinoxaden)	50 g/l	0,9 l/ha	A
	Husar OD (Iodosulfuron)	100 g/l	0,1 l/ha + 1,0 l/ha Mero	B
	Husar plus* (Iodosulfuron / Mesosulfuron)	50/7,8 g/l	0,2 l/ha + 1,0 l/ha Mero	B
	Broadway (Pyroxsulam / Florasulam)	68,3/22,8 g/kg	130 g/ha + 1,0 l/ha FHS	B
	Arelon Top (Isoproturon)	500 g/l	1,5 l/ha	C2
	Lentipur 700 SC** (Chlortoluron)	700 g/l	1,5 l/ha	C2

*Husar plus ersetzte Husar OD ab 2014; **Lentipur ersetzte Arelon Top ab 2017

Je Herkunft und Herbizidvariante wurden in der Regel 3 Wiederholungen angelegt. Bei knapper Saatgutverfügbarkeit wurde die Wiederholungsanzahl auf 2 in seltenen Fällen auf eine reduziert. Auf den Gewächshaustischen erfolgte eine Bewässerung durch temporäres Anstauen nach Bedarf der Pflanzen. Die Pflanzen wurden täglich mit Pflanzenleuchten bei einer Intensität von 300 $\mu E/m^2 * s^2$ beleuchtet (6:00 bis 9:00 und 15:00 bis 18:00 Uhr). Die Temperaturen wurden tagsüber im Bereich

von 18 bis 20 °C und die der Nacht zwischen 10 bis 14 °C eingestellt. Die Herbizidapplikation erfolgte in der Regel 14 Tage nach der Saat im BBCH-Stadium 11 – 12 (Tab. 1). Die Applikation wurde mit einem Spritzautomat der Firma Schachtner bei 250 l/ha Wasseraufwand, 2,5 km/h und 250 hPa Druck durchgeführt. 21 Tage nach der Herbizidapplikation wurde ein Wirkungsgrad [%, 0 = keine Wirkung; 100 = tote Pflanze] im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle geschätzt. Ebenfalls wurde ein Deckungsgrad für die Töpfe der unbehandelten Kontrolle geschätzt, um den Auflauf und die Pflanzendichte jedes Biotyps zu dokumentieren.

Ergebnisse

Die Ergebnisse für den Acker-Fuchsschwanz zeigen insbesondere bei dem Wirkstoff Pinoxaden eine deutliche Abnahme in der mittleren Wirkung von 70 auf 50 % im Jahr 2009 (Abb. 1). Deutlich wird, dass bereits bei der Einführung des Wirkstoffes in 2006 und damit zu Beginn des Monitorings Resistenzfälle für Pinoxaden beobachtet werden konnten. Die Anzahl pinoxadensensitiver Herkünfte ist in den letzten Jahren auf ca. 25 % gesunken. Trotz des gleichen Wirkmechanismus zeigt sich das Cycloxydim bei den gleichen Herkünften nicht so stark von Resistenz betroffen wie das Pinoxaden. Allerdings ist auch hier zu verzeichnen, dass die Problematik stetig ansteigt. So ist die mittlere Cycloxydim-Wirkung von 95 % in 2006 auf unter 80 % in 2018 gesunken.

Bei der Betrachtung der Wirksamkeit der ALS-Inhibitoren auf die Acker-Fuchsschwanzherkünfte (Abb. 2), zeigt sich bei beiden Wirkstoffen ein sehr ähnliches Bild. Allerdings wurde das Pyroxsulam erst ab 2012 in das Monitoring integriert. Auffällig ist, dass bis 2014 der mittlere Wirkungsgrad von Mesosulfuron / Iodosulfuron bei über 80 % lag und danach auf unter 70 % bei stark ansteigender Streuung der Werte abfiel. Damit scheint sich die Entwicklung, die zuvor bei den ACCase-Hemmern beobachtet wurde, zeitversetzt zu wiederholen.

Dementsprechend sind konsequenterweise immer häufiger multipel resistente Acker-Fuchsschwanzherkünfte anzutreffen, die gleich gegen mehrere Wirkstoffe auch aus unterschiedlichen Wirkungsweisen Resistenzen aufweisen (Abb. 3). So zeigen in den letzten 3 Jahren 30 bis 40 % aller geprüften Herkünfte Resistenzen gegen die zwei wichtigen Nachauflaufherbizidklassen HRAC A und B auf.

Bei Betrachtung der Herbizidwirkungen beim Gemeinen Windhalm (Abb. 4 und 5) sind die Wirkungsgrade in der Regel deutlich besser als bei Acker-Fuchsschwanz. Dennoch sind auch hier die Entwicklungen zu häufigeren Resistenzfunden erkennbar. Gegensätzlich zum Acker-Fuchsschwanz ist beim Gemeinen Windhalm eine deutliche Resistenz bei den ALS-Inhibitoren zu erkennen. Insbesondere Iodosulfuron weist aktuell bei mehr als 50 % aller geprüften Windhalmherkünfte eine Resistenz auf. Weniger häufig, aber mit ähnlicher zeitlicher Dynamik, zeigen sich Resistenzen gegenüber Pyroxsulam.

Die mittlere Pinoxadenwirkung verminderte sich von 100 % in 2009 auf etwa 85 % in 2018. Eine nahezu identische Entwicklung konnte bei Isoproturon bzw. Chlortoluron festgestellt werden, wenngleich 2009 bereits häufiger eine Isoproturonresistenz zu diagnosizieren war, während eine Pinoxadenresistenz kaum auftrat.

Auch beim Gemeinen Windhalm treten multiple Kreuzresistenzen sowohl innerhalb eines Wirkmechnismus als auch mechnismenübergreifend auf. Wurden bis 2017 maximal 15 bis 25 % dieser mehrfachresistenten Herkünfte identifiziert, musste 2018 ein Sprung auf 35 % festgestellt werden (Abb. 6). Bei den Mehrfachresistenzen sind fast immer die ALS-Hemmer in unterschiedlichen Kombinationen mit anderen Wirkstoffklassen vertreten. Noch selten, aber durchaus vorkommend, sind Resistenzen, die eine Unwirksamkeit gegen alle derzeit zugelassen Wirkmechanismen im Nachauflauf bei Windhalm bewirken.

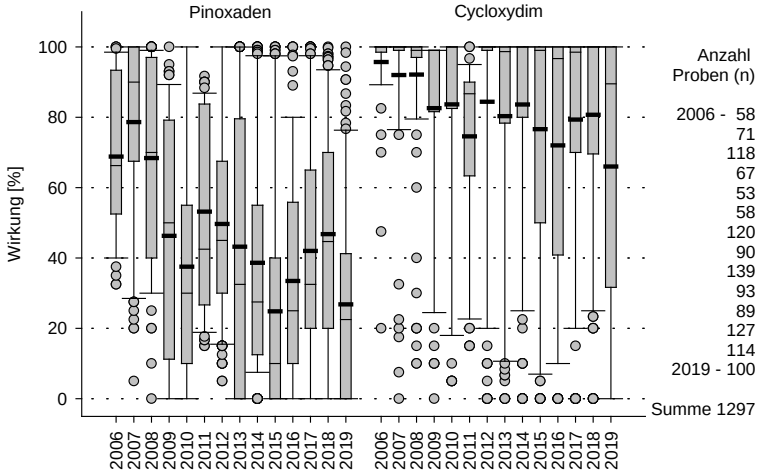


Abb. 1 Entwicklung der Wirkung von Pinoxaden (links) und Cycloxydim (rechts) bei Acker-Fuchsschwanz (Resistenzverdachtsproben) aus Deutschland der Jahre 2006 bis 2019 (n = 1297); der dicke Strich in der Box zeigt den Mittelwert, der dünne Strich den Median, die Box beschreibt die 50 % der Werte um den Median, die Fehlerbalken 90 % der Werte um den Median, die Punkte Werte außerhalb dieses Bereiches.

Fig. 1 *Development of the efficacy of pinoxaden (left) and cycloxydim (right) in A. myosuroides (suspected of resistance) from Germany from 2006 to 2012 (n = 1297); thick line in the box shows the mean, the thin line the median, the box describes the 50% of the values around the median, the error bars 90% of the values around the median, the points the values outside this range.*

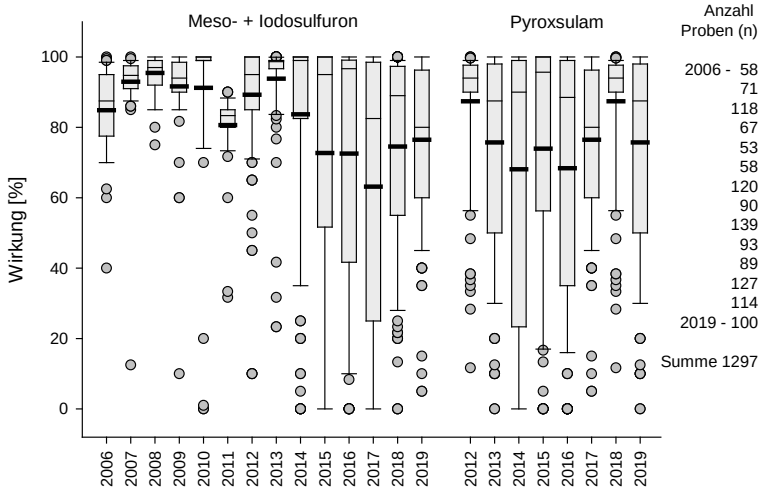


Abb. 2 Entwicklung der Wirkung von Meso- +Iodosulfuron (links) und Pyroxsulam (rechts) bei Acker-Fuchsschwanz (Resistenzverdachtsproben) aus Deutschland der Jahre 2006 bis 2019 (n = 1297); dicker Strich in der Box zeigt den Mittelwert der dünne Strich den Median, die Box beschreibt die 50 % der Werte um den Median, die Fehlerbalken 90 % der Werte um den Median, die Punkte Werte außerhalb dieses Bereiches.

Fig. 2 *Development of the effect of iodo- and mesosulfuron (left) and pyroxsulam (right) in A. myosuroides (suspected of resistance) from Germany from 2006 to 2019 (n = 1297); thick line in the box shows the mean of the thin line the median, the box describes the 50% of the values around the median, the error bars 90% of the values around the median, the points values outside this range.*

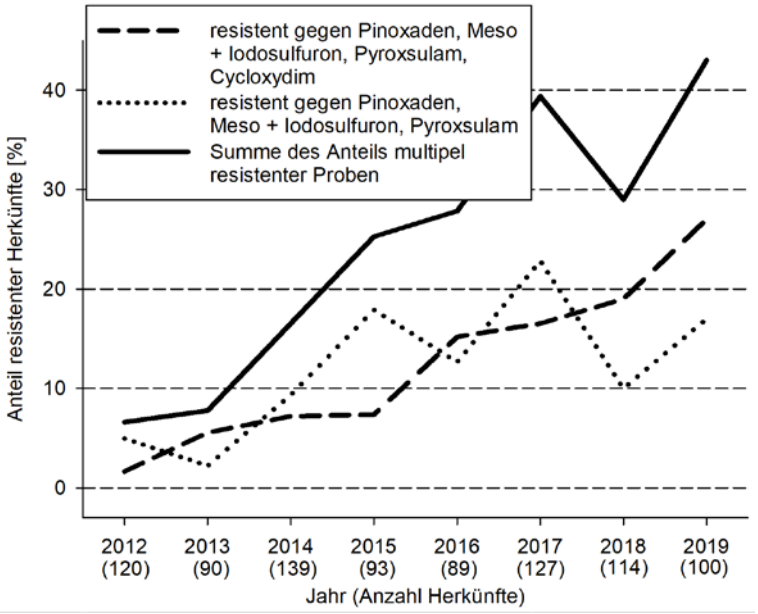


Abb. 3 Entwicklung des Anteils multipel resistenter Acker-Fuchsschwanzherkünfte in Deutschland im Zeitraum 2012 bis 2019.

Fig. 3 *Development of the proportion of multiple resistant A. myosuroides from Germany in the period from 2012 to 2019.*

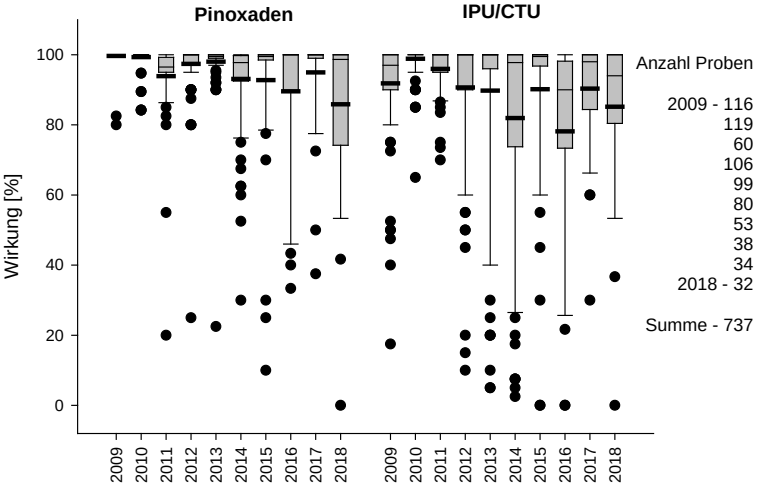


Abb. 4 Entwicklung der Wirkung von Pinoxaden (links) und IPU/CTU (rechts) bei Windhalmproben aus Deutschland der Jahre 2009 bis 2018 (n = 737); dicker Strich in der Box zeigt den Mittelwert der dünne Strich den Median, die Box beschreibt die 50 % der Werte um den Median, die Fehlerbalken 90 % der Werte um den Median, die Punkte Werte außerhalb dieses Bereiches.

Fig. 4 *Development of the effect of pinoxaden (left) and IPU / CTU (right) in A. spica-venti samples from Germany from 2009 to 2018 (n = 737); thick line in the box shows the mean of the thin line the median, the box describes the 50% of the values around the median, the error bars 90% of the values around the median, the points values outside this range.*

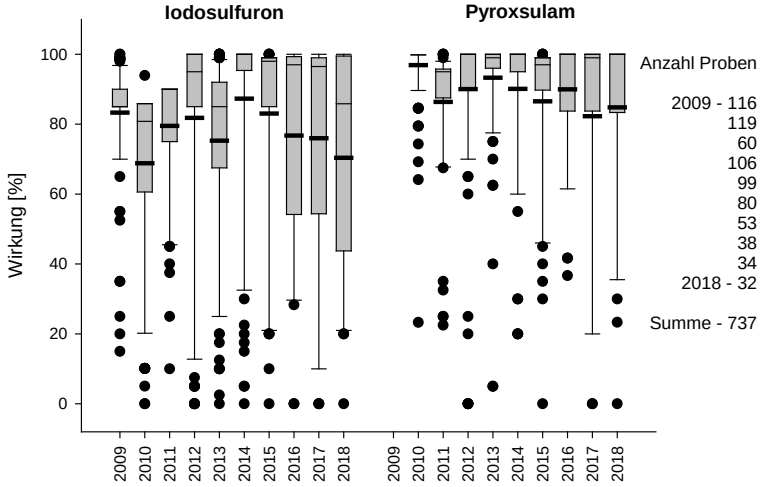


Abb. 5 Entwicklung der Wirkung von Iodosulfuron (links) und Pyroxsulam (rechts) bei Windhalmproben aus Deutschland der Jahre 2009 bis 2018 (n = 737); dicker Strich in der Box zeigt den Mittelwert der dünne Strich den Median, die Box beschreibt die 50 % der Werte um den Median, die Fehlerbalken 90 % der Werte um den Median, die Punkte Werte außerhalb dieses Bereiches.

Fig. 5 *Development of the effect of iodosulfuron (left) and pyroxsulam (right) in A. spica-venti samples from Germany from 2009 to 2018 (n = 737); thick line in the box shows the mean of the thin line the median, the box describes the 50% of the values around the median, the error bars 90% of the values around the median, the points values outside this range.*

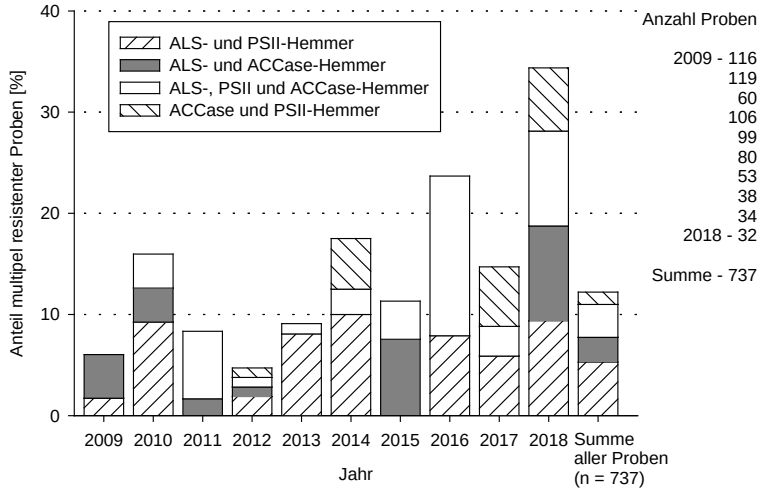


Abb. 6 Dynamik der relativen Häufigkeit von multipel herbizidresistenten Windhalmproben aus Deutschland nach betroffenen Wirkortkombinationen der Jahre 2009 bis 2018 (n = 737).

Fig. 6 *Dynamic of relative occurrence of multiple herbicide resistant A. spica-venti population from Germany depending on combinations of modes of action (2009 – 2018, n = 737).*

Diskussion

Die Monitoringergebnisse für den Acker-Fuchsschwanz deuten darauf hin, dass die Resistenzentwicklung bei den ACCase-Hemmern recht weit fortgeschritten ist. Verdachtsfälle bei Pinoxadenresistenz werden zumeist bestätigt. Als Resistenzursache wurde in der Vergangenheit

zumeist ein metabolischer Abbau vermutet, da DIM-Herbizide noch voll wirksam waren. Bereits ROSENHAUER et al. (2013) stellten aber fest, dass vermehrt Zielortresistenzen in deutschen Acker-Fuchsschwanzproben bei einer stetig ansteigenden Frequenz zu finden sind. Die Zunahmerate bei Cycloxydim-Resistenz in den letzten Jahren bestätigt diesen Trend. In der Folge treten Biotypen auf, die auch in dikotylen Kulturen mit nicht-getreideselektiven ACCase-Hemmern kaum mehr bekämpft werden können. Für die ALS-Hemmer findet sich bei Acker-Fuchsschwanz die gleiche Entwicklungstendenz, erst metabolisch bedingte Resistenz, dann zunehmende Zielortresistenzen, lediglich um einige Jahre verzögert.

Der Selektionsdruck durch ALS-Hemmer hat sich in den letzten Jahren kontinuierlich verstärkt. In der Folge steigen in den letzten 5 Jahren die ALS-Resistenzfunde deutlich schneller als in den Jahren zuvor. In der Konsequenz entstehen vermehrt Wirkstoffklassen überreifende Kreuzresistenzen, die eine selektive Kontrolle des Acker-Fuchsschwanzes in den verschiedenen Kulturen im Nachauflauf erschwert, oder gar unmöglich macht.

Beim Gemeinen Windhalm sind ähnliche Entwicklungen zu beobachten. Die Entwicklungsgeschichte der Herbizidresistenzen verläuft hier nur in umgekehrter Reihenfolge. Zunächst stiegt die Frequenz der ALS-Resistenzen und im Nachgang, wenngleich noch im geringen Umfang, steigt die Häufigkeit von ACCase-Hemmer-Resistenzen. Resistenzen gegen Photosystem-II-Hemmer finden sich in der Häufigkeit zwischen denen der beiden anderen Wirkmechanismen wieder. Während Zielortresistenzen bei ALS-Hemmer häufig sind (~50 % der ALS-resistenten Populationen (DICKE et al., 2016)), sind sie ACCase-Zielortresistenzen im Windhalm noch sehr selten zu finden (eigene Analysen, Ergebnisse nicht darstellt). Die Resultate lassen den Schluss zu, dass Windhalm das gleiche Potential besitzt alle Nachauflaufherbizide zu deaktivieren wie dies bei Acker-Fuchsschwanz bereits Realität ist. Einzelne multi-resistente Biotypen kommen bereits vor. Untersuchungen in diesem Rahmen mit polnischen Populationen zeigen ein häufiges Vorkommen von hochgradig resistenten Windhalmbiotypen gegen ACCase-(HRAC A), ALS (HRAC B)- und PS-II (HRAC C2)-Inhibitoren.

Insgesamt machen die Monitoringergebnisse sehr deutlich, dass die Resistenzentwicklung gegen Nachauflaufherbizide bei beiden Arten immer schneller verläuft und dringend die Strategien zur Ungrasbekämpfung gravierend verändert werden müssen. So sollte eine Anwendung von Wirkstoffen mit Bodenaktivität im Herbst in Wintergetreide zu einer Standardmaßnahme in Gebieten werden, in denen Herbstanwendungen noch wenig verbreitet sind. Dies auch deshalb, da mit Prosulfocarb (HRAC N), Flufenacet (HRAC K3), Pendimethalin (HRAC K2), Diflufenican (HRAC F1) Wirkstoffe zur Verfügung stehen, welche noch nicht oder nur äußerst gering von Resistenzen betroffen sind. Wird die Verwendung dieser Wirkstoffe allerdings durch regulatorische Maßnahmen und Auflagen weiter eingeschränkt, dürfte der Selektionsdruck auf die blattaktiven Wirkstoffe damit zunehmen. Neben der verstärkten Integration von diesen Herbiziden in den Vorauflauf- oder frühen Nachauflaufbereich im Wintergetreide, müssen acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen (z.B. Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Saattermin, Sorte und Saatstärke) die Ungrasdichten senken, so dass die Herbizideinsatzhäufigkeit und damit der Selektionsdruck insgesamt gesenkt werden kann.

Literatur

DICKE, D., C. HENSCHKE, J. PETERSEN, 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.

NIEMANN, P., W. PESTEMER, 1984: Resistance of blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) from different sites to herbicides. Nachrichtenblatt des deutschen Pflanzenschutzdienstes **36**, 113-118.

NIEMANN, P., 2000: Resistenz von Windhalm (*Apera spica-venti*) gegenüber Isoproturon. Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft **376**, 147-148.

ROSENHAUER M., B. JASER, F.G. FELSENSTEIN, 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**, 179-187.

Befall und Herbizid-Sensitivität in ausgewählten Regionen Deutschlands: Ergebnisse eines Gräser-Resistenzmonitorings 2019

Infestation and herbicide sensitivity in selected regions of Germany: Results of a weed resistance monitoring 2019

Johannes Herrmann[1*], Martin Heß[1], Jean Wagner[2]

[1]Agris42 GmbH, Arnold-Cahn-Weg 7, 70374 Stuttgart
[2]PlantaLyt GmbH, Vahrenwalder Str. 269 A, 30179 Hannover
*Korrespondierender Autor, johannes.herrmann@agris42.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.050

Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus einem bundesweit durchgeführten Gräser-Resistenzmonitoring werden vorgestellt. Für eine repräsentative Erhebung wurde auf 1121 Feldern im Bundesgebiet die Befallshöhe verschiedener Ungräsern zum Zeitpunkt der Samenreife festgestellt sowie eine Samen-Stichprobe gesammelt. Erfasst wurden dabei Acker-Fuchsschwanz, Gemeiner Windhalm, Trespe-Arten und Welsches Weidelgras. Der Status der Sensitivität gegen zwei H der HRAC-Gruppe A (Axial 50) und B (Atlantis WG) wurde im Biotest (Gewächshaus) erfasst. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass der Gräserbefall nach dem Herbizideinsatz im Feld in den meisten Fällen gering ist und somit noch eine gute Kontrolle mit den vom Landwirt eingesetzten Herbiziden besteht. Es zeigt sich jedoch, dass auch bei geringem Befall im Feld Resistenzen nachzuweisen sind, was auf eine starke Selektion durch das eingesetzte Produkt schließen lässt. Resistenzen gegenüber Axial 50 wurden dabei häufiger beobachtet als gegen Atlantis WG.

Stichwörter: Deutschland, Herbizidresistenz, Resistenzmonitoring, Unkrautbefall

Abstract

The results of a German monitoring are presented. For a representative survey, the level of infestation of different grass weeds at the time of seed maturity was determined in 1121 fields in Germany and a seed sample was collected. Records were taken for blackgrass, silky bentgras, different brome species and Italian ryegrass. The status of the sensitivity against two herbicides of the HRAC group A (Axial 50) and B (Atlantis WG) was assessed in a bioassay (greenhouse). The results demonstrate that the infestation after herbicide treatment in the field is low in most cases and thus there is still good control with the chosen herbicide. It turns out, however, that even with low infestation in the field resistances can be detected, which suggests a strong selection pressure by the product used in the field. Resistance to Axial 50 was observed more frequently than against Atlantis WG.

Keywords: Germany, resistance monitoring, weed infestation, weed resistance

Einleitung

Unkrautbekämpfung ist zur Sicherung der Erträge essenziell und Herbizide sind dabei – auch aus ökonomischen Erwägungen – seit Längerem das Mittel der Wahl (Moss et al., 2007). Ein daraus entstehendes Problem ist jedoch das Auftreten von resistenten Unkräutern (Délye et al., 2010, Heap, 2014; Heap, 2015). Deren häufiger Einsatz führt daher bei gleichzeitiger geringer Diversität sonstiger Bekämpfungsmaßnahmen schneller zu sicht- und messbaren Resistenzproblemen im Feld (Herrmann, 2016). Resistenzprobleme sind jedoch für den Landwirt mit erheblichen Kosten verbunden. Somit wäre es notwendig, zum einen das Resistenzausmaß festzustellen und zum anderen eine detaillierte Ursachenforschung zu betreiben, um frühzeitige Prognosen über die Entwicklung des Problems anzustellen. Bisher wurden diese Analysen jedoch weitestgehend kleinräumig, in Feldversuchen, überregional mit dem Fokus auf bewiesenen Resistenzproblemen oder nur zur Erfassung der Resistenzsituation, aber ohne Berücksichtigung der Bewirtschaftungsmaßnahmen durchgeführt (Hogrefe, 2011; Petersen et al., 2012; Hull et al., 2014; Knight, 2016). Während jedoch die Mechanismen der Resistenzbildung hinreichend bekannt sind, fehlt es an Informationen über das Ausmaß und die Verbreitung des Problems in einigen Region um die Ursachen für verschieden Unkräuter differenziert herauszuarbeiten (Neve et al., 2014). Dies ist jedoch notwendig, um den Bedarf für neuartige Produktlösungen frühzeitig zu erkennen und Landwirte gezielt auf zukünftige Probleme hinzuweisen.

Dazu wurde im Jahr 2019 ein deutschlandweites Monitoring mit dem Schwerpunkt auf Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) und Gemeinem Windhalm (*Apera spica-venti*) gestartet. Ziel war es, den Vorerntebefall, als Indikator für das Ausmaß des Problems im Feld, und den Resistenzgrad im Gewächshaus, als Erklärung für den vorgefundenen Vorerntebefall, zu bestimmen. Dabei wurde versucht, das Bundesgebiet weitestgehend abzudecken. Zusätzliche in Vergesellschaftung vorkommende Gräser und Unkräuter wurden ebenfalls erfasst und bei gleichzeitiger Reife beprobt. Im Folgenden sind die Ergebnisse für Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*), Gemeinem Windhalm (*Apera spica-venti*), Trespen-Arten (*Bromus* spp.) und Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum*) dargestellt.

Material und Methoden

Für ein repräsentatives Monitoring wurden für die Feldsaison 2018/19 1121 Felder aus Getreide-, Rüben- und Maisfruchtfolgen beprobt. Die Auswahl der Felder erfasste dabei 13 Bundesländer und 238 Landwirte. Auf jedem landwirtschaftlichen Betrieb wurden dabei mehrere Felder (2-10 Felder) erfasst.

Feldbeprobungen

Die ausgewählten Felder wurden kurz vor der Ernte besucht und mindestens zwei Fahrspuren und zwei Vorgewende wurden abgelaufen. Nach Möglichkeit wurde von den vorkommenden Unkräutern eine Probe reifer Samen gesammelt. Das Auftreten von Unkräutern und deren Befall wurde anhand einer 6-stufigen Skala bewertet (Tab. 1). Dabei sind die Befallsstufen 3–5 solche, bei denen die meisten Landwirte selbst auf das Problem aufmerksam werden, sie wurden deshalb für einen Teil der weiteren Analysen in der Befallsgruppe „hoch" zusammengefasst, während die Befallsstufen 0–2 in der Befallsgruppe „niedrig" zusammengefasst wurden. Untersucht wurden Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*), Gemeiner Windhalm (*Apera spica-venti*), Trespen-Arten (*Bromus* spp.) und Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum*).

Tab. 1 Befallsstufen und deren Beschreibung.

Tab.1 *Categories for weed density estimations and their description.*

Befallsstufe	Beschreibung
0	kein Auftreten
1	Einzelne Pflanzen treten gelegentlich auf, der Befall wird aber vom Landwirt meist nicht bemerkt.
2	Kleinere zusammenhängende Nester (<30 m^2) treten auf.
3	Größere zusammenhängende Nester (>30 m^2) bis 50 % des Feldes sind befallen.
4	Befall des Unkrauts im ganzen Feld
5	Schwerer Befall des Unkrauts im ganzen Feld. Starke Ertragsminderung tritt auf.

Gewächshaus

Das Probenmaterial wurde im Gewächshaus ausgesät und in BBCH 11–13 mit 0,5 kg/ha Atlantis WG und 1,2 l/ha Axial 50 bei 200 l Wasser mit einer Teejet-8002-EVS-Düse auf einem Research Track Sprayer Generation III appliziert.

Eine visuelle Bonitur und das Auszählen der überlebenden und erfolgreich kontrollierten Pflanzen erfolgten 21 Tage nach Applikation. 288 Proben wurden dabei ausgewertet und die Wirksamkeit der Herbizide wurde in „Sensitiv", „Intermediär" und „Resistent" eingeteilt (Tab. 2).

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Statistiksoftware R 3.5.1 und den Paketen „tidyverse" und „descr". Um eine vereinfachende Darstellung der Daten zu ermöglichen, wurden die beprobten Kulturen in solche, in denen potenziell ein ALS-Herbizid eingesetzt worden sein könnte (pot. ALS), und solche, in denen kein ALS-Herbizid zugelassen ist (kein ALS), eingeteilt. Des Weiteren wurden

die Befallsklassen 0–2 zur Befallsgruppe „niedrig" und die Befallsklassen 3–5 zur Befallsgruppe „hoch" zusammengefasst. Diese Unterscheidung wurde vorgenommen, da sie der Wahrnehmung der Landwirte am ehesten entspricht und die Komplexität der Darstellung reduziert.

Tab. 2 Bewertung der Wirksamkeit der getesteten Herbizide im Gewächshaus.

Tab. 2 *Rating of herbicide efficacy in the greenhouse.*

Einstufung	Erklärung
Sensitiv	Die festgestellte Wirkung liegt bei >90 %. Das Herbizid wirkte bei der ausgewählten Probe noch sehr gut.
Intermediär	Die festgestellte Wirkung liegt bei 51–89 %. Einzelne Pflanzen in der Probe werden mit dem Herbizid im Gewächshaus nicht mehr ausreichend bekämpft.
Resistent	Die festgestellte Wirkung liegt unter 50 %. Das Herbizid erzielte keine zufriedenstellende Wirkung im Gewächshaus mehr.

Ergebnisse und Diskussion

Übersicht des Befalls verschiedener Gräser

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse von 1468 Einzeluntersuchungen auf 1121 Feldern. Die Einzeluntersuchungen zeigen, dass teilweise mehrere Unkräuter gleichzeitig pro Feld beobachtet wurden. So wurden in 30 % der Fälle zwei und in 10 % drei und mehr Unkräuter gleichzeitig zur Ernte beobachtet. Dies waren hauptsächlich Mischverunkrautungen von Acker-Fuchsschwanz mit Trespe-Arten oder Welschem Weidelgras. Seltene Fälle von Mischverunkrautungen von Acker-Fuchsschwanz und Windhalm bzw. Windhalm und Welschem Weidelgras wurden ebenfalls beobachtet.

Tab. 3 Anteilsmäßige Verteilung der Befallsklassen in Abhängigkeit des beprobten Ungrases.

Tab. 3 *Proportional share of infestation groups for different weeds.*

	Befallsklassen						
Unkraut	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Anzahl Beobachtungen**
A. myosuroides	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	947
A. spica-venti	0	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1	132
Bromus spp.	0	0,6	0,3	0,1	0	0	302
L. multiflorum	0	0,5	0,2	0,2	0,1	0	87
Gesamt							1468

Die Einzelbetrachtungen der jeweiligen Gräser zeigen, dass auf fast allen Flächen zumindest einzelne Pflanzen der untersuchten Gräserarten gefunden wurden. Nur etwa 10 % der Flächen wiesen keinen Befall (Befallsklassen 0) mit Acker-Fuchsschwanz auf. Trotzdem zeigt sich, dass mit Ausnahme des Beispiels Acker -Fuchsschwanzes mehrheitlich nur Einzelpflanzen (Befallsklassen 1) gefunden wurden. Es zeigt sich außerdem, dass der Befall bei Acker-Fuchsschwanz in 60 % der Fälle, bei Welschem Weidelgras in 70 % der Fälle, bei Windhalm in 80 % der Fälle und bei Trespe in 90 % der Fälle maximal kleinere Nester aufweist (Befallsklassen 0–2). Dieser geringe Befall, der vom Landwirt allermeistens toleriert wird, zeigt, dass die Unkrautbekämpfung mit den eingesetzten Herbiziden mehrheitlich erfolgreich war.

Ein Befall im ganzen Feld (Befallsklassen 4 + 5) wurde jedoch mit Ausnahme der Trespen-Arten bei allen Unkräutern gefunden. Dichter, die Kultur unterdrückender Befall (Befallsklassen 5) wurde jedoch nur bei Acker-Fuchsschwanz und Windhalm auf jeweils 10 % der untersuchten Flächen festgestellt.

Der Befall mit Acker-Fuchsschwanz in den verschiedenen Bundesländern

Abbildung 1 zeigt den prozentualen Anteil der Felder mit erhöhtem bzw. hohem Befall an Acker-Fuchsschwanz (Befallsklassen 3–5) in Bezug auf die Gesamtzahl der gesammelten Proben in diesem

Bundesland. Diese Gruppierung der Befallsklassen wurde gewählt, da Befallsstärken diesen Ausmaßes von fast allen Landwirten als Problem wahrgenommen wurden.

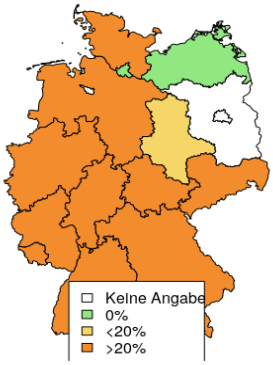


Abb. 1 Prozentualer Anteil der Felder mit hohem Befall (Befallsklassen 3–5) im Verhältnis zu der Gesamtzahl der beprobten Felder in diesem Bundesland.

Fig. 1 *Relative proportion of fields with higher infestation levels (infestation class 3-5) in relation to the overall number of fields for the corresponding federal state.*

Resistenzeinstufung der analysierten Acker Fuchsschwanzproben

Tab. 4 Prozentuales Vorkommen der Resistenzeinstufungen in Abhängigkeit von der Kultureinstufung und dem Befall für Atlantis WG und Axial 50 bei Acker-Fuchsschwanz.

Tab. 4 *Relative frequency of resistance classification in relation to crop group, the infestation level for Atlantis WG and Axial 50 for blackgrass.*

Gruppe	Befallsgruppe	Behandlung	Sensitiv	Intermediär	Resistent	N
kein ALS	hoch	Atlantis WG	0,44	0,49	0,07	41
		Axial 50	0,17	0,43	0,40	42
	niedrig	Atlantis WG	0,32	0,57	0,11	19
		Axial 50	0,11	0,47	0,42	19
pot. ALS	hoch	Atlantis WG	0,20	0,51	0,29	100
		Axial 50	0,11	0,52	0,37	100
	niedrig	Atlantis WG	0,27	0,51	0,22	86
		Axial 50	0,11	0,39	0,50	88

Es zeigt sich, dass nur in Mecklenburg-Vorpommern und Hamburg keine Felder mit hohem Befall an Acker-Fuchsschwanz gefunden wurden. In Sachsen-Anhalt war der Anteil bei unter 20 %, während er in allen anderen beprobten Bundesländern bei über 20 % lag. Dies zeigt, dass ein schwerer Befall mit Acker-Fuchsschwanz kein Phänomen einzelner Betriebe und Flächen ist und mittlerweile fast überall dort, wo Acker-Fuchsschwanz vorkommt, auch Flächen mit einem hohen Befall nach der Herbizidbehandlung zu finden sind. Eine ähnliche Verteilung für einen einzelnen Landkreis wurde bei HERRMANN (2016) gefunden. Dies ist häufig mit dem Vorkommen eher schwerer Böden und den damit einhergehenden Bewirtschaftungsmaßnahmen begründet HERRMANN (2016).

Tabelle 4 zeigt exemplarisch die Ergebnisse und die Verteilung nach als resistent, sensitiv und intermediär eingestuften Proben von Acker-Fuchsschwanz in Abhängigkeit von der Kultur im Feld und dem vorgefundenen Befall für 249 Biotypen, wovon für 3 jedoch kein Ergebnis für Atlantis WG vorliegt. Dabei wurden Kulturen wie bspw. Weizen oder Triticale, in denen Herbizide der HRAC-Gruppe B gegen Gräser zugelassen sind, als „pot. ALS" und solche, in denen das nicht der Fall ist, als „kein ALS" eingestuft. Diese Unterscheidung stellt aber keine Unterscheidung anhand des tatsächlich eingesetzten Herbizides dar, da es möglich ist, dass Felder, die als „pot. ALS" klassifiziert wurden, trotzdem nur mit einem Bodenherbizid oder einem Produkt aus der HRAC-Gruppe A

behandelt wurden. Trotzdem zeigt sich, dass in der Gruppe der „pot. ALS"-gruppierten Proben 2–3x so viele resistente Biotypen von Acker-Fuchsschwanz zu finden waren wie in der Gruppe „kein ALS". Dies zeigt, dass hier tendenziell eine starke Selektion mit einem ALS-haltigen Herbizid erfolgte und überlebende Pflanzen durch diese Vorselektion im Feld häufiger Resistenzen im Biotest zeigten. Es zeigt sich außerdem, dass in der Einstufung „pot. ALS" bei niedrigem Befall im Feld nur 27 % der Acker-Fuchsschwanz-Biotypen als sensitiv eingestuft wurden. Diese Ergebnisse zeigen, dass sich bei niedrigem Befall von Acker-Fuchsschwanz im Feld nach einer ALS-Applikation im Feld mehrheitlich resistente Pflanzen finden lassen. Es erfolgte im Feld somit eine starke Selektion bei dennoch guter Unkrautbekämpfung. Diese so heraus selektierten Biotypen von Acker-Fuchsschwanz in den kommenden Jahren zu bekämpfen ist somit für den Landwirt von besonderer Bedeutung und muss unter Ausschöpfung aller ackerbaulichen Maßnahmen erfolgen. Es zeigt aber auch das verborgene Resistenzpotenzial, das heute noch nicht sichtbar ist.

Auf der anderen Seite wurden 20 % der Acker-Fuchsschwanz-Proben in der Kategorie „pot. ALS" und bei hohem Befallsdruck im Feld als sensitiv eingestuft. Mögliche Erklärungen wären hier eine ausgebliebene oder nicht ausreichend wirksame Frühjahrsbehandlung oder eine ausschließlich durchgeführte Herbstbehandlung, bei der der Druck im Frühjahr unterschätzt wurde und es somit zu einem recht hohen Befallsdruck kam. Jedoch kann man erkennen, dass in einer Kultur, in der potentiell kein ALS-Herbizid gegen Acker-Fuchsschwanz eingesetzt wurde, der Anteil an sensitiv eingestuften Biotypen deutlich höher liegt (44 %). Dies zeigt aber auch, dass in diesen Feldern eine Vorselektion in der Vergangenheit bereits stattgefunden hat, da sich resistente Biotypen finden lassen. Jedoch liegt der Anteil der tatsächlich als resistent eingestuften Proben bei lediglich 7 %, während in allen übrigen Proben (49 %) nur vereinzelte Pflanzen gefunden wurden, die sich nicht mehr ausreichend bekämpfen ließen. Dies zeigt, dass zur korrekten Interpretation der Daten Informationen über die Bewirtschaftungsmaßnahmen essentiell sind um korrekte Rückschlüsse zu ziehen.

Die geringere, in Tabelle 4 dargestellte Probenanzahl im Vergleich zu Tabelle 1 zeigt, dass eine weitere Sensitivitäts-Prüfung zusätzlicher Biotypen im Biotest noch aussteht und notwendig ist, um die Ergebnisse weiter abzusichern. Jedoch zeigt sich generell, dass die Unterschiede für Axial 50 zwischen der Gruppe „pot. ALS" und „kein ALS" deutlich geringer ausfallen als für Atlantis WG. Da die HRAC-Gruppe A, zu der Axial 50 gehört, eine deutlich längere Einsatzhistorie hat, ist dies vermutlich damit zu erklären. Es zeigt sich außerdem, dass für Axial 50 unabhängig von Befall und Kulturgruppe nur 11–17 % der Biotypen als sensitiv eingestuft wurden, während dies bei Atlantis zwischen 20–44 % betrug. Eine erweiterte Prüfung mit weiteren Herbiziden aus verschiedenen Wirkstoffgruppen wird derzeit durchgeführt und wird das Resistenzprofil weiter abrunden und zusätzliche Abschätzungen über die zugrunde liegenden Resistenzen liefern. Die gefunden Resistenzgrade sind geringer als in anderen Studien (Délye, 2010; Knight, 2016), die jedoch auf Verdachtsfällen in teilweise anderen europäischen Ländern basierten und somit nicht zufällig ausgewählt wurden.

Die Arbeiten legen den Grundstein für weiterführende Analysen zu kausalen Zusammenhängen des Resistenzvorkommens. Dazu werden Befragungen zur Bewirtschaftung der Felder mit teilnehmenden Landwirten durchgeführt. Damit lassen sich offene Fragen klären, etwa die Einordnung der Ergebnisse mit marktwirtschaftlichen Erhebungen, auf wie vielen Hektar Anbaufläche Problemfruchtfolgen existieren, welche Regionen davon besonders betroffen sind und wie sich die Resistenzproblematik zukünftig entwickelt. Die Ergebnisse liefern Erkenntnisse für die Entwicklung von Lösungen zu Resistenzfragestellungen.

Literatur

Délye, C., S. Michel, A.B. Erard, B. Chauvel, D. Brunel, J.P. Guillemin, F. Dessaint, V. Le Corre, 2010: Geographical variation in resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase-inhibiting herbicides across the range of the arable weed *Alopecurus myosuroides* (black-grass). New Phytol. **186**(4), 1005–1017.

Heap, I., 2014: Global perspective of herbicide-resistant weeds. Pest Manag. Sci. **70**(9), 1306–1315.

Heap, I., 2015: International Survey Of Herbicide Resistant Weeds. www.weedscience.org.

HERRMANN, J., 2016: Analysis of the spatial and temporal dynamics of herbicide resistance to ACCase- and ALS-Inhibitors in *Alopecurus myosuroides* Huds. and their causes, PhD Thesis, Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig.

HOGREFE, C., 2011: Untersuchungen zur Herbizidresistenz in verschiedenen Feldpopulationen von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Deutschland. Julius Kühn-Archiv **443**, 324-333.

HULL, T., L. TATNELL, S. COOK, S. MOSS, 2014: Current status of herbicide-resistant weeds in the UK. Aspects of Applied Biology **127**, 261–272.

KNIGHT, C., 2016: Investigating the evolution of herbicide resistance in UK populations of *Alopecurus myosuroides*. PhD thesis, School of Life Sciences, University of Warwick.

MOSS, S.R., S.A.M. PERRYMAN, 2007: The incidence of herbicide-resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass) in England and its development in relation to past herbicide use. Aspects of Applied Biology **83**, 109–113.

NEVE, P., R. BUSI, M. RENTON, M.M. VILA-AIUB, 2014: Expanding the eco-evolutionary context of herbicide resistance research. Pest Manag. Sci. **70**(9), 1385–1393.

PETERSEN, J., G. NARUHN, H. RAFFEL, 2012: Nicht-Zielortresistenzen bei *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti*– Resistenzmuster und Resistenzfaktoren. Julius Kühn-Archiv **434**, 43-50.

POWLES S., Q. YU, 2010: Evolution in action: Plants resistant to herbicides. Annu. Rev. Plant Biol. **61**, 317–347.

Erste Glyphosat-Resistenz in Deutschland

First glyphosate resistance in Germany

Bernd Augustin[1*], Klaus Gehring[2]

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

[2]Bayrische Landesanstalt für Bodenkunde u. Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising

*Korrespondierender Autor, baugustin@t-online.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.051

Zusammenfassung

Im Rahmen der alljährlichen Untersuchung von Verdachtsproben auf Herbizidresistenz aus Rheinland-Pfalz wurde 2018 eine Herkunft von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne L.*) in einem Obstbaubetrieb in Rheinhessen gesammelt. Deutsches Weidelgras wird dort häufig zur Fahrgassenbegrünung eingesät und kann von dort in die herbizidbehandelten Baumzeilen einwandern. Durch mehrere Biotests am Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (Bad Kreuznach) und an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Freising) in den Jahren 2018 und 2019 konnten mögliche Einflussfaktoren auf die festgestellten Minderwirkungen wie Applikationstechnik und Produktformulierung ausgeschlossen werden. Der Vergleich mit einer Glyphosat-sensitiven *L. perenne* ermöglichte den Nachweis der Glyphosatresistenz.

Stichwörter: Biotest, Herbizidresistenz, Glyphosat, *Lolium perenne* L.

Abstract

In 2018, numerous weed seed samples were taken from fields within Rhineland-Palatinate where herbicide resistance was suspected. One sample of perennial ryegrass (*Lolium perenne L.*) was taken from an orchard farm in Rhinehessen. Perennial ryegrass is frequently used as permanent cover plant of the machine tracks from where they can emigrate into the tree rows usually treated with herbicides. By conducting several bioassays at the Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (Bad Kreuznach, Rhineland-Palatinate) and at the Landesanstalt für Landwirtschaft (Freising, Bavaria) potential factors impacting on a reduced efficacy of glyphosate could be excluded such as technique of application and product formulation. By comparing the test biotype with a sensitive *L. perenne* biotype, glyphosate resistance could be demonstrated.

Keywords: Bioassay, herbicide resistance, glyphosate, *Lolium perenne* L.

Einleitung

Bis 2003 waren in Rheinland-Pfalz kaum Wirkungsprobleme von Ungrasherbiziden zu beobachten. Daher wurden nur sporadisch Proben von Acker-Fuchsschwanz von Verdachtsflächen gesammelt und auf eine mögliche Herbizidresistenz getestet. Ab 2006 wurden von der amtlichen Beratung jährlich Samenproben von Acker-Fuchsschwanz von Getreideflächen mit Verdacht auf nachlassende Herbizidwirkung gesammelt. Bereits unter den Proben des Jahres 2006 konnte die erste ausgeprägte Resistenz gegen Blattherbizide (ACCase-Hemmer) bei Acker-Fuchsschwanz nachgewiesen werden (AUGUSTIN, 2008). Ab 2007 wurde die Probenahme auf den Gemeinen Windhalm ausgedehnt. Im Jahre 2008 wurde auf einem Standort eine ausgeprägte multiple Herbizidresistenz bei Gemeinem Windhalm festgestellt (AUGUSTIN, 2010).

In Rheinland-Pfalz ist ein vergleichsweise hoher Anteil an Sommerungen in den Fruchtfolgen vorhanden (Sommergerste, Zuckerrüben, Kartoffeln, Mais). Das stark schwankende Flughaferaufkommen wurde daher auf Jahreswitterung und biologische Eigenschaften des Ungrases zurückgeführt. In mehreren Flughafer-Verdachtsproben des Jahres 2011 und 2012 waren erstmals Target-Site-Resistenzen gegen ACCase-Hemmer nachweisbar (AUGUSTIN und MENNE, 2014).

In den letzten Jahren wurden nur vereinzelt Proben mit Verdacht auf eine Glyphosatresistenz (*Epilobium, Bromus* spp.) zur Untersuchung eingereicht bei denen die im Feld beobachteten Minderwirkungen aber nicht auf einer Resistenz beruhte. Im Jahre 2018 wurde eine Probe des Deutschen Weidelgrases (*Lolium perenne* L.; WG 1) aus einem Obstbaubetrieb in Rheinhessen mit Resistenzverdacht eingesendet und mit Hilfe von Biotesten auf eine mögliche Glyphosatresistenz untersucht.

Material und Methoden

In vorausgegangenen Biotests im Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum wurde die Verdachtsherkunft WG 1 bereits mit unterschiedlichen Substraten (rheinhessischem Lösslehm im Vergleich mit Einheitserde) und höherer Wasseraufwandmenge (400 l/ha, IDKN 12004, 3,3 Km/h, 3,6 bar) mit vergleichbaren Ergebnissen geprüft. Auf Basis dieser Voruntersuchungen wurde der nachfolgend beschriebene Biotest im Winterhalbjahr 2018/19 im Gewächshaus in dreifacher Wiederholung in 9 cm Töpfen in Torfkultursubstrat (Stender E510) ausgesät. Nach Kultivierung mit Zusatzbeleuchtung (Hortilux HPA 400, 100-200 µmol PAR/m^2*s) und Temperatursteuerung (20°C/14 Stunden und 10°C/10 Stunden) wurden im 2-Blattstadium des Weidelgrases vier verschiedene Herbizidbehandlungen durchgeführt (Tab. 1). Die Behandlung erfolgte mit einer Schachtner Karrenspritze mit 200 l/ha Wasseraufwandmenge (3,6 Km/h; 1,75 bar an der Düse IDK 12002) mit anschließender Rückliterung. Als Glyphosat-sensitive Referenzherkunft diente die Herkunft S3/2017 bei der in früheren Untersuchungen eine hohe Resistenz gegen ALS-Hemmer nachgewiesen wurde. Eine Glyphosat-resistente Referenzherkunft war nicht verfügbar.

Tab. 1 Herbizidvarianten des Biotestes.

Tab. 1 *Herbicides used in the bioassay.*

Nr.	Herbizid	Wirkstoff (g/l bzw. kg)	Aufwandmenge/ha	HRAC-Gruppe
1	Kontrolle	-	-	-
2	Glyfos Supreme	Glyphosat (450)	4,0 l	G
3	Glyfos Supreme	Glyphosat (450)	8,0 l	G
4	Glyfos Supreme	Glyphosat (450)	12,0 l	G
5	Broadway + FHS	Pyroxsulam + Florasulam + Cloquintocet-Mexyl (68,3+22,8+68,3)	275 g + 1,0 l	B

Drei und vier Wochen nach der Herbizidbehandlung wurde eine Wirkungsbonitur durchgeführt. Die Einstufung der Herbizidsensitivität bzw. Resistenz erfolgte entsprechend dem in Tabelle 2 aufgeführten Schema.

Tab. 2 Einteilung der Resistenzklassen**.**

Tab. 2 *Classification of herbicide resistance.*

Einteilung der Resistenzklassen Klasse	Wirkungsgrad (%)
S	83,4-100
1	66,5-83,3
2	50-66,6
3	33,3-49,9
4	16,6-33,2
5	0-16,5

In Ergänzung zu den beschriebenen Biotesten am Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum wurde an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft ein weitere Biotest mit verschiedenen Herbiziddosierungen (Dosis-Wirkungsprüfung) durchgeführt. Neben der Verdachtsherkunft WG 1 aus Rheinland-Pfalz wurde eine handelsübliche Herkunft des Deutschen Weidelgrases (Sorte „Discus", Deutsche Saatveredelung AG) als sensitive Referenz geprüft. Die Samenproben wurden mit einem Saugluft-Stufensichter (Fab. Pelz, Typ 2) aufbereitet. Anschließend wurde die Keimfähigkeit nach der ISTA-Methode ermittelt (ISTA, 2015). Die Aussaat erfolgte flächig mit einem Mikrolöffel auf Pflanztopfträgerplatten (Töpfe mit 4,5 cm Durchmesser). Die Saatstärke wurde so eingestellt, dass nach der Samengröße und Keimfähigkeit der jeweiligen Herkunft ein relativ gleichmäßiger Pflanzenbestand im Vergleich der im Test befindlichen Prüfherkünfte erreicht wurde. Als Substrat wurde einmal ein natürlicher Mineralboden vom Standort Freising (Parabraunerde aus Lösslehm, 2,8 % OS, pH 7,2) in Mischung mit einem Torf-Kultursubstrat (Mischungsverhältnis 3:1) und als weitere Variante das reine TK-Substrat (tonhaltiges Torfsubstrat, Typ Höfter Humaton Standard, 80 % organische Substanz, pH 5,8, nährstoffangereichert) verwendet. Die Bewässerung

erfolgte durch regelmäßiges Gießen und im Wechsel 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 und Wirkungsperiode (21 Tage) 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/m^2*s) geregelt. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde auf konstant 85 % gehalten.

Die Applikation erfolgte nach einer Anzuchtperiode von 15 Tagen im Entwicklungsstadium BBCH 12-13 des Weidelgrases. 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. Dabei erfolgte neben der unbehandelten Kontrolle die Anwendung von Roundup PowerFlex (Glyphosat) in fünf und die Anwendung von Broadway (Pyroxsulam + Florasulam + Cloquintocet-Mexyl) in drei Dosisstufen.

Tab. 3 Herbizidvarianten der Dosis-Wirkungsprüfung.

Tab. 3 *Herbicides used in the dose-response test.*

Nr.	Behandlung/Herbizid	Wirkstoff (g/l bzw. g/kg)	Standard-Dosis (= 100 %) (l/ha bzw. kg/ha)	Dosisstufen (% der Standard-Dosis)
1	Unbehandelte Kontrolle	-	-	-
2	Roundup PowerFlex	Glyphosat (480)	3,75	25 / 50 / 100 / 200 / 400
3	Broadway + FHS	Pyroxsulam + Florasulam + Cloquintocet-Mexyl (68,3 + 22,8 + 68,3)	0,275 + 1,0	100 / 150 / 200

Die Herbizidwirkung wurde 21 Tage nach der Applikation durch visuelle Bonitur im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und durch Wiegung des Frischmasseaufwuchses erhoben. Für die Bewertung der Boniturergebnisse 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 sensitiven Vergleichsherkunft und der resistenzverdächtigen Prüfherkunft. Die Klassengrenzen werden individuell für den durchgeführten Test ermittelt (Clarke et al., 1994). Die statistische Analyse der Frischmasseergebnisse erfolgte durch eine nichtparametrische Rangvarianzanalyse nach Kruskal-Wallis (Unistat LTD., 2015) und eine Log-Logistic-Analyse (Seefeldt et al., 1995) mit der NLIN-Anwendung durch SAS/STAT® Software. Die Ermittlung eines Resistenzfaktors beruht auf dem Dosisunterschied zwischen der sensitiven und resistenzverdächtigen Herkunft auf dem Wirkungsniveau von 50 % bzw. bei ED_{50}.

Ergebnisse

Die Glyphosat-sensitive Weidelgrasherkunft S3/2017 wurde bereits mit der zugelassenen Glyphosataufwandmenge (1800 g Glyphosat/ha) sicher erfasst. Bei dieser Herkunft war bereits im Vorjahr eine ausgeprägte ALS-Resistenz festgestellt worden, die sich wieder im Hinblick auf Pyroxsulam bestätigte (Resistenzklasse 5).

Die Verdachtsherkunft WG 1 wurde dagegen mit dieser zugelassenen Glyphosat-Aufwandmenge nicht mehr ausreichend kontrolliert (Resistenzklasse 5). Bei der doppelten und dreifachen Glyphosat-Aufwandmenge wurden im Vergleich zu der zugelassenen Aufwandmenge höhere Wirkungsgrade erzielt, aber die Wirkung blieb unzureichend und wurde in die geringere Resistenzklasse 2 eingestuft. Damit ist eine klare Dose-Response-Reaktion erkennbar. Darüber hinaus war in der Weidelgrasherkunft WG 1 eine Kreuzresistenz mit Pyroxsulam nachweisbar (Resistenzklasse 3).

Tab. 4 Einstufung der Herbizidresistenz bei der Weidelgrasherkunft WG 1 aus Rheinland-Pfalz.

Tab. 4 *Classification of herbicide resistance in the perennial ryegrass population WG 1 collected in Rhineland-Palatinate.*

Ergebnis des Biotestes					
Nr.	**Herkunft/Bezeichnung**	**Wirkstoff (g/ha)**			
		Glyphosat			**Pyroxulam + Florasulam**
		1800	**3600**	**5400**	**18,8 + 6,3**
WG 1	55218 Ingelheim	5	2	2	3
S3/2017	„Standard" Glyphosat-sensitiv	S	S	S	5

Bei der Dosis-Wirkungsprüfung ergab die Bewertung der Boniturergebnisse für die Weidelgras-Verdachtsherkunft WG 1 gegenüber Glyphosat und Pyroxsulam die Resistenzklasse 3 bzw. R* nach der Nomenklatur von CLARKE et al. (1994). Diese Einstufung in eine jeweils mittlere Resistenzklasse war unabhängig von dem verwendeten Anzuchtsubstrat.

Eine erste Analyse der Frischmasseergebnisse mittels einer Kruskal-Wallis One-Way ANOVA (95 % Konfidenzintervall) ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den zwei verwendeten Anzuchtsubstraten. Für die weitere Analyse wurden daher die Frischmasseergebnisse beider Substrate gemeinsam verrechnet. Die Überprüfung der Dosis-Wirkungsreaktion gegenüber Roundup PowerFlex anhand der Log-Logistic-Funktion nach SEEFELDT et al. (1995) ergab für die Weidelgrasherkunft WG 1 einen Resistenzfaktor von 8,4 auf dem Wirkungsniveau ED50 (Abb. 1).

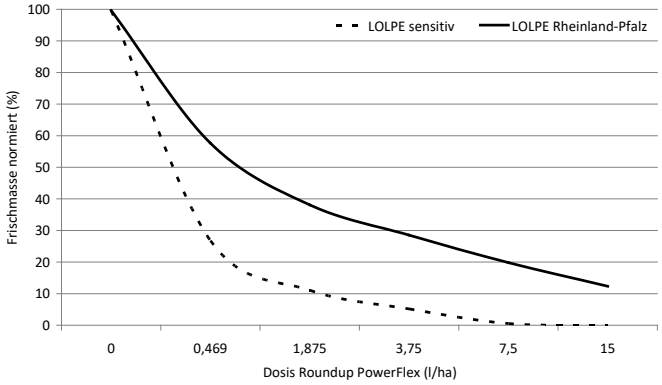


Abb. 1 Dosis-Wirkungsverlauf der Weidelgras-Herkünfte WG 1 und der sensitiven LOLPE Sorte „Discus" nach Behandlung mit Roundup PowerFlex (Glyphosat).

Fig. 1 *Dose-response curves of the two perennial ryegrass biotypes WG 1 and sensitive LOLPE variety „Discus" treated with Roundup PowerFlex (glyphosate).*

Diskussion

Aus Vorversuchen ist bekannt, dass sensitive Herkünfte des Deutschen Weidelgrases mit einer Aufwandmenge von etwa 720 g Glyphosat/ha sicher kontrolliert werden können. Bei der geprüften Verdachtsherkunft WG 1 ist eine erheblich höhere Aufwandmenge erforderlich um eine deutliche Herbizidwirkung zu erzielen. Der Resistenzmechanismus muss noch durch zusätzliche Untersuchungen analysiert werden. Die Analyse der Herbizidhistorie des Schlages, von dem die Herkunft WG 1 stammt, zeigt, dass Glyphosat ab 2003 in den Baumzeilen eingesetzt wurde. Ab 2008 wurden meist zwei blattaktive Gräsermittel eingesetzt. Neben Glyphosat kam noch Glufosinat zum Einsatz.

In bestimmten Jahren (2010, 2013) war mit einer Glyphosat-Behandlung eine ausreichende Wirkung zu erzielen. Dafür sind unterschiedliche Ursachen vorstellbar. Witterungsbedingt könnte in der zweiten Jahreshälfte der beiden betreffenden Jahre der Auflauf des Weidelgrases in den Baumreihen verringert gewesen sein. 2017 waren sogar drei Glyphosat-Behandlungen in der

Vegetationsperiode erforderlich um eine akzeptable Wirkung auf das Deutsche Weidelgras zu erzielen.

An der Abfolge der Herbizidanwendungen wird deutlich, dass insbesondere in Dauerkulturen mehrere Wirkmechanismen verfügbar sein müssen, um eine Resistenzentwicklung aufzuhalten. In Dauerkulturen hat in dieser Hinsicht der Wegfall von Glufosinat sicherlich Vorschub geleistet. Momentan konzentriert sich die Unkrautbekämpfung in Dauerkulturen auf den letzten breit wirksamen, blattaktiven Wirkstoff Glyphosat. Daher ist mit einer weiteren Zunahme der Resistenzentwicklung zu rechnen. Durch Integration zusätzlicher, gräserwirksamer Wirkstoffe, wie beispielsweise Propyzamid, kann dieser Prozess zumindest bei den im Wirkungsspektrum enthaltenen Arten verlangsamt werden.

Tab. 5 Schlaghistorie der geprüften Weidelgrasherkunft WG 1.

Tab. 5 *Field history of the investigated perennial ryegrass population WG 1.*

Jahr	Maßnahme bzw. Herbizideinsatz (Aufwandmenge/ha)
2001	Pflanzung der Obstanlage (3,5 ha)
2003	Einsaat der Fahrwege: Deutsches Weidelgras (10 %), Rotschwingel, Wiesenrispe Jährlicher Glyphosateinsatz in der Baumzeile
….	
2008	Roundup Ultra 4,0 l Basta 5,0 l
2009	Roundup Ultra Max 3,0 l Basta 5,0 l
2010	Glyfos 4,0 l
2011	Clinic 4,0 l Clinic 4,0 l
2012	Glyfos 4,0 l Basta 5,0 l
2013	Glyfos 4,0 l
2014	Glyfos 4,0 l Kyleo 5,0 l
2015	Glyfos Supreme 3,0 l Basta 5,0 l
2016	Glyfos Supreme 3,0 l Glyfos Supreme 3,5 l
2017	Glyfos Classic 4,0 l Kyleo 5,0 l Roundup Rekord 2,5 kg
2018	Clinic 4,0 l Kerb flo. 5,0 l

Das Unkrautmanagement in Dauerkulturen ist durch den alleinigen Einsatz von Herbiziden mittel- und langfristig nicht nachhaltig zu gestalten, weil eine Resistenzentwicklung kaum zu vermeiden ist. Dafür sind kombinierte Verfahren erforderlich (Bodenabdeckung, Mechanik, Thermik), die den Selektionsdruck erheblich senken.

Literatur

AUGUSTIN, B., 2008: Erster Nachweis von Resistenz gegen ACCase-Inhibitoren bei Ackerfuchsschwanz in Rheinland-Pfalz. J. Plant Diseases and Protection **XXI**, 21-24.

AUGUSTIN, B., 2010: Windhalm-Herkunft aus Rheinland-Pfalz mit multipler Herbizidresistenz. Julius-Kühn-Archiv **428**, 271-272.

AUGUSTIN, B., H.J. MENNE, 2014: Herbizidresistenz von Flughaferherkünften aus Rheinland-Pfalz. Julius-Kühn-Archiv **443**, 320-323.

CLARKE, J.H., A.M. BLAIR, S.R. MOSS, 1994: The testing and classification of herbicide resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass). Aspects of Applied Biology **37**, 181-188.

ISTA, 2015: International Rules for Seed Testing 2015. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.

SAS® VISUAL ANALYTICS 7.2, 2015: User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 706 p.

SEEFELDT, S.S., J.E. JENSEN, E.P. FUERST, 1995: Log-Logistic Analysis of Herbicide Dose-Response Relationships. Weed Technology **9**, 218-227.

UNISTAT® LIMITED, 2015: SAS User's Guide, Version 6.5. London, UK, 1244 P.

Zur Frage der Bekämpfung von *Lolium* ssp. auf Resistenzstandorten – Untersuchungen der Bundesländer Hessen und Sachsen

On the issue of controlling Lolium ssp. at resistance sites – investigations of the federal states Hesse and Saxony

Dominik Dicke[1*], Ewa Meinlschmidt[2]

[1]Regierungspräsidium Gießen, Pflanzenschutzdienst Hessen, Schanzenfeldstraße 8, 35578 Wetzlar
[2]Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen
*Korrespondierender Autor, dominik.dicke@rpgi.hessen.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.052

Zusammenfassung

In den Bundesländern Sachsen und Hessen breitet sich seit einigen Jahren regional Weidelgras auf Ackerflächen aus, welches sich durch Herbzidmaßnahmen im Frühjahr nicht mehr bekämpfen lässt. Biotests zeigten bereits, dass die HRAC-Klassen A und B, mit Ausnahme des Wirkstoffs Foramsulfuron (HRAC B), nicht mehr wirksam waren. Daher wurden bekannte Genorte auf Mutationen untersucht, welche die ACCase sowie die ALS beeinflussen. Im Zeitraum 2016 - 2019 wurden darüber hinaus Feldversuche zur Bekämpfung von Weidelgras in Getreide und Mais durchgeführt. Ziel der Versuchsserie war es, die Leistungsfähigkeit von Herbiziden aus den HRAC-Gruppen A, B, C sowie F1, K1, K3 und N zu untersuchen. Durch Molekularanalyse konnten Mutationen nachgewiesen werden, welche die ALS sowie die ACCase beeinflussen. Die Feldversuche bestätigten die Ergebnisse der Resistenzuntersuchungen. In Mais zeigte das eingesetzte foramsulfuronhaltige Mittel eine gute Wirkung. Alle anderen blattaktiven Mittel der HRAC-Klassen A und B versagten. Die eingesetzten Bodenherbizide zeigten ebenfalls meist akzeptable Wirkungsgrade. Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum L.*) wird u.a. als Untersaat oder zu Futterzwecken angebaut. Aktuell werden zur Aufklärung der Ursachen verschiedene Saatgutherkünfte daraufhin getestet, ob diese bereits resistente Individuen beinhalten, welche bei falschem Herbizidmanagement herausselektiert werden und sich im Feld vermehren könnten. Aus den Untersuchungen sollen konkrete Beratungsempfehlungen abgeleitet werden.

Stichwörter: ALS und ACCase-Hemmer, Herbizidresistenz, Herbizidwirksamkeit, Mais, Wintergetreide

Abstract

In the federal states Saxony und Hesse, ryegrass has been spreading to arable land for a number of years, which in the past could no longer be effectivly controlled by herbicides. Biotests already showed that HRAC- classes A and B were no longer effective except for the active ingredient foramsulfurone (HRAC B). Known sites of gene locations were examined for mutations affecting ACCase and ALS. In the period from 2016 to 2019, field trials were conducted to control ryegrass in cereals and maize, in order to archieve herbicide efficacy of HRAC classes A, B, C, F1, K1, K3 and N. Molecular analysis revealed mutations influencing ALS and ACCase. Results from field trials confirmed results of the resistance investigations (biotests). In maize, the used formasulfuron-containing agent controlled ryegrass with high efficacies. All other leaf active herbicide agents of the HRAC class A and B failed. The soil herbicides used, showed mostly acceptable efficacies. Ryegrass is cultivated for fodder or as undersowing in crops like maize. Currently seed varieties of ryegrass are tested to determine wether they already contain resistant individuals, which can be selected out with wrong herbicide management and multiply in the field. From the investigations concrete advice recommendations are to be derived.

Keywords: ALS and ACCase inhibitors, herbicide resistance, herbicide efficacy, maize, winter cereals

Einleitung

Bundesweit verungrasen die Ackerflächen immer stärker und Beratungsanfragen von Landwirten zum Thema Ungrasregulierung nehmen zu. Beim Windhalm versagen auf Grund von Resistenzen oft Herbizide der HRAC-Klasse B, sodass Frühjahrsmaßnahmen mit Sulfonylharnstoffen oder Triazolpyrimidinen „ins Leere laufen" (Dicke et al., 2016). Bei Ackerfuchsschwanz sind vorwiegend die HRAC-Klassen A und B betroffen (Gehring et al., 2012). Gründe für die Ausbildung von Resistenzen sowie ackerbauliche und chemische Managementempfehlungen zur Regulierung von Ungräsern wurden in der Vergangenheit vielfach diskutiert (Zwerger und Eggers, 2004; Lutman et al., 2013; Vencil et al., 2014, Dicke et al., 2018). Neben Ackerfuchsschwanz, Windhalm und örtlich Trespen findet sich regional nun auch zunehmend schwer bekämpfbares meist Welsches Weidelgras in den

Feldern, was Beobachtungen aus der Schaderregerüberwachung zeigen. Welsches Weidelgras ist winterannuell. Die Halme werden 25 - 90 cm hoch. Es ist sehr schnellwüchsig, was seine starke Konkurrenzkraft erklärt. Aufgrund der engen Verwandtschaft verschiedener Arten innerhalb des Lolium-Festuca-Komplexes treten unter natürlichen Bedingungen eine Reihe auch gattungsübergreifender Bastarde auf (GERUWEIT und GHARADJEDAGHI, 2008). In mehreren Regionen Europas wurden in den letzten 26 Jahren verstärkt resistente Populationen nachgewiesen. In Frankreich sind vorwiegend Resistenzen gegenüber ACCase-Hemmern und ALS-Hemmern, aber auch gegen Flufenacet auffällig geworden (HEAP, 2019). Der erste Nachweis einer multiplen Resistenz bei *Lolium perenne L.* erfolgte 2008 in Deutschland gegenüber dem ACCase-Hemmer Pinoxaden sowie den ALS-Hemmern Pyroxsulam und Iodosulfuron (HEAP, 2019). 2014 gelang in Deutschland der erste Resistenznachweis bei *L. perenne* ssp. *multiflorum* gegenüber Flufenacet (PETERSEN et al., 2016). Auch wenn das Resistenzrisiko gegenüber Flufenacet als niedrig eingestuft wird, konnten Resistenzen in Weidelgras-Populationen in den nordwestlichen USA festgestellt werden (DÜCKER et al., 2016). Resistenzen gegenüber dem Wirkstoff Glyphosat sind bei *Lolium*-Arten weltweit bekannt (PRATLEY et al. 1999; PÉREZ und KOGAN, 2003, GRUYS et al. 1999). Eine Glyphosat-Resistenz wurde bei *L. perenne* in Portugal, bei *L. perenne* ssp. *multiflorum* in Spanien, Italien und der Schweiz sowie bei *L. rigidum* in Frankreich, Italien und Griechenland nachgewiesen (HEAP, 2019). Weltweit sind multiple Resistenzen bei *Lolium*-Arten festgestellt worden (OWEN et al., 2007). Der Freistaat Sachsen hat deutschlandweit mit rund 8.490 ha jährlich die größte Gräservermehrungsfläche in Deutschland. Den Hauptanteil im Jahr 2019 nehmen dabei die Weidelgräser mit über 6.211 ha ein. Durch den hohen Vermehrungsanteil und den Anbau von Weidelgräsern als Ackerfutter ergeben sich Probleme mit Durchwuchs von *Lolium* ssp. in anderen Kulturen. Auf Getreide-Praxisschlägen sind hohe Besatzdichten von über 300 Weidelgras-Ähren pro m^2 keine Seltenheit. Diese führen in eigenen Versuchen zu enormen Ertragseinbußen von im Durchschnitt 60 dt/ha im Vergleich zur unbehandelten Kontrollen (BÄR und MEINLSCHMIDT, 2010). Deswegen war die Durchwuchsbekämpfung von *Lolium multiflorum* in Winterweizen ein Thema einer Versuchsserie von 2006 – 2009. Alle geprüften Herbizide der HRAC-Klassen A und B erreichten Wirkungsgrade im Bereich 95 % (BÄR und MEINLSCHMIDT, 2010). Eine Entwicklung von Resistenzen bei Weidelgras hatte sich im Zeitraum 2006 - 2009 noch nicht abgezeichnet. In einigen Regionen Südhessens und Sachsens wurde in den letzten Jahren trotz erfolgter Behandlung mit Herbiziden aus den HRAC-Klassen A und B starker Besatz mit meist Welschem Weidelgras in Winterungen und Sommerungen beobachtet, d.h. die leistungsfähigen und gegen Weidelgras zugelassenen Herbizide zeigten kaum Wirkung. Örtlich war die Verungrasung so enorm, dass das Getreide nicht geerntet werden konnte und siliert werden musste. Gegen HRAC-Klasse A konnte auf betroffenen hessischen Standorten via molekulargenetischer Analyse eine Target-Site-Resistenz nachgewiesen werden (DICKE und BICKHARDT, 2018). Die Weidelgrasbekämpfung stellt Praktiker unter diesen Bedingungen vor schwer überwindbare Probleme. Lösungen müssen dringend erarbeitet werden. Neben den ackerbaulichen Maßnahmen ist der Herbizideinsatz nach wie vor einer der wichtigsten Bausteine in der Ungrasbekämpfung. Diese Untersuchung zielt darauf ab, für Resistenzstandorte mit hohem Weidelgrasbesatz funktionierende Bekämpfungsstrategien zu erarbeiten bzw. aus Versuchen abzuleiten.

Material und Methoden

Biotest und molekulargenetische Untersuchungen

In den Bundesländern Hessen und Sachsen wurden von den Pflanzenschutzdiensten seit 2015 Verdachtsproben von Weidelgras-Standorten mit Minderwirkungen u.a. gegenüber Herbiziden der Wirkstoffklassen A und B zunächst mit Biotests in Topfversuchen auf mögliche Minderwirkungen untersucht. Die Wirkstoffe bzw. Wirkstoffkombinationen Pinoxaden, Clodinafop + Pinoxaden, Propaquizafop, Cycloxydim, Clethodim sowie Iodosulfuron, Iodosulfuron + Mesosulfuron, Pyroxsulam + Florasulam, Rimsulfuron und Nicosulfuron waren von Resistenz betroffen. Viele Verdachtsproben zeigten multiple Resistenz und konnten durch Herbizide der HRAC-Klassen

A und B nicht mehr bekämpft werden. Daraufhin folgten molekulargenetische Analysen in zertifizierten Laboren der Firmen PlantaLyt und IDENTXX, um Gründe für die in den Biotests beobachteten Minderwirkungen auf Genom-Ebene zu finden. Für diese Analysen wurde Blattmaterial von Weidelgraspflanzen verwendet, die eine Herbizidbehandlung mit Herbiziden der HRAC-Klassen A und B überlebt hatten. Aus dem Blattmaterial wurde die DNA isoliert. Mittels PCR wurden dann aus der Gesamt-DNA kurze DNA-Fragmente des ALS-Gens sowie des ACCase-Gens vervielfältigt, welche die Informationen der polymorphen Positionen enthielten.

Feldversuche zur Herbizidwirksamkeit

Im Rahmen eines gemeinsamen Versuchsprogramms der Bundesländer Hessen und Sachsen sind in den Jahren von 2016 - 2019 verschiedene Herbizidbehandlungen in Wintergetreide, Mais und Zuckerrüben auf die Wirksamkeit gegenüber *Lolium* ssp. auf Resistenzstandorten geprüft worden. Die Feldversuche wurden in Streulage als randomisierte Blockanlage mit 2 bis 4 Wiederholungen und einer Parzellengröße von ca. 20 m^2 angelegt. Für die Versuche wurden Schläge mit erwarteter bzw. vorhandener bekämpfungswürdiger Verunkrautung ausgewählt. Der Einsatz der Herbizide erfolgte im Vorauflauf bzw. im frühen Nachauflauf der Kultur (BBCH 11-12) als Herbst- und/oder Frühjahrsbehandlung (bis BBCH 21). Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die geprüften Herbizidvarianten. Die Wirkungsgrade auf Weidelgras wurden anhand der jeweils kurz vor der Ernte erfolgten Zählung der Ähren/m^2 in behandelten Varianten und unbehandelter Kontrolle nach ABOTT (1925) berechnet oder im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle geschätzt.

Es wurden 3 Getreideversuche in Hessen und 8 Versuche in Sachsen, ein Maisversuch in Hessen und Sachsen sowie ein Zuckerrübenversuch in Sachsen ausgewertet.

Tab. 1 Auswahl der geprüften Herbizidvarianten gegen *Lolium* ssp.

Tab. 1 *Rates of herbicide used for the control of Lolium ssp.*

Herbizid bzw. Tankmischung	Aufwandmenge (l bzw. kg/ha)	Wirkstoffe (g/ha)	HRAC-Gruppe
Soloapplikation Nachauflauf Herbst			
Boxer	3,0	2400 Prosulfocarb	N
Herold SC	0,6	120 Diflufenican, 240 Flufenacet	F1, K3
Herold SC + Boxer	0,6 + 2,0	120 Diflufenican, 240 Flufenacet 1600 Prosulfocarb	F1, K3 N
Herold SC + Trinity	0,6 + 2,0	120 Diflufenican, 240 Flufenacet 600 Pendimethalin, 500 Chlortoluron, 80 Diflufenican	F1, K3 K1, C2, F1
Boxer + Pontos	2,5 + 1,0	2000 Prosulfocarb 240 Flufenacet, 100 Picolinafen	N K3, F1
Lentipur 700	3,0	2100 Chlortoluron	C2
Liberator Pro + Boxer	1,0 + 2,0	240 Flufenacet, 120 Diflufenican, 70 Metribuzin, 1600 Prosulfocarb	K3, F1, C, N
Carmina 640	3,5	2100 Chlortoluron, 140 Diflufenican	C2, F1
Carmina 640 + Cadou SC	1,5 + 0,5	900 Chlortoluron, 60 Diflufenican 250 Flufenacet	C2, F1 K3
Carmina 640 + Cadou SC	2,0 + 0,5	1200 Chlortoluron, 80 Diflufenican 250 Flufenacet	C2, F1 K3
Trinity	2,0	600 Pendimethalin, 500 Chlortoluron, 80 Diflufenican	K1, C2, F1
Fence	0,5	240 Flufenacet	K3
Trinity + Fence	2,0 + 0,4	600 Pendimethalin, 500 Chlortoluron, 80 Diflufenican, 192 Flufenacet	K1, C2, F1, K3
Jura	3,0	2001 Prosulfocarb, 42 Diflufenican	N, F1

Herbizid bzw. Tankmischung	Aufwandmenge (l bzw. kg/ha)	Wirkstoffe (g/ha)	HRAC-Gruppe
Soloapplikation Nachauflauf Herbst			
Liberator Pro	1,0	240 Flufenacet, 120 Diflufenican, 70 Metribuzin	K3, F1, C
Malibu	4,0	1200 Pendimethalin, 240 Flufenacet	K1, K3
Traxos	1,2	30 Pinoxaden, 30 Clodinafop,	A
Axial 50	1,2	60 Pinoxaden	A
Getreide: Soloapplikation Nachauflauf Frühjahr			
Axial 50	1,2	60 Pinoxaden	A
Traxos	1,2	30 Pinoxaden, 30 Clodinafop,	A
Sword	0,3	64 Clodinafop	A
Broadway + Broadway-Netzmittel	0,275 + 1,2	6 Florasulam, 19 Pyroxsulam	B
Atlantis WG + Biopower	0,3 -0,4 + 0,6-0,8	1,7 - 2,2 Iodosulfuron, 8,8 - 11,7 Mesosulfuron	B
Husar Plus + Mero	0,2 + 1,0	43 Mefenpyr, 9 Iodosulfuron, 1,5 Mesosulfuron	B
Atlantis OD	1,2	2 Iodosulfuron, 12 Mesosulfuron	B
Othello	2,0	100 Diflufenican, 15 Mesosulfuron, 5 Iodosulfuron	F1, B
Mais			
MaisTer power	1,5	45 Foramsulfuron, 1,3 Iodosulfuron, 15 Thiencarbazone	B
MaisTer power + Aspect	1,5 + 1,5	45 Foramsulfuron, 1,3 Iodosulfuron, 15 Thiencarbazone, 300 Flufenacet, 500 Terbuthylazin	B, K3, C1
Principal + Trend + Successor T	0,09 + 0,3 + 3,0	10 Rimsulfuron, 37 Nicosulfuron, 64 Terbuthylazin, 900 Pethoxamid	B, C1, K3
Spectrum Gold + Maran + Kelvin	2,0 + 0,8 + 0,8	560 Dimethenamid, 500 Terbuthylazin, 80 Mesotrione, 32 Nicosulfuron	K3, C1, F2, B
Motivell Forte	0,75	45 Nicosulfuron	B
Arigo + Trend + Spectrum Gold	0,33 + 0,3 + 2,0	119 Mesotrione, 40 Nicosulfuron, 10 Rimsulfuron, 560 Dimethenamid, 500 Terbuthylazin	F2, B, K3, C1
Laudis + Aspect	2,25 + 1,5	99 Tembotrione, 300 Flufenacet, 500 Terbuthylazin	F2, K3, C1
Cato + Trend	0,05 + 0,3	13 Rimsulfuron	B
Dual Gold + Calaris + Peak	1,5 + 1,25 + 0,02	1440 S-Metolachlor, 88 Mesotrione, 413 Terbuthylazin, 15 Prosulfuron	K3, F2, C1, B

Feldversuche zum Einfluss des Aussaattermins von Winterweizen auf den Auflauf von *L. multiflorum*

Auf nebeneinanderliegenden Winterweizenschlägen in Streulage wurden zwei Versuche mit unterschiedlichen Aussaatterminen angelegt. Die Frühaussaat erfolgte am 19.09.2018, die Spätaussaat am 20.10.2018. In beiden Versuchen wurden im Herbst die gleichen Herbizidbehandlungen gegen resistentes Weidelgras geprüft.

Ergebnisse

Molekulargenetische Analyse

Die folgenden Tabellen zeigen Ergebnisse der molekulargenetischen Untersuchungen aus Hessen und Sachsen. Mutationen, welche Ursache der Resistenz sein können, sind fett hervorgehoben.

Tab. 2 Ergebnisse der molekulargenetischen Analyse in Hessen.

Tab. 2 *Results of molecular genetic analysis in Hesse.*

	ALS-Zielortresistenz			ACCase-Zielortresistenz				
Probe	**Pro-197**	**Asp-376**	**Trp-574**	**Ile-1781**	**Trp-2027**	**Ile-2041**	**Asp-2078**	**Gly-2096**
Hessen; Analyse 2016								
1	CCG	GAY	TGG	ATA	**TG-G/T (Trp/Cys)**	**AAT (Asn)**	GAT	GGG
2	CCG	GAC	TGG	ATA	TGG	**AAT (Asn)**	GAT	GGG
3	CCG	GAC	TGG	ATA	TGG	**AAT (Asn)**	GAT	GGG
4	CCG	GAY	TGG	ATA	TGG	**A-T/A-T (Ile/Asn)**	**G-A/G-T (Asp/Gly)**	GGG
5	CCG	GAC	TGG	ATA	TGG	**AAT (Asn)**	GAT	GGG
6	CCG	GAC	TGG	ATA	TGG	**A-T/A-T (Ile/Asn)**	**G-A/G-T (Asp/Gly)**	GGG
7	CCG	GAC	TGG	ATA	TGG	**AAT (Asn)**	GAT	GGG
8	CCG	GAC	TGG	ATA	TGG	**AAT (Asn)**	GAT	GGG
9	CCG	GAC	TGG	ATA	TGG	**A-T/A-T (Ile/Asn)**	**G-A/G-T (Asp/Gly)**	GGG
10	CCG	GAT	TGG	ATA	TGG	**A-T/A-T (Ile/Asn)**	GAT	GGG

Fett gedruckt: Mutationen, welche Ursache für die Resistenz sein können.

Tabelle 2 zeigt, dass die hessischen Weidelgrasproben Mutationen an drei Positionen aufweisen, welche die ACCase beinflussen - der Beweis für eine Target-Site Resistenz. An den getesteten Positionen der ALS wurden keine Mutationen festgestellt. Da jedoch Herbizide aus der HRAC-Klasse B in den Feldern und in Biotests ebenfalls kaum Wirkung zeigten, ist davon auszugehen, dass entweder eine stark ausgeprägte metabolische Resistenz gegenüber den Wirkstoffen der HRAC-Klasse B vorliegt, oder Mutationen an Positionen vorliegen, die in der Untersuchung nicht berücksichtigt wurden. Bei den sächsischen Herkünften (Tab. 3) traten Mutationen gegenüber ACCase-Hemmern an den drei Positionen Ile1781, Ile-2041 und Asp-2078 auf. Ebenfalls schlechte Wirkungsgrade bei Herbiziden der Wirkstoffklasse B im Feld und in Biotests lassen metabolische Resistenz vermuten. Bei einem Biotyp wurde anhand der Mutation (siehe Tab. 3) Target-Site-Resistenz gegen ALS-Inhibitoren nachgewiesen.

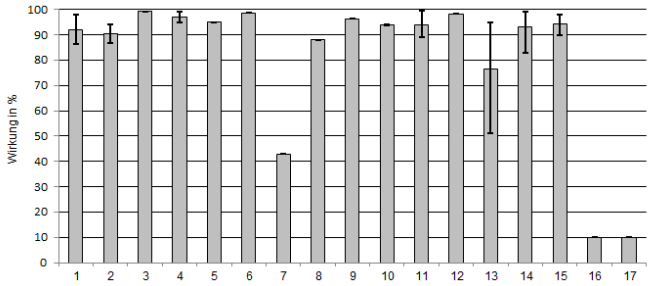
Feldversuche zur Herbizidwirksamkeit

In den unbehandelten Kontrollen der Versuche im Wintergetreide schwankte der Besatz mit *Lolium* von 17 bis 367 Ähren/m^2. Der durchschnittliche Besatz betrug 148 Ähren/m^2. Abbildung 1 beschreibt die Wirksamkeiten verschiedener Wirkstoffkombinationen nach der Herbstapplikation. Im Vergleich der untersuchten Varianten wurden mit 240 g/ha Flufenacet Wirkungsgrade von ca. 90 % gegen resistentes Weidelgras erreicht. Durch den Zusatz von 1600 g/ha Prosulfocarb zu 240 g/ha Flufenacet konnte die Wirkung auf 97 % gesteigert werden. Die Flufenacet-freien Herbizide Boxer und Jura erreichten Wirkungsgrade von über 90 %. Die Chlortoluron-haltige Herbizide, appliziert solo oder in Tankmischung mit Flufenacet (Carmina 640 + 0,5 Cadou SC), erzielten die Bekämpfungsleistungen von 93 %. Die Wirkstoffkombination Flufenacet + Metribuzin + Diflufenican (Liberator Pro) erreichten Wirkungen von 95 %.

Tab. 3 Ergebnisse der molekulargenetischen Analyse in Sachsen.

Tab. 3 *Results of moleculargenetic analysis in Saxony.*

	ALS-Zielortresistenz			ACCase-Zielortresistenz				
Probe	**Pro-197**	**Asp-376**	**Trp-574**	**Ile-1781**	**Trp-2027**	**Ile-2041**	**Asp-2078**	**Gly-2096**
Sachsen; Analyse 2016								
1	CCG	GAY	TGG	**A/T-TA (Ile/Leu)**	TGG	**A-T/A-T (Ile/Asn)**	GAT	GGG
2	CCG	GAY	TGG	ATA	TGG	**A-T/A-T (Ile/Asn)**	GAT	GGG
3	CCG	GAY	TGG	ATA	TGG	**A-T/A-T (Ile/Asn)**	**G-A/G-T (Asp/Gly)**	GGG
4	CCG	GAY	TGG	ATA	TGG	**A-T/A-T (Ile/Asn)**	**G-A/G-T (Asp/Gly)**	GGG
5	CCG	GAY	TGG	ATA	TGG	**A-T/A-T (Ile/Asn)**	GAT	GGG
6	CCG	GAY	TGG	ATA	TGG	**A-T/A-T (Ile/Asn)**	**G-A/G-T (Asp/Gly)**	GGG
Sachsen; Analyse 2017								
1	CCG	GAY	TGG	ATA	TGG	ATT	**G-A/G-T (Asp/Gly)**	GGG
2	**C-C/A-G (Pro/His)**	GAY	**T-G/T-G (Trp/Leu)**	**TTA (Leu)**	TGG	ATT	GAT	GGG
3	CCG	GAY	TGG	ATA	TGG	ATT	GAT	GGG
Sachsen; Analyse 2018								
1	CCG	GAY	TGG	ATA	TGG	ATT	**GGT (Gly)**	GGG
2	CCG	GAY	TGG	ATA	TGG	ATT	**G-A/G-T (Asp/Gly)**	GGG
3	CCG	GAY	TGG	ATA	TGG	ATT	**G-A/G-T (Asp/Gly)**	GGG

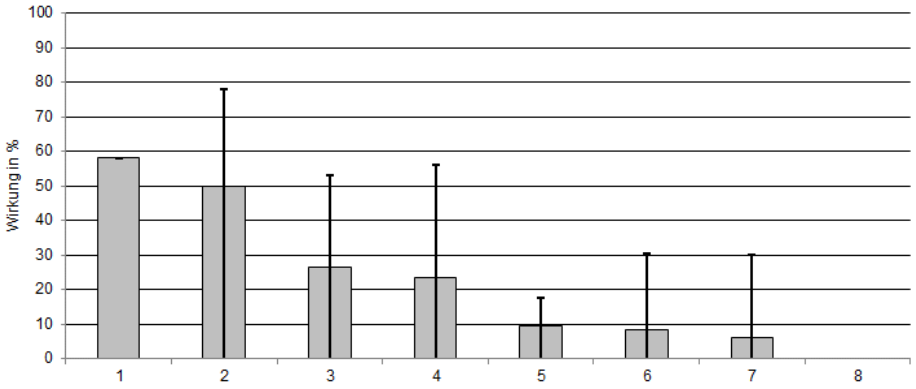


Fett gedruckt: *Mutationen, welche Ursache für die Resistenz sein können.*

1 Herold SC 0,6	n = 4	10 Jura 3,0	n = 1
2 Boxer 3,0	n = 2	11 Liberator Pro 1,0	n = 5
3 Herold SC + Boxer 0,5 + 2,0	n = 1	12 Malibu 4,0	n = 1
4 Herold SC + Boxer 0,6 + 2,0	n = 3	13 Lentipur 700 3,0	n = 5
5 Herold SC + Trinity 0,6 + 2,0	n = 1	14 Carmina 640 3,5	n = 5
6 Boxer + Pontos 2,5 + 1,0	n = 1	15 Carmina 640 + Cadou SC 1,5 + 0,5	n = 4
7 Trinity 2,0	n = 1	16 Traxos 1,2	n = 1
8 Fence 0,5	n = 1	17 Axial 50 1,2	n = 1
9 Trinity + Fence 2,0 + 0,4	n = 1		

Abb. 1 Wirkung (%) von Einmalapplikation der Herbizide der HRAC-Gruppen C2, F1, K1, K3, N und A im Herbst gegen *Lolium* ssp. in Getreide, Aufwandmengen der Herbizide in l bzw. kg/ha, n = Anzahl der Ergebnisse.

Fig. 1 *Efficacy (%) of herbicides of HRAC-Groups C2, F1, K1, K3, N and A for single autumn application against Lolium ssp in cereals, herbicide use rates in l or kg/ha, n = no. of values.*

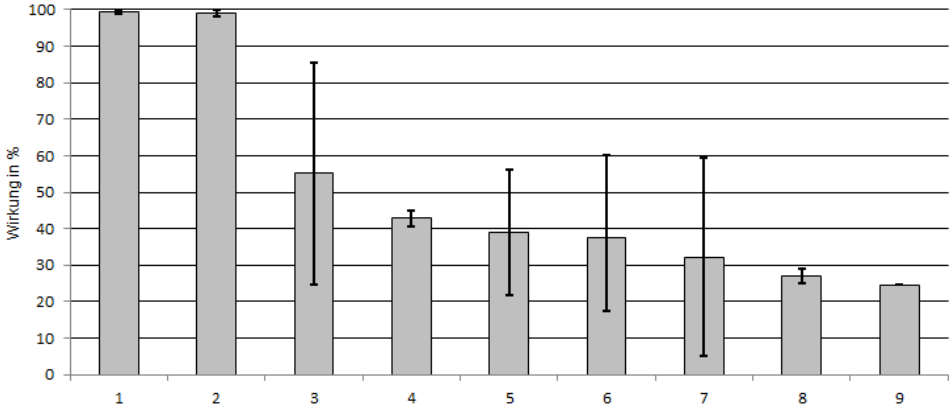


1 Atlantis OD 1,2	n = 1	5 Traxos 1,2	n = 5
2 Othello 2,0	n = 4	6 Broadway + BNM 0,275 + 1,2	n = 5
3 Atlantis WG + Biopower 0,3-0,4 + 0,6-0,8	n = 2	7 Axial 50 1,2	n = 6
4 Husar Plus + Mero 0,2 + 1,0	n = 3	8 Sword 0,3	n = 1

Abb. 2 Wirkung der Frühjahrsapplikation der Herbizide der HRAC-Gruppen A und B gegen *Lolium* ssp. in Winterweizen, Aufwandmengen der Herbizide in l bzw. kg/ha, n = Anzahl der Ergebnisse.

Fig. 2 *Efficacy (%) of herbicides of HRAC-Groups A and B for spring application against Lolium ssp, herbicide use rates in l or kg/ha, n = no. of values.*

Die Frühjahrsbehandlungen der Herbizide der HRAC-Gruppen A und B im Winterweizen wirkten überhaupt nicht oder nicht ausreichend auf resistentes Weidelgras (Abb. 2).



1 MaisTer power 1,5	n = 2	6 Arigo + Trend + Spectrum Gold 0,33 + 0,3 + 2,0	n = 3
2 MaisTer power + Aspect 1,5 + 1,5	n = 3	7 Laudis + Aspect 2,25 + 1,5	n = 2
3 Principal + Trend + Successor T 0,09 + 0,3 + 3,0	n = 3	8 Cato + Trend 50 g + 0,3	n = 2
4 Spectrum Gold + Maran + Kelvin 2,0 + 0,8 + 0,8	n = 2	9 Dual Gold + Calaris + Peak 1,5 + 1,25 + 20 g	n = 1
5 Motivell Forte 0,75	n = 2		

Abb. 3 Wirkung der Applikation der Herbizide gegen *Lolium* ssp. in Mais, Aufwandmengen der Herbizide in l bzw. kg/ha, n = Anzahl der Ergebnisse.

Fig. 3 *Efficacy (%) of herbicides application against Lolium ssp in maize, herbicide use rates in l or kg/ha, n = no. of values.*

Abbildung 3 zeigt die Wirkungen von Herbiziden gegen resistentes Weidelgras im Fruchtfolgeglied Mais. Nur der Wirkstoff Foramsulfuron (MaisTer power) erreichte einen sehr guten Bekämpfungserfolg. Im sächsischen Versuch in Zuckerrüben erzielten die Herbizide der HRAC Gruppe A 2,5 l/ha Focus Ultra (Cycloxydim), 1,0 l/ha Fusilade Max (Fluazifop-P) und 1,0 l/ha Agil S (Propaquizafop) Wirkungen von 45 %, 17 % und 0 %.

Wirkung pflanzenbaulicher Maßnahmen

Abbildung 4 zeigt den Einfluss unterschiedlicher Saattermine auf den Auflauf von Weidelgras in Winterweizen und auf die Wirksamkeit der Herbizidbehandlungen. Es wird deutlich, dass die frühere Saat zu einer höheren Verungrasung mit Weidelgras führt. Der *Lolium*-Deckungsgrad in der unbehandelten Kontrolle ca. einen Monat nach der Weizenaussaat lag bei der früheren Aussaat 2,0 %, bei der späteren Aussaat 0,3 %. Die im Versuch „Frühsaat" vier Wochen nach der Herbstbehandlung lagen die geschätzten Wirkungsgrade bei allen geprüften Varianten im Bereich 50 – 60 %. Im Versuch „Spätsaat" lagen die Wirkungsgrade nahe 100 %. In den unbehandelten Kontrollen bei der Frühaussaat wurden 386 Weidelgrasähren/m^2, bei der Spätaussaat 55 Ähren/m^2 ermittelt. Die Nachbehandlungen im Frühjahr mit den Herbiziden aus den HRAC-Klassen A und B brachten bei früherer Aussaat keine Wirkungssteigerung. Bei der Spätaussaat wurde auf die Nachbehandlung verzichtet.

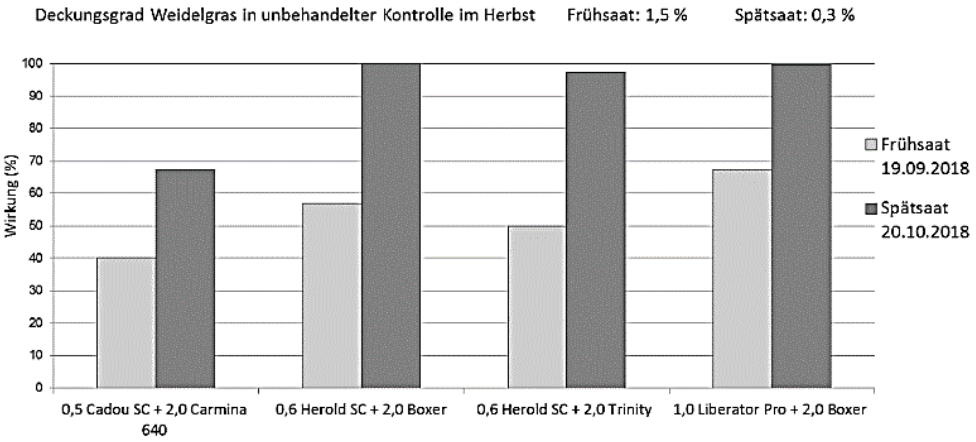


Abb. 4 Einfluss des Saattermins von Winterweizen auf die Dichte aufgelaufener *Lolium*-Pflanzen in unbehandelten Kontrollen (DG in %) und auf die Wirksamkeit der Herbizidbehandlungen (WG in %), Winterweizen, 2019.

Fig. 4 *Impact of sowing date of winter wheat on density of Lolium-plants in untreated controls (cover of Lolium in %) and on herbicide efficacy (%), field trials 2019.*

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen eindrücklich, dass das resistente Weidelgras im Herbst bekämpft werden muss, da im Frühjahr keine wirksamen Lösungen mehr zur Verfügung stehen. Gut wirksame Bodenherbizide (siehe Abb. 1) sind in den meisten Wintergetreidearten (Produktbeschreibung beachten) zur Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz bzw. Windhalm zugelassen. Viele dieser Präparate haben jedoch keine ausgewiesene Indikation gegen Weidelgras. Treten auf dem Feld die in der Indikation der jeweiligen Mittel gelisteten Ungräser auf und zusätzlich das Weidelgras, sollten oben aufgeführte wirksame Lösungen dann bevorzugt eingesetzt werden, sodass das Weidelgras miterfasst wird. Reguläre Indikationszulassungen speziell gegen Weidelgras wären wünschenswert. Als ackerbauliche Maßnahme kann die Spätsaat helfen, Wirkungsgrade zu erhöhen bzw. den Ungrasdruck von vorne herein zu reduzieren, wie aus der Abbildung 4 hervorgeht. Die in eigenen Versuchen erzielten vergleichsweise geringen Wirkungsgrade der früh eingesetzten

Bodenherbizide könnten ggf. auch auf die trockenen Witterungsbedingungen im Herbst 2018 zurückgeführt werden.

Im Mais sollte auf Resistenzstandorten ein Foramsulfuron-haltiges Mittel wie MaisTer power zum Einsatz kommen, jedoch mit einem wirksamen Bodenpartner. Obwohl z.B. MaisTer power das resistente Weidelgras aktuell auch solo noch sehr gut bekämpft, ist die Zumischung eines wirksamen Bodenpartners, z.B. das Flufenacet-haltige Mittel Aspect empfehlenswert, da die Bekämpfungsleistung ansonsten allein von Wirkstoffen der HRAC-Klasse B erbracht wird. Dies wäre aus Gründen des Resistenzmanagements ungünstig. Sofern neu zugelassene Flufenacet-haltige Mittel zukünftig auf Grund von strengeren Auflagen nicht mehr jedes Jahr auf derselben Fläche eingesetzt werden dürfen, ist zu überlegen, in welcher Kultur innerhalb der Fruchtfolge dann ein „Flufenacet" eingesetzt wird. In Weidelgras-Resistenzgebieten wird die Wahl auf Wintergetreide fallen müssen, da in diesen Kulturen hier keine blattwirksamen Alternativen zur Verfügung stehen. Das bedeutet, im Mais müsste dann ein anderer gut wirksamer Bodenpartner dem Foramsulfuron-haltigen Herbizid zugemischt werden. Hier gilt es, Lösungen zu erarbeiten. Die Weidelgrasbekämpfung sollte über die gesamte Fruchtfolge erfolgen. Im Fruchtfolgeglied Raps sind resistente Weidelgrasbiotypen mit dem Wirkstoff aus der HRAC-Gruppe K Propyzamid (Kerb flo, Milestone) gut bekämpfbar. Im Rahmen einer Behandlung gegen Ackerfuchsschwanz, Gemeinen Windhalm, Einjähriges Rispengras, Trespenarten oder Vogelmiere werden Weidelgräser miterfasst.

Weidelgras wird durch Mähdrescher in Felder verschleppt, die dort wirken, wie Unkrautsämaschinen. Daher muss zukünftig gut darauf geachtet werden, dass die Mähdrescher sauber sind, sobald sie in das nächste Feld einfahren. Sofern innerhalb der Getreidefelder vor der Ernte abgrenzbare Nester mit Weidelgras auftreten, sollten diese konsequent herausgemulcht werden, um eine Verteilung des Samens via Mähdrescher zu verhindern. Das gilt übrigens auch für Ackerfuchsschwanz-, Windhalm- und Trespennester. Auch die Verwendung von nicht gründlich gereinigtem Saatgut, welches aus verseuchten Flächen stammt, trägt zur Ausbreitung bei. Es stellt sich die Frage nach der Ursache für das Auftreten des resistenten Weidelgrases, welches regional auch in anderen Bundesländern beobachtet wird (KRATO et al., 2016). Weidelgras wird u.a. als Untersaat oder zu Futterzwecken angebaut. Außerdem wird es in verschiedenen Regionen von Züchtern vermehrt. Derzeit werden verschiedene Saatgutherkünfte daraufhin getestet, ob diese bereits resistente Individuen beinhalten, welche bei falschem Herbizidmanagement über die Jahre ggf. herausselektiert werden und sich im Feld vermehren könnten. Freilandversuche des Jahres 2018 mit verschiedenen Saatgutherkünften konnten diesen Verdacht nicht bestätigen. Aktuell werden Gewächshaustests mit weiteren Herkünften durchgeführt, um weitere Erkenntnisse zu gewinnen und Managementempfehlungen optimieren zu können. Der Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel aus unterschiedlicher HRAC-Klassen kann jedoch nur ein Baustein eines erfolgreichen Unkrautmanagements zur Resistenzvorbeugung bzw. Verzögerung sein (VENCILL et al., 2014). Ackerbauliche vorbeugende Maßnahmen, wie weitere Fruchtfolge, intensive Bodenbearbeitung u. a., Pflugeinsatz auf nicht erosionsgefährdeten Flächen, spätere Saattermine bei Wintergetreide, eine gute Bestandesführung sowie Feldrandhygiene müssen in das Anti-Resistenzmanagement mit einbezogen werden.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Thomas Bickhardt, Malte Luh und Thorsten Mörschel für die Unterstützung bei Auswahl der Versuchsstandorte und Anlage der Freiland- und Gewächshausversuche in Hessen. Weiterhin bedanken wir uns bei René Pfüller und Mario Schindler für die Unterstützung bei der Auswahl der Versuchsstandorte, für die Durchführung der Versuche und die Probenahme für die Resistenzuntersuchungen in Sachsen sowie bei Monique Ullrich für die Durchführung des Versuches, die Anfertigung der Datenbank und die Unterstützung bei der Versuchsauswertung.

Literatur

ABOTT, W. S., 1925: A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology **18**, 265-267.

BÄR, H., E. MEINLSCHMIDT, 2010: Bekämpfung von Welschem Weidelgras (*Lolium multiflorum*)-Durchwuchs in Winterweizen mit herbiziden Wirkstoffen zu unterschiedlichen Applikationsterminen. Julius-Kühn-Archiv **428**, 477.

GRUYS, K.J., N.A. BIEST-TAYLOR, P.C.C. FENG, S.R. BEARSON et al., 1999: Resistance to glyphosate in annual ryegrass (*Lolium rigidum*) II. Biochemical and molecular analysis. Weed Science of America, Abstracts **39**, 163.

HEAP, I.M., 2019: International Survey of Herbicide Resistant Weeds. www.weedscience.org. Last Accessed Oktober 29, 2019.

DICKE, D., C. HENSCHKE, J. PETERSEN, 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.

DICKE, D., C. HENSCHKE, A. BÜCHSE, 2018: Simulation zukünftig zu erwartender Wirkungsgrade von Herbiziden der HRAC-Klasse B gegenüber Windhalm in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsparametern. Julius-Kühn-Archiv **458**, 99-105.

DICKE, D., T. BICKHARDT, 2018: Trends im Pflanzenschutz: Welsches Weidelgras-ein hartnäckiges Ungras? topagrar **11/2018**.

DÜCKER, R., LORENTZ, L., HULL, R., ANDERSON, M., MOOS, S., R. BEFFA, 2016: Discovering the mechanism of enhanced metabolism in flufenacet resistant grass weeds. Julius-Kühn-Archiv **452**, 35-41.

GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT, 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.

GERUWEIT, U., B. GHARADJEDAGHI 2008: Biologische Basisdaten zu *Lolium perenne, Lolium multiflorum, Festuca pratensis* und *Trifolium repens*. GFN - Gesellschaft für Freilandökologie und Naturschutzplanung mbH, Bayreuth. Texte 08/02.

LUTMAN P. J. W., S.R. MOSS, S. COOK, S. J. WELHAM, 2013: A review of the effects of crop agronomy on the management of *Alopecurus myosuroides*. Weed Research **53**, 299-313.

KRATO, C., J. SCHMITT, J. PETERSEN, 2016: Jetzt auch noch Weidelgras – Herbizidresistenz auf dem Vormarsch. DLG-Mitteilungen **9**, 47-48.

MEINLSCHMIDT, E., C. TÜMMLER, 2015: Das Prinzip der Vorbeugung. DLG Mitteilungen 9, 50-53.

OWEN, M.J., WALSH M.J., LLEWELLYN R.S., POWLES S.B., 2007: Widespread occurrence of multiple herbicide resistance in annual ryegrass (*Lolium rigidum*) populations within the Western Australian wheat belt. Australian Journal of Agricultural Research **58**, 711-718.

PÉREZ, A., M. KOGAN, 2003: Glyphosate resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards. Weed Research **43**, 12-19.

PETERSEN, J., F. BEST, H. RAFFEL, 2016: Herbicide resistance in German and Swiss *Lolium* ssp. populations – resistence factors and cross-resistance spectrum. Julius-Kühn-Archiv **452**, 27-34.

PRATLEY, J., N. URWIN, R. STANTON, P. BAINES, J. BROSTER, K. CULLIS, D. SCHAFER, J. BOHN, J. KRUEGER, 1999: Resistance to glyphosate in *Lolium rigidum*, I. Bioevaluation, Weed Science **47**, 405.

VENCILL, W., R. L. NICHOLS, T. WEBSTER, S. MOSS, 2014: Framework for an expert evaluation for the evolution of weed resistance. Julius-Kühn-Archiv **443**, 45-51.

ZWERGER, P., T. EGGERS, 2004: Populationsdynamik von Unkräutern – Grundlage für die Entwicklung von Managementstrategien. Vielfalt – Ideen – Fortschrift. Weed Science on the Go. Wissenschaftliches Kolloquium aus Anlass der Verabschiedung von Prof. Dr. Karl Hurle, 33-42.

Dosis-Wirkungs-Versuche mit *Apera spica-venti* (L.) in Mecklenburg-Vorpommern

Dose-response experiments with Apera spica-venti *(L.) in Mecklenburg-Vorpommern*

Sabine Andert*, Friederike de Mol, Jan Jochmann, Bärbel Gerowitt

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur Phytomedizin, Universität Rostock, 18051 Rostock
*Korrespondierende Autorin, sabine.andert@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.053

Zusammenfassung

Der Gemeine Windhalm *Apera spica-venti (L.)* hat sich in den zurückliegenden Jahrzehnten zu einem der wichtigsten Ungräser in Europa entwickelt. Europaweit sind für Windhalm jedoch zunehmende Resistenzfälle besonders gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren bekannt.

Die vorliegenden Dosis-Wirkungs-Versuche zielen darauf ab die Wirksamkeit ausgewählter Herbizide gegenüber dem Gemeinen Windhalm in Mecklenburg-Vorpommern zu quantifizieren und Dosis-Wirkungs-Beziehungen zu prüfen. Zu diesem Zweck wurde im Frühjahr 2019 ein Biotest mit 19 Windhalmpopulationen von Feldern in Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt. Unter standardisierten Gewächshausbedingungen wurde die Wirkung der vier Herbizide Axial 50®, Herold SC®, Broadway® und Husar Plus® auf die 19 Populationen getestet.

Für die 19 Windhalmpopulationen wurden für die Herbizide Axial 50®, Broadway® und Husar® Wirkungen >95 % ermittelt. Für Herold SC® wurden hingegen unter den getesteten Populationen anhand der mittleren Wirkung bei voller Aufwandmenge Wirkungsschwächen nachgewiesen. Die ED_{50}-Werte variieren zwischen den Herbiziden Axial 50®, Broadway®, Husar Plus® und Herold SC®. Der höhere mittlere ED50-Wert, der für Herold SC® ermittelt wurde, deutet darauf hin, dass nur bei maximaler Dosis ausreichende Wirkung gegenüber dem Gemeinen Windhalm besteht.

Stichwörter: ALS-Hemmer, Gemeiner Windhalm, Herbizid, Resistenz

Abstract

Apera spica-venti (L.) is one of the most abundant grass weeds in Europe. Throughout Europe, however, increasing cases of weed resistance to herbicides from ALS inhibitors are known.

This dose-response experiment aims to quantify the efficacy of selected herbicides to control loose silky bent grass in Mecklenburg-Vorpommern. Dose-response relationships will be examined. For this purpose, a biotest with 19 populations from fields in Mecklenburg-Vorpommern was carried out in spring 2019. Under standardized greenhouse conditions, the effect of the four herbicides Axial 50®, Herold SC®, Broadway® and Husar Plus® on the 19 populations was tested.

The herbicides Axial 50®, Broadway® and Husar® were shown to be more than 95% effective in the 19 populations. For Herold SC®, less efficiency was detected among the tested populations. The ED50 values vary between the herbicides Axial 50®, Broadway®, Husar Plus® and Herold SC®. Differences are particularly prominent when considering the ED50 values calculated as percentage of the registered application rate. The higher mean ED50 value estimated for Herold SC® indicates that farmers should not reduce the dose with this product.

Keywords: ALS inhibitor, herbicide, loose silky bent grass, resistance

Einleitung

Der Gemeine Windhalm *Apera spica-venti (L.)* tritt im Wintergetreideanbau in Nord-, Mittel und Osteuropa auf sandigen bis leicht lehmigen Böden auf (Schröder et al., 1993; Andreasen und Stryhn, 2008, 2012). Getreidereiche Fruchtfolgen in reduzierten Bodenbearbeitungsregimen fördern das Auftreten des einjährigen Ungrases (Melander et al., 2008; Tschuy und Wirth, 2015). Der Hauptauflaufzeitraum von *A. spica-venti* erstreckt sich vom Spätsommer bis in den Winter hinein (Anderson und Åkerblom Espeby, 2009). Die starke Bestockungsleistung, verbunden mit hohem Längenwachstum, bewirken große Konkurrenzkraft in Wintergetreidebeständen (Niemann und Zwerger, 2006).

In Mecklenburg-Vorpommern betrug im Jahr 2018 der Anteil Ackerflächen mit Wintergetreide 46 % (Statistisches Amt Mecklenburg-Vorpommern, 2018). Für die Vermeidung von hohen Ertrags- und Qualitätsverlusten ist eine effektive Bekämpfung im Wintergetreideanbau wichtig.

In Nord-, Mittel und Osteuropa wurden in den zurückliegenden Jahren jedoch resistente Populationen von Windhalm gegen ACCase-, ALS- und PSII-Inhibitoren nachgewiesen (HEAP, 2019). In Deutschland sind für Windhalm zunehmende Resistenzfälle besonders gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren bekannt (AUGUSTIN, 2010; GEHRING et al., 2010; DICKE et al. 2016). SCHRÖDER et al. (2010) bestätigen auch für die Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen Windhalmresistenzen gegenüber ACCase- und ALS-Inhibitoren.

Dosis-Wirkungs-Versuche mit ausgewählten Herbiziden prüfen die Wirksamkeit gegenüber dem Gemeinen Windhalm in Mecklenburg-Vorpommern. MASSA et al. (2013) weisen auf *A. spica-venti*-Resistenzfälle hin. SCHULZ et al. (2014) belegen hingegen eine hohe Sensitivität des Gemeinen Windhalms gegenüber ACCase-, ALS- und PSII-Inhibitoren. In diesem Beitrag werden Dosis-Wirkungs-Kurven modelliert, die helfen, die Wirksamkeit zu quantifizieren.

Material und Methoden

Probenahme- und -aufbereitung

Die Samen wurden aus Windhalmrispen gewonnen, die vor der Ernte 2018 auf Winterweizen-Praxisflächen gesammelt wurden. Es wurden 19 Windhalmpopulationen zusammengetragen. Die Samen wurden anschließend in perforierten Plastiktüten bei trockenen Bedingungen gelagert. Vor der Aussaat im Januar 2019 wurden die Samen für zwei Wochen in einer Klimakammer bei 4°C gelagert, um einen Kältereiz zu setzen.

Ausgesät wurden die Windhalmsamen in 8 x 8 cm Pflanztöpfen. Das Bodensubstrat setzte sich zu 50 % aus Ackerboden (lehmiger Sand, Ackerzahl 45), 25 % Kompost und 25 % Pflanzerde zusammen. Die Temperatur im Gewächshaus betrug tagsüber 12 °C und nachts 10 °C. In jedem Pflanztopf wurde auf fünf Einzelpflanzen vereinzelt.

Versuchsdurchführung

Unter standardisierten Gewächshausbedingungen wurde die Wirkung der vier Herbizide Axial 50®, Herold SC®, Broadway® und Husar Plus® auf die 19 Populationen getestet (Tab. 1). Die Biotests wurden je geprüfter Herkunft und Herbizid mit sechs Konzentrationen plus unbehandelter Kontrolle durchgeführt - ausgehend von der maximal zugelassenen Aufwandmenge bis zu 1/32 Aufwandmenge. Jede Herkunft-/Herbizid-/Dosis-Kombination wurde vierfach wiederholt, mit Ausnahme von drei Herkünften, die aufgrund fehlenden Pflanzenmaterials, dreifach wiederholt wurden. Die Windhalmpflanzen befanden sich zum Zeitpunkt der Applikation überwiegend im 2-Blattstadium, einzelne Pflanzen im Übergang zur Bestockung.

Die Applikation erfolgte in einer stationären Anlage mit Flachstrahldüse (Lechler, Düsengröße 01) und einem Druck von vier Bar. Im Anschluss an die Applikation standen die Windhalmpflanzen tagsüber bei 14 °C und nachts bei 12 °C, alle drei Tage wurden die Töpfe zufällig neu auf den Gewächshaustischen verteilt, um eine gleichmäßige Versorgung mit Licht und Wärme sicherzustellen.

Bonitur

Die Bewertung der Dosis-Wirkung erfolgte durch Berechnung des Wirkungsgrades pro Topf aller Herkunft-/Herbizid-/Dosis-Kombinationen. 100-%ige Wirkung entspricht der vollständigen Reduktion von Pflanzenmaterial im Topf.

Für die Biomassebonitur der Frischmasse wurde das oberirdische Pflanzenmaterial je Pflanztopf geerntet. Die Ernte erfolgte 29- 31 Tage nach der Applikation.

Tab. 1 Eingesetzte Herbizide, Wirkstoffe und deren HRAC-Gruppe, Wirkstoffgehalt (g/l, g/kg) sowie zugelassene Aufwandmenge (l/ha, kg/ha).

Tab. 1 *Treatment herbicides and their active ingredients, HRAC group, active ingredient content (g/L or g/kg) and dose rate (L/ha or kg/ha).*

Herbizide	HRAC-Klasse	Wirkstoffe	Wirkstoffgehalt (g/l oder g/kg)	Aufwandmenge (l/ha oder kg/ha)
Unbehandelte Kontrolle				
Axial 50®	A	Pinoxaden	50,0	0,9
Broadway® +	B	Florasulam	22,8	0,13+
Netzmittel		Pyroxsulam	68,3	
		Cloquintocet-Mexyl	68,3	0,6
Herold SC®	F1/K3	Diflufenican	200,0	0,4
		Flufenacet	400,0	
Husar Plus®	B	Iodosulfuron	46,6	0,2
		Mesosulfuron	7,26	
		Mefenpyr	212,5	

Statistische Analyse

Dosis-Wirkungskurven wurden mit dem vier-parametrischen log-logistischen Modell angepasst.

$$Frischmasse = c + \frac{d-c}{1+\exp\left(b(\log(x)-\log(e))\right)} \quad (1)$$

Dabei sind d und c die obere und untere Asymptote der Kurve, und b beschreibt die Steigung. e liegt im Wendepunkt der Kurve und gibt die Aufwandmenge an, die zu einer 50%igen Reduzierung der Frischmasse führt (rel. ED50-Wert). Für Rechnungen und Grafiken wurde das Paket drc des Statistikprogramms R genutzt (RITZ und STREIBIG, 2007).

Ergebnisse

Die mittlere Wirkung bei zugelassener Aufwandmenge unterscheidet sich zwischen den Herbiziden (Tab. 2). Die Wirkung von Axial 50®, Broadway® und Husar® ist signifikant höher im Vergleich zu Herold SC®. Die signifikant höchste Wirkung erzielt Axial 50®. Die mittlere Wirkung von Herold SC® liegt unter 90 %, mit einer hohen Standartabweichung.

Die ED_{50}-Werte unterscheiden sich ebenfalls zwischen den drei erstgenannten Herbiziden und Herold. Der ED50-Wert in % der zugelassenen Aufwandmenge für Herold SC® beträgt 30.0 %. Für Axial 50® und Broadway® wurden ähnliche ED_{50}-Werte zueinander ermittelt, der geringste Wert beträgt 3.6 % für Broadway®.

Dosis-Wirkung-Beziehungen

Abbildung 1 stellt die Dosis-Wirkungsbeziehungen der 19 Windhalmpopulationen der vier getesteten Herbizide dar.

Die Dosis-Wirkungskurven für Axial 50® sind zwischen den Populationen sehr ähnlich. Im Bereich 25 - 100 % der zugelassenen Aufwandmenge unterscheiden sich die Populationen kaum untereinander. Für Broadway® gilt: Die Dosis-Wirkungsbeziehungen der Populationen sind für die Aufwandmengen 50 % und 100 % der zugelassenen Aufwandmenge ähnlich. Die Steigungen der Kurven sind jedoch geringer im Vergleich zu den Dosis-Wirkungskurven der Populationen unter Axial 50. Bei einem Achtel der maximalen Aufwandmenge (12,5 %) werden Unterschiede zwischen den Populationen bei Axial 50® und Broadway® deutlich.

Die Dosis-Wirkungskurven der Populationen für Husar Plus® verlaufen tendentiell ähnlich im Vergleich zu den Dosis-Wirkungskurven für Broadway®, die Wirkung zwischen den Populationen ist jedoch unterschiedlich. Einzelne Populationen haben eine geringere Wirkung unter niedrigen Aufwandmengen, mit steigender Dosis nimmt die Wirkung stark zu, wodurch die Steigung der Kurve größer ist. Andere Populationen weisen hingegen eine flache Dosis-Wirkungskurve auf.

Tab. 2 Mittlere Wirkungen der Herbizide unter Verwendung der zugelassenen Dosis (mean). Sd: Standardabweichung. Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte signalisieren signifikante Unterschiede (p <0,05) zwischen den Versuchsgliedern. ED_{50}-Werte und Standartfehler sowie der ED50-Wert in % der zugelassenen Aufwandmenge.

Tab. 2 *Mean Efficacy, ED50 values (L/ha or kg/ha) and relative ED50 values (% in relation to registered dose rate; 100 = registrated dose) of the different herbicide treatments on Apera spica-venti (L.). Sd: standard deviation. SE: standard error. Different letters represent significant differences (p <0.05) between the different herbicides.*

	Wirkung bei zugel. Dosis				
Herbizid	**Mean (%)**	**Standart-abweichung (sd)**	**ED50-Wert (l/ha oder kg/ha)**	**Standart-fehler (SE)**	**ED50-Wert in % der zugelassenen Aufwandmenge**
Axial 50®	98,6 [a]	0,6	0,06	0,001	6,7
Broadway®	96,7 [ab]	1,1	0,02	0,001	3,6
Herold SC®	87,8 [c]	6,8	0,12	0,017	30,0
Husar Plus®	95,5 [b]	2,7	0,003	0,003	7,7

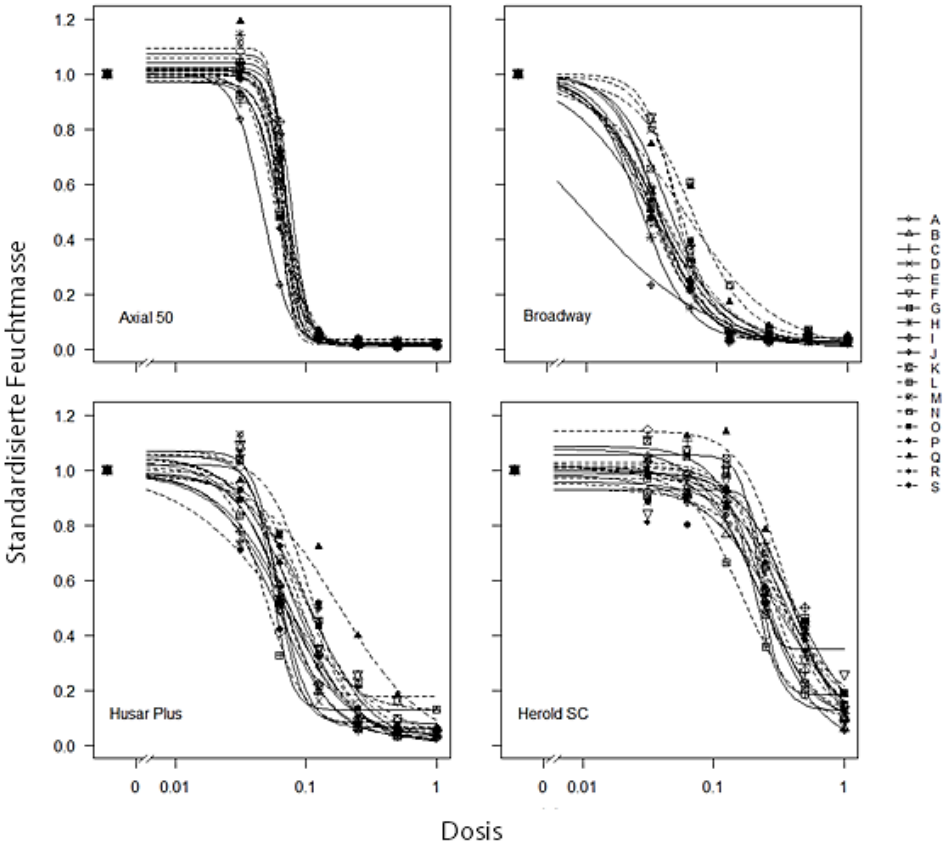


Abb. 1 Dosis-Wirkungskurven von 19 Windhalmherkünften (A-S) aus Mecklenburg-Vorpommern bei den Herbiziden Axial 50®, Broadway®, Husar® und Herold SC®. Dosierung 0-1. 1 (=100 %) entspricht der zugelassenen Aufwandmenge der Herbizide (Tab. 1).

Fig. 1 *Dose response curves for 19 A. spica-venti population originating from fields in Mecklenburg-Vorpommern for the herbicides Axial 50®, Broadway®, Husar® and Herold SC®. Dose rates 0-1. 1 (=100%) = registrated dose.*

Der Verlauf der Dosis-Wirkungskurven unterscheidet sich für Herold SC® eindeutig von den Herbiziden Axial 50®, Broadway® und Husar®. Die Kurven sind flacher und zeigen nur bei maximaler Dosis ausreichende Wirkung, jedoch auch bei 100%-iger Aufwandmenge unterscheiden sich die Wirkungen zwischen den Populationen. Weiterhin werden für jede getestete Dosis Unterschiede in den Dosis-Wirkungskurven zwischen den Populationen deutlich.

Bei Axial® und Broadway® strebt die Dosis-Wirkungskurve bei hoher Dosis für alle Herkünfte gegen Null. Bei Herold® und Husar® hingegen ist die untere Asymptote bei drei bzw. vier Herkünften signifikant unterschiedlich von Null.

Diskussion

Eine der aktuellen Fragestellungen in der angewandten Herbologie ist das Management von Ungräsern in herbizidintensiven Anbausystemen unter dem Aspekt der Entwicklung von Resistenzen (SCHULZ, 2015). Die vorliegenden Dosis-Wirkungs-Versuche erlauben eine Einschätzung der Wirksamkeit der Herbizide Axial 50®, Broadway®, Husar Plus® und Herold SC® gegenüber dem Gemeinen Windhalm in Mecklenburg-Vorpommern.

Für die 19 Windhalmpopulationen aus Mecklenburg-Vorpommern wurden für die Herbizide Axial 50®, Broadway® und Husar® Wirkungen >95 % ermittelt. Für Herold SC® wurden hingegen unter den getesteten Populationen anhand der mittleren Wirkung bei voller Aufwandmenge Wirkungsschwächen nachgewiesen. Die unteren Asymptoten der Dosis-Wirkungskurven weisen zusätzlich bei Husar Plus® auf eine Minderwirkung bei einzelnen Populationen hin. DICKE et al. (2016) ermittelten für hessische Windhalmbiotypen hingegen bei nahezu allen geprüften Biotypen hohe Wirkungsgrade des Herbizids Herold SC®. Deutlich geringere Wirkungen der Präparate aus der HRAC-Klasse B (Broadway® und Husar Plus®) wurden unter den hessischen Biotypen nachgewiesen, dies kann anhand der Ergebnisse der Windhalmpopulationen Mecklenburg-Vorpommerns nicht bestätigt werden. Unter Beachtung von Jahres- und Laborunterschieden, sollte zukünftig geprüft werden, inwieweit klimatische Unterschiede, abweichendes Herbizidmanagement oder auch das Anbaumanagement Unterschiede zwischen den hessischen und mecklenburgischen Ergebnissen erklären können. DICKE et al. (2018) schlussfolgern, dass eine Erhöhung des Anteils von Herbiziden der HRAC-Klasse B in der Fruchtfolge zu hohen Wirkungsverlusten führt. Um die Sensitivität der Windhalmpopulationen gegenüber Herbiziden der HRAC-Klasse B auch zukünftig zu erhalten, sollte diese Erkenntnis unbedingt in der Beratung zum Resistenzmanagement in Mecklenburg-Vorpommern beachtet werden. Vor dem Hintergrund des hohen Wintergetreideanteils am Ackerflächenverhältnis in Mecklenburg-Vorpommern wird intensive Bodenbearbeitung mit dem Pflug und ein sinkender Anteil an Winterungen in der Fruchtfolge empfohlen. Diese ackerbaulichen Maßnahmen beugen dem Auftreten des Gemeinen Windhalm vor (MELANDER et al., 2008; TSCHUY und WIRTH, 2015) und reduzieren die Notwendigkeit des Herbizideinsatzes.

Die ED_{50}-Werte variieren zwischen den Herbiziden Axial 50®, Broadway®, Husar Plus® und Herold SC®. Der höhere mittlere ED50-Wert, der für Herold SC® ermittelt wurde, deutet darauf hin, dass nur bei maximaler Dosis ausreichende Wirkung gegenüber dem Gemeinen Windhalm besteht.

Der ED_{50}-Wert gilt als Parameter, um Unterschiede in der Wirkung von Herbiziden zu veranschaulichen (STREIBIG, 2003; RIETZ und STREIBIG, 2007; NORDMEYER und ZWERGER, 2010). Der Parameter ist geeignet, um die zum Zeitpunkt des Biotests bestehenden Sensitivitäten der Populationen gegenüber Herbiziden zu beschreiben. Resistenzfaktoren, die aus den ED50-Werten resistenter und sensitiver Herkünfte berechnet werden, ermöglichen darüber hinaus Sensitivitätsunterschiede zwischen Populationen zu charakterisieren (NORDMEYER und ZWERGER, 2010). Herbizidresistenz entwickelt sich im Zusammenspiel von Populationsdynamik und –genetik, Herbizid und agronomischen Aspekten (SCHULZ et al., 2015). *A. spica-venti* ist eine auskreuzende Art und durch eine hohe genetische Variabilität gekennzeichnet (WARWICK et al., 1987). Um das Risiko der Resistenzentwicklung einer Population zu charakterisieren ist es nötig, die Population auf Einzelpflanzenebene zu betrachten (RENTON, 2011). Die Einzelpflanze, als Träger der sensitiven oder

resistenten Erbinformation, beeinflusst durch den Selektionsdruck das Resistenzniveau der gesamten Population (KUDSK, 2014). Die Beurteilung von Einzelpflanzen ist potentiell geeignet, um frühzeitig Sensitivitätsverschiebungen innerhalb der Population zu detektieren und das Risiko der Resistenzentwicklung abzuschätzen (BECKIE et al., 2000; SCHULZ et al., 2014).

Danksagung

Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Landesamtes für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Abteilung 4-Pflanzenschutzdienst, für das Sammeln von Pflanzenmaterial im Sommer 2018.

Literatur

ANDREASEN, C., H. STRYHN, 2008: Increasing weed flora in Danish arable fields and its importance for biodiversity. Weed Research **48**, 1–9.

ANDERSSON, L., L. ÅKERBLOM ESPEBY, 2009: Variation in seed dormancy and light sensitivity *in Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti*. Weed Research **49**, 261–270.

ANDREASEN, C., H. STRYHN, 2012: Increasing weed flora in Danish beet, pea and winter barley fields. Crop Protection **36**, 11–17.

AUGUSTIN, B., 2010: Windhalm-Herkunft aus Rheinland-Pfalz mit multipler Herbizidresistenz. Julius-Kuehn-Archiv **428**, 271-272.

BECKIE, H.J., I.M. HEAP, R.J. SMEDA, L.M. HALL, 2000: Screening for herbicide resistance in weeds. Weed Technol **14**, 428-445.

DICKE, D., C. HENSCHKE, J. PETERSEN, 2016: Untersuchungen zur Resistenz von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Gemeiner Windhalm) gegenüber Herbiziden unterschiedlicher HRAC-Klassen in Hessen. Tagungsband 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und –bekämpfung. Julius-Kühn-Archiv **452**, 68-75.

DICKE, D., C. HENSCHKE, A. BÜCHSE, 2016: Simulation zukünftig zu erwartender Wirkungsgrade von Herbiziden der HRAC-Klasse B gegenüber Windhalm in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsparameter. Julius-Kühn-Archiv **458**, 99-105.

GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT, C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2010: Prinzipien einer Anti-Resistenzstrategie bei der Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* aus Sicht des Pflanzenschutzdienstes. Julius-Kühn-Archiv **434**, 89-101.

KUDSK, P., 2014: Reduced herbicide rates: present and future. Julius-Kühn-Archiv **443**, 37-44.

MASSA, D., Y. I KAISER, D. ANDÚJAR-SÁNCHEZ, R. CARMONA-ALEFÉREZ, J. MEHRTENS, R. GERHARDS, 2013: Development of a geo-referenced database for weed mapping and analysis of agronomic factors affecting herbicide resistance in *Apera spica-venti* L. Beauv. (silky windgrass). Agronomy **3**, 13-27.

MELANDER, B., N. HOLST, P.K. JENSEN, E.M. HANSEN, 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.

NIEMANN, P., P. ZWERGER, 2006: Über Herbizidresistenzen bei *Apera spica-venti* (L.) P.B. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz – Journal of Plant Diseases and Protection, Special issue **XX**, 81-88.

TSCHUY, F., J. WIRTH, 2015: Die aktuelle Situation der Herbizidresistenzen in der Schweiz. Agrarforschung Schweiz **6**, 516-523.

RENTON, M., A. DIGGLE, S. MANALIL, S. POWLES, 2011: Does cutting herbicide rates threaten the sustainability of weed management in cropping systems? Journal of Theoretical Biology **283**, 14–27.

RITZ, C., J.C. STREIBIG, 2005: Bioassay analysis using R. Journal of Statistical Software **12**, 1–22.

STATISTISCHES AMT MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2018: Statistisches Jahrbuch Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin.478 S.

SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, R. BALGHEIM, E. BERGMANN, K. GÖßNER, 2010: Effektive Kontrolle von Windhalm (*Apera spica-venti* (L.) P. B.) in Wintergetreide durch Nutzung von Herbizidbehandlungen mit hohen Wirkungsgraden – Ergebnisse der Ringversuche der Bundesländer Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen von 2001-2011. Julius-Kühn-Archiv **434**, 301-312.

SCHROEDER, D., H. MUELLER-SCHAERER, C.S.A. STINSON, 1993: A European weed survey in 10 major crop systems to identify targets for biological control. Weed Research **33**, 449–458.

SCHULZ, A., S.K. MATHIASSEN, F. DE MOL, 2014: Approaches to early detection of herbicide resistance in *Apera spica-venti* regarding intra- and inter-field situations. Journal of Plant Diseases and Protection **121,** 138–148.

SCHULZ, A., 2015: Untersuchungen zur Populationsdynamik und Resistenzentwicklung gegenüber Herbiziden von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. Dissertation.

WARWICK, S.I., B.K. THOMPSON, L.D. BLACK, 1987: Genetic variation in Canadian and European populations of the colonizing weed species Apera spica-venti. New Phytologist **106**, 301.

Effizienz von Triazinon-haltigen Wirkstoffkombinationen zur Bekämpfung von Gänsefuß-Herkünften (*Chenopodium album* L.) mit verschiedenen Punktmutationen in Zuckerrübe

*Efficiency of combinations of active ingredient containing triazinone to combat goosefoot origins (*Chenopodium album L.*) with point mutation in sugar beets*

Antje-Viola Kalfa[1*], Franz Stuke[1], Iris Henneken[2], Verena Haberlah-Korr[2]

[1]ADAMA Deutschland GmbH, Edmund-Rumpler-Str. 6, 51149 Köln
[2]FH-Südwestfalen, Lübecker Ring 2, 59494 Soest
[*]Korrespondierende Autorin, antje-viola.kalfa@adama.com

DOI 10.5073/jka.2020.464.054

Zusammenfassung

In einem Halbfreiland-Gefäßversuch an der Fachhochschule Südwestfalen in Soest wurde 2018 und 2019 die Wirkung verschiedener Zuckerrübenherbizide auf verschiedene Herkünfte von weißem Gänsefuß (*Chenopodium album*, CHEAL) untersucht, die über bekannte Resistenzen gegen Metamitron aufgrund nachgewiesener Punktmutationen verfügen. In praxisüblichen Aufwandmengen wurden die Herbizide Metamitron, Ethofumesat und auch Kombinationen aus Ethofumesat + Phenmedipham + Desmedipham, sowie aus Metamitron + Quinmerac + Ethofumesat + Phenmedipham + Desmedipham jeweils einmalig im Keimblattstadium oder im 1-2-Blattstadium des Weißen Gänsefußes eingesetzt. Untersucht wurden eine sensitive Herkunft (Bingen) sowie drei Herkünfte mit unterschiedlichen Punktmutationen (Bröckel, Kortessem, Warpke).

Die fehlende Wirksamkeit beim Einzelwirkstoff Metamitron wurde bei allen Mutanten erwartungsgemäß sehr deutlich. In 2018 erzielten Wirkstoffkombinationen aus Phenmedipham + Desmedipham + Ethofumesat deutliche Wirkungsverstärkungen, wobei erst durch die auch in der Praxis angewandte Kombination mit zusätzlich Metamitron + Quinmerac bei der Behandlung im Laubblattstadium die erwünschten hohen Wirkungsgrade erreicht wurden. In 2019 wurden durch die Anwendung der Kombination mit fünf Wirkstoffen im Keimblattstadium nur bei der sensitiven Herkunft (Bingen) hohe Wirkungsgrade (WG) erzielt (95 % WG). Die Laubblattbehandlung erzielte dagegen bei der Herkunft aus Bingen (sensitiv) 85 % WG und bei der Herkunft Bröckel („Leu218Val") 86 % WG.

Stichwörter: *Chenopodium album*, Herbizide, Metamitron, Punktmutation, Resistenz, Zuckerrüben

Abstract

At the Fachhochschule Südwestfalen (University of Applied Sciences) in Soest semi-field pot trials were carried out in 2018 and 2019 to assess the efficacy of different sugar beet herbicides on different origins of white goosefoot (*Chenopodium album*, CHEAL), with known resistance against Metamitron due to established point mutations. The herbicides metamitron, ethofumesat, and a combination of ethofumesat + phenmedipham + desmedipham as well as a combination of metamitron + quinmerac + ethofumesat + phenmedipham + desmedipham were applied once in the cotyledon or in the 1-2 leaf stage with common application rates. A sensitive origin (Bingen) and three origins with different point mutations were studied (Bröckel, Kortessem, Warpke).

The lack of efficacy of the active ingredient metamitron was obvious in all mutants, as expected. In 2018 the combination of phenmedipham + desmedipham + ethofumesat achieved clearly enhanced effects, even though only the commonly (in practice) applied combination which included metamitron + quinmerac as well, achieved the desired high efficacies when applied at the 1-2 leaf stage. In 2019 high efficacy levels were only reached by the treatment with the combination of the five active ingredients in the cotyledon stage in the sensitive (Bingen) origin (95% efficiency), whereas in the 1-2 leaf stage treatment only 85% (origin Bingen) and 86% efficiency (origin Bröckel „Leu218Val") was achieved.

Keywords: *Chenopodium album*, herbicide, metamitron, point mutation, resistance, sugar beets

Einleitung

Der Weiße Gänsefuß (*Chenopodium album* L., CHEAL) ist eines der bedeutendsten Unkräuter in Hackfrüchten, besonders der Zuckerrübe. Er schädigt die Zuckerrübe durch Nährstoffentzug und Beschattung. Gleichzeitig hat er ein hohes Vermehrungspotential. Ab 2009 wurde ein langjähriges

Monitoring zur Wirksamkeit von Photosystem II (PS-II-Inhibitoren) bei *Chenopodium album* durchgeführt; in den ersten drei Jahren als Gemeinschaftsprojekt von Adama/IfZ Göttingen (KALFA et al., 2012; VARRELMANN und KALFA, 2013; ADAMA, 2019). Es zeigte sich, dass ca. 24 % der analysierten Proben von Verdachtsflächen aus den Jahren von 2009 bis 2018 Punktmutationen im psbA-Gen des Weißen Gänsefußes aufwiesen, die zu einer verminderten Wirkung auf PS-II Inhibitoren, wie Metamitron und anderen Triazinonen führen. 76 % der Proben von den Verdachtsflächen trugen jedoch das Wildtypallel des psbA-Gens.

Material und Methoden

Es wurde die Wirkung einer einmaligen Behandlung von vier verschiedenen Herbiziden bzw. Herbizidkombinationen auf vier Herkünfte von *Chenopodium album* (CHEAL) im Keimblattstadium und 1-2-Blattstadium untersucht (Tab. 1 + 2). Bei den vier CHEAL-Herkünften handelt es sich um eine sensitive Herkunft und drei Herkünften mit Punktmutationen im psbA-Gen, das für das D1-Protein im Photosystem II kodiert (Ser264Gly, Ala251Val und Leu218Val). Der Versuch wurde in Töpfen (18 x 18 cm), gefüllt mit gedämpftem Mutterboden, als randomisierte Blockanlage in 6-facher Wiederholung angelegt. Die Aussaat erfolgte 2018 am 23.04.18 und 2019 am 16.04.2019. Die Daten der Behandlungen sind in Tab. 2 dargestellt. Jede CHEAL-Herkunft wurde randomisiert in einem Block aufgestellt und die unbehandelte Kontrolle zur besseren Vergleichbarkeit daneben (Abb. 1). Im Jahr 2018 wurden die CHEAL-Samen für jeden Topf einzeln abgezählt, im Jahr 2019 wurde das TGK für jede Herkunft bestimmt und die Samen für jeden Topf abgewogen. Da sich in dem Versuch 2018, trotz durchgeführter Keimversuche, bei einigen Herkünften eine sehr geringe Anzahl Pflanzen je Topf befand, wurde im Jahr 2019 bei problematischen Herkünften mit höheren Aussaatmengen gearbeitet (Tab. 1). Außerdem wurden für die Ansaat im Jahr 2019 nur dunkle (ausgereifte) Samen des Weißen Gänsefußes verwendet. Um ein gutes Auflaufen des CHEAL zu gewährleisten, wurde nach Bedarf gewässert. Der Wirkungsgrad (WG) wurde über eine visuelle Schätzmethode in Anlehnung an die EPPO-Richtlinie PP 1/52(3) (EPPO, 2006) ermittelt. Dabei wurde jede behandelte Variante mit einer unbehandelten Variante verglichen und ein WG in % geschätzt (0 % = keine Wirksamkeit, 100 % = volle Wirksamkeit). Dieser geschätzte WG berücksichtigt sowohl Deckungsgrad und Pflanzenanzahl, als auch Merkmale zur allgemeinen Vitalität der behandelten Unkräuter (z. B. Wuchsdepressionen).

Tab. 1 Getestete CHEAL-Herkünfte, ihre Mutationsstelle und die Aussaatstärken 2018 und 2019.

Tab. 1 *Tested CHEAL-origins, their mutation sites and seed rates 2018 and 2019.*

Herkunft	Mutationsstelle	Resistenz gegen Metamitron	Aussaatmenge (Anzahl Samen/Topf)	
			2018*	**2019****
Bingen	Sensitiv	---	125	148 (115 mg)
Kortessem	Ser264Gly	x	100	250 (135 mg)
Warpke	Ala251Val	xx	125	150 (97 mg)
Bröckel	Leu218Val	xx	50	143 (100 mg)

--- = sensitiv, x = Resistenz, xx = ausgeprägte Resistenz, xxx = starke Resistenz; *= abgezählte Samen; ** = abgewogene Samen



Abb. 1 Versuchsübersicht über den Halbfreilandversuch in Soest (Aufnahme: 27.05.2019, Aussaat: 12.04.2019); Behandlungstermine entsprechend Plan (Tab. 2).

Fig. 1 *Overview over the semi-field trial in Soest (Picture taken: 27.05.2019, sowing date: 12.04.2019); treatment dates according to plan (Tab. 2).*

Tab. 2 Herbizidvarianten der Nachauflaufbehandlung im Halbfreilandversuch. Die Behandlung erfolgte im Keimblatt- und 1-2-Laubblatt-Stadium, Soest 2018/19.

Tab. 2 *Post emergence herbicide variants in the semi-field trials. Herbicides were applied in cotyledon and 1-2 leaf-stages, Soest 2018/19.*

Var.	Präparat	Wirkstoffe	Stadium	Aufwand-menge /ha	Behandlungsdatum 2018	2019
1	unbehandelte Kontrolle		-			
2	Stemat	500 g/l Ethofumesat	KB*	0,51 l		
3	Belvedere Extra	260 g/l Ethofumesat 200 g/l Phenmedipham 65 g/l Desmedipham	KB	1,3 l	17.05.2018 (Warpke & Bingen) 22.05.18 (Bröckel & Kortessem)	07.05.2019 (Bingen, Warpke, Bröckel) 14.05.2019 (Kortessem)
4	Belvedere Extra + Goltix Titan	260 g/l Ethofumesat 200 g/l Phenmedipham 65 g/l Desmedipham 1050 g/l Metamitron 80 g/l Quinmerac	KB	1,3 + 2,0 l		
5	Goltix Gold	1400 g /l Metamitron	KB	2,0 l		
6	Stemat	500 g/l Ethofumesat	LB**	0,51 l		
7	Belvedere Extra	260 g/l Ethofumesat 200 g/l Phenmedipham 65 g/l Desmedipham	LB	1,3 l		
8	Belvedere Extra + Goltix Titan	260 g/l Ethofumesat 200 g/l Phenmedipham 65 g/l Desmedipham 1050 g/l Metamitron 80 g/l Quinmerac	LB	1,3 + 2,0 l	24.05.2018 (alle Herkünfte)	21.05.2019 (alle Herkünfte)
9	Goltix Gold	1400 g /l Metamitron	LB	2,0 l		

* = Keimblatt; ** = 1-2-Laubblatt

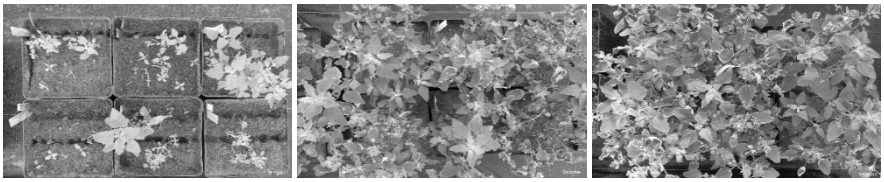


Abb. 2 Verschiedene CHEAL-Herkünfte nach der Behandlung mit Metamitron im Laubblatt-Stadium (2019, 41 Tage nach Behandlung (DAT)); Bingen/sensitiv (links), Bröckel /Leu218Val (mitte) und Warpke/Ala251Val (rechts).

Fig. 2 *Different CHEAL biotypes treated with metamitron in the first leaf stage (2019, 41 days after treatment (DAT)); Bingen/sensitive (left), Bröckel/Leu218Val (middle,) and Warpke/Ala251Val (right).*

Ergebnisse

Bei den Keimblatt-Behandlungen mit Metamitron wurden bei der Herkunft Bingen (sensitiv) WG von 78 % (2018) und 70 % (2019) erzielt (Abb. 3, Minimum- und Maximum-Balken). Bei den Herkünften mit ausgeprägter Resistenz (Tab. 1) fiel die Wirkung erwartungsgemäß auf 5 bzw. 2 % (Warpke) und 7 bzw. 3 % (Bröckel) ab, die resistente Herkunft Kortessem lag mit 23 und 40 % WG (2018 und 2019) dazwischen.

Die WG der Behandlung im Laubblattstadium fielen 2018 niedriger aus als die Werte der Behandlung im Keimblatt-Stadium, während sich 2019 genau das gegensätzliche Bild zeigte (Abb. 3 und 4). So wurden z.B. bei der Herkunft Bingen (sensitiv) 2019 der WG von 70 % im Keimblatt auf 85 % im Laubblatt-Stadium gesteigert. Dagegen lagen die Werte 2018 bei 78 % WG im Keimblatt und 70 % Im Laubblatt-Stadium.

Bei einer Behandlung mit den drei Wirkstoffen Ethofumesat + Phenmedipham + Desmedipham wurden im Vergleich zu den Einzelwirkstoffen deutliche Wirkverbesserungen erzielt. Bei der

Herkunft Bingen (sensitiv) bis 86 % WG in der Keimblatt- und max. 91 % WG in der Laubblatt-Behandlung. Auch die Herkunft Warpke wurde mit 89 % WG in der Keimblatt- und 100 % WG in der Laubblatt-Behandlung 2018 gut erfasst. Im Jahr 2019 wurde dagegen nur WG von 31 bzw. 47 % erzielt. Bei den anderen beiden Herkünften schwankten die Werte in den Behandlungen zwischen 8 bzw. 97 % WG.

Die einmalige Behandlung mit fünf Wirkstoffen (Var. 4 und. 8, Tab. 2) zeigte bei der sensitiven Herkunft sowohl 2018 als auch 2019 gute WG. In 2018 lag der WG bei der sensitiven Herkunft Bingen bei 93 % im Keimblatt-Stadium und 95 % im Laubblatt-Stadium. In 2019 wurden 85 % WG im Laubblatt-Stadium und 95 % WG im Keimblatt-Blattstadium erreicht. Die Behandlung mit fünf Wirkstoffen führte bei der resistenten Herkunft Warpke in 2018 im Keimblatt-Stadium als auch im Laubblatt-Stadium zu sehr hohen WG mit 95 % bzw. 98 %. Im Jahr 2019 fielen die Werte dagegen ab. Sie lagen zwischen 62 % in der Keimblatt-Behandlung und 50 % in der Laubblatt-Behandlung (Tab. 3).

Die Mittelwerte über die Jahre sind in den Abbildungen 3 und 4 angegeben. Es zeigte sich, dass sich mit einer einmaligen Ethofumesatbehandlung weder im Keimblatt- noch im Laubblatt-Stadium gute Werte erzielen ließen. Mit Metamitron als Einzelwirkstoff wurde nur die sensitive Herkunft Bingen erfasst. Im Mittel über die Jahre wurden WG von 74 % in der Keimblatt-Behandlung und 78 % in der Laubblatt-Behandlung erzielt. Es zeigten sich auch gut die unterschiedlichen Resistenzausprägungen der verschiedenen Herkünfte gegenüber Metamitron. Kortessem ist als resistent eingestuft und konnte mit unbefriedigenden WG von 32 bzw. 33 % erfasst werden. Die ausgeprägt resistenten Herkünfte Warpke und Bröckel lagen bei Werten von 4-5 % in der Keimblatt-Behandlung und 19 bzw. 12 % in der Laubblatt-Behandlung noch deutlicher darunter. In den Varianten mit Kombinationen aus drei oder fünf Wirkstoffen wurden deutliche Wirkverbesserungen erzielt. Die besseren WG wurden meist in der Variante mit 5 Wirkstoffen erreicht. Die sensitive Herkunft wurde jeweils am besten erfasst. Insgesamt zeigte die Behandlung im Laubblatt-Stadium tendenziell die besseren Ergebnisse. Die WG lagen in der Regel über 70 %. In der Keimblatt-Behandlung zeigten sich größere Schwankungen. Hier waren es 25 % WG bei Herkunft Bröckel (drei Wirkstoffe) bis 86 % WG bei Herkunft Warpke (fünf Wirkstoffe).

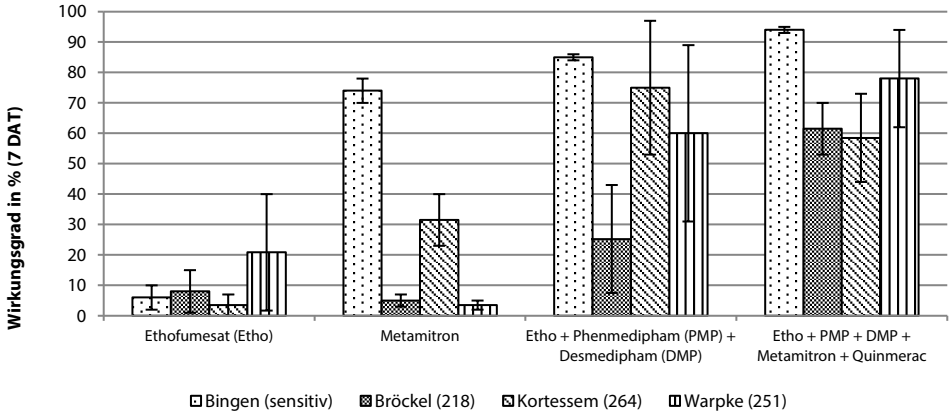


Abb. 3 Keimblatt-Behandlung: Mittlerer Wirkungsgrad der Herbizide je CHEAL-Herkunft 7 Tage nach Applikation (DAT), Balken = Minimum und Maximum Werte, n=2 (2018-2019).

Fig. 3 *Treatment in the cotyledon stage: average efficiencies of the different herbicides per CHEAL-origins 7 days after treatment (DAT), bar = minimum and maximum values, n=2 (2018-2019).*

Tab. 3 Mittelwerte der erzielten Wirkungsgrade (7 DAT) der Behandlungen von CHEAL-Herkünften mit Einzelwirkstoffen und Wirkstoffmischung im Keimblatt- und Laubblatt-Stadium in den Jahren 2018 und 2019, 6 Wiederholungen.

Tab. 3 *Average efficacies (7 DAT) of the different single active ingredients and combinations thereof per CHEAL-origins at the cotyledon- and leaf-stage treatment in the years 2018 and 2019, 6 replications.*

	Keimblatt-Varianten (7 DAT)		**Laubblatt-Varianten (7 DAT)**	
Versuchsjahr Produkt/Wirkstoff/Herkunft	**2018**	**2019**	**2018**	**2019**
Stemat (Ethofumesat)	**Mittelwerte der Wirkungsgrade**			
Bingen (sensitiv)	10	2	37	63
Bröckel	15	1	48	18
Kortessem	7	0	42	5
Warpke	40	2	30	18
Goltix Gold (Metamitron)				
Bingen (sensitiv)	78	70	70	85
Bröckel	7	3	5	33
Kortessem	23	40	10	55
Warpke	5	2	7	18
Belvedere Extra (Ethofumesat+Phenmedipham+ Desmedipham)				
Bingen (sensitiv)	84	86	71	91
Bröckel	43	8	83	69
Kortessem	53	97	62	59
Warpke	89	31	100	47
Belvedere Extra + Goltix Titan (Ethofumesat+Phenmedipham+ Desmedipham+Metamitron+ Quinmerac)				
Bingen (sensitiv)	93	95	93	85
Bröckel	70	53	75	86
Kortessem	44	73	90	53
Warpke	94	62	98	50

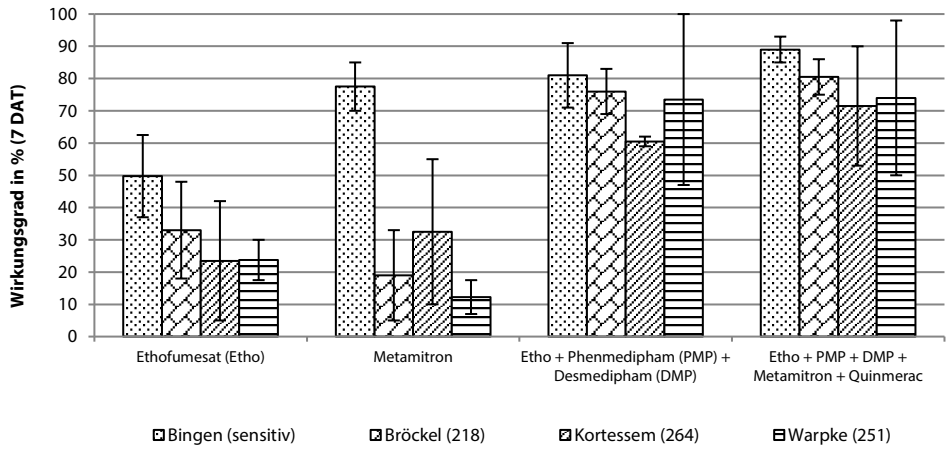


Abb. 4 Laubblatt-Behandlung: Mittlerer Wirkungsgrad der Herbizide je CHEAL-Herkunft 7 Tage nach Applikation (DAT), Balken = Minimum und Maximum Werte, n=2 (2018-2019).

Fig. 4 *Treatment in the leaf stage: average efficiencies of the different herbicides per CHEAL-origins 7 days after treatment (DAT), bar = minimum and maximum values, n=2 (2018-2019).*

Diskussion

In den zweijährigen Untersuchungen wies der Wirkstoff Metamitron eine hohe Wirksamkeit gegenüber der sensitiven Herkunft Bingen auf. Zudem bestätigten diese Untersuchungen, dass die untersuchten Herkünfte, die Punktmutationen im psbA-Gen tragen, eine verminderte Sensitivität gegenüber diesem Wirkstoff, der zur HRAC Gruppe C1 gehört, zeigten. Die vorliegenden Ergebnisse bezüglich der Wirkung von Metamitron auf CHEAL-Herkünfte mit Punktmutation bestätigen tendenziell bisherige Untersuchungen unter Gewächshausbedingungen (THIEL und VARRELMANN, 2013), unter Freilandbedingungen (AGRIKOLA und PETERSEN, 2012; VARRELMANN und KALFA, 2013) und unter Halbfreilandbedingungen (STUKE et al., 2018).

Die einmalige Applikation des Wirkstoffes Ethofumesat, der aus der HRAC-Gruppe N stammt, zeigte in den zweijährigen Versuchen bei der Keimblatt-Behandlung im Mittel der Jahre 2018/2019 erwartungsgemäß einen geringen WG gegenüber der sensitiven CHEAL-Herkunft Bingen. Der WG lag mit 50 % im Mittel der Jahre 2018/2019 bei der Laubblatt-Behandlung deutlich höher. Die weniger gute Wirkung bei alleiniger Anwendung von Ethofumesat auf *C. album* wird damit bestätigt (ADAMA INTERN, 2005). Eine leichte Wirkungsverbesserung im Vergleich zur Keimblatt-Behandlung konnte auch bei den drei Herkünften mit Punktmutationen im psbA-Gen festgestellt werden (Abb. 3 + 4).

In der Vergangenheit konnte in verschiedenen Freilandversuchen auf Standorten mit natürlichen Vorkommen an CHEAL-Biotypen mit Punktmutation im psbA-Gen gezeigt werden, dass besonders Kombinationen aus unterschiedlichen Wirkstoffgruppen und in der vollen zugelassenen Aufwandmenge im Rahmen von drei Splittinganwendungen gute Wirkungseffekte erzielen. So wurden in einem Feldversuch 2012 in Deutschland die unbefriedigende Wirkung von Metamitron auf CHEAL-Biotypen gefunden. Erst durch eine Kombination von Metamitron + Phenmedipham + hoher Aufwandmenge an Ethofumesat (1000 g/ha a.i.) konnten WG deutlich über 90 % erreicht werden (VARRELMANN und KALFA, 2013; VARRELMANN, 2013). Zu ähnlichen Ergebnissen kommen in einem Freilandgefäßversuch 2011 AGRIKOLA und PETERSEN (2012). Sie stellten fest, dass CHEAL-Biotypen mit Resistenzen gegenüber Triazinonen in üblichen Herbizidkombinationen mit Ethofumesat noch ausreichend zu kontrollieren sind. Die Anwendung von Mehrfach-Kombinationen mit unterschiedlichen Wirkmechanismen (HRAC-Klassen: C1, N, O) führt zur Wirkungsverstärkung und ist im Resistenzmanagement zielführend, wenn es um die Kontrolle von resistenten CHEAL-Biotypen geht.

Das konnte auch mit der geprüften fünffach-Kombination aus Metamitron + Quinmerac + Desmedipham + Phenmedipham + Ethofumesat in den zweijährigen Versuchen herausgearbeitet werden, auch wenn die Ergebnisse Schwankungen aufweisen, die wahrscheinlich auch in der einmaligen Anwendung begründet sind. Da es sich um Halbfreiland Topfversuche handelt, kommen als weitere Effekte die unterschiedlichen Witterungsbedingungen, wie Temperatur und Bodenfeuchte, vor und nach der Applikation mit in Betracht. So fiel der Termin der Keimblatt-Behandlung (07.05.2019) und der ersten Bonitur nach 7 Tagen in eine sehr kühle Periode mit teilweise Temperaturen um 0° C. Die Laubblattbehandlung am 21.05.2019 wurde bei einer deutlich höheren Tagesdurchschnittstemperatur von 13,5 °C und mehr Bodenfeuchte, bedingt durch vorhergehende Niederschlagsereignisse, durchgeführt. Dies könnte die zum Teil besseren WG der Laubblattbehandlung bei den Metamitron- als auch Ethofumesat-Varianten in 2019 erklären.

Für eine erfolgreiche Unkrautbekämpfung im Zuckerrübenanbau ist es auf allen Standorten auch zukünftig wichtig, dass möglichst viele Wirkstoffe mit unterschiedlichen Wirkmechnismen der Praxis weiterhin zur Verfügung stehen, damit auch vorkommende Biotypen, die gegenüber Triazinonen und Triazinen Resistenzen zeigen, weiterhin sicher bekämpft werden können. Auf Standorten mit nachgewiesener Resistenz sind deshalb Mehrfach-Kombinationen aus Wirkstoffen der HRAC-Klassen C1, N und O in der Bekämpfung von *C. album* Biotypen zielführend. Kombinationen aus Metamitron + Quinmerac + Phenmedipham (Desmedipham) + Ethofumesat in den vollen zugelassenen Aufwandmengen und Anwendungshäufigkeiten sind weiterhin für eine bestmögliche Bekämpfung von CHEAL-Mutanten wichtig.

Danksagung

Die vorgestellten Versuche wurden im Rahmen von Abschlussarbeiten am Fachbereich Agrarwirtschaft der FH-Südwestfalen durch die engagierte Arbeit der Studierenden Clemens Kersting (Bachelorarbeit 2019) und Lennart Albrecht-Vogelsang (Bachelorarbeit 2018) durchgeführt. Weiterhin danken wir Prof. Dr. J. Petersen, TH Bingen und Prof. Dr. M. Varrelmann, IFZ Göttingen für die Bereitstellung der unterschiedlichen Gänsefuß-Herkünfte.

Literatur

ADAMA intern, 2019: Vorkommen und Verbreitung verschiedener CHEAL-Biotypen in Deutschland, Ergebnis Monitoring 2009 – 2019.

ADAMA intern, 2005: Performence of Ethosat 500 for the control of *Galium aparine, Stellaria media* and other broad-leaved weeds (Author Dr. N. Nelgen).

AGRIKOLA, Y., J. PETERSEN,2012: Bedeutung und Bekämpfungsansätze verschiedener Photosystem-II-Inhibitor-Resistenzen bei *Chenopodium album* in Zuckerrüben und Kartoffeln, DOI:10.5073/jka.2012.434.012

EPPO, 2006: EPPO-Richtlinie PP 1/52(3): Weeds in sugar and fodder beet and industrial chicory. European and Mediterranean Plant Protection Organization.

KALFA, A.-V., H. THIEL, M. VARRELMANN, 2012: Die Verbreitung von *Chenopodium album* Biotypen mit verschiedenen „target site" Mutationen in verschiedenen europäischen Ländern, Julius-Kühn-Archiv **438**,2012.

STUKE, F., V. HABERLAH-KORR, A.-V. KALFA, 2018: Effizienz von Triazin- und/oder Triazinon-haltigen Wirkstoffkombinationen zur Bekämpfung von Gänsefuß-Herkünften mit Punktmutation. 61. Deutsche Pflanzenschutztagung, Universität Hohenheim, 11 - 14.09.2018.

THIEL, H., M. VARRELMANN, 2013: Identification of a new PSII target site psbA mutation leading to D1 amino acid Leu218Val exchange in the *Chenopodium album* D1 protein and comparison to cross-resistence profiles of known modifications at positions 251 und 264, Pest Management Science **70**, 278-285.

VARRELMANN, M., 2013: Weißer Gänsefuß – Resistent oder Spritzfehler? DLG Mitteilungen **4**, 66-69.

VARRELMANN, M., A.-V. KALFA, 2013: Biotypen des Weißen Gänsefuß mit verringerter Anfälligkeit gegen Triazine und Triazinone – Verbreitung und Kontrolle, Zuckerrübe **3**, 28-32.

Minderwirkungen von Glyphosat bei Mäuseschwanz-Federschwingel (*Vulpia myuros*)

*Reduced efficacy of glyphosate against annual fescue (*Vulpia myuros*)*

Bernd Augustin[1*], Klaus Gehring[2]

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

[2]Bayrische Landesanstalt für Bodenkunde u. Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising

*Korrespondierender Autor, baugustin@t-online.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.055

Zusammenfassung

Im Rahmen der alljährlichen Untersuchung von Verdachtsproben auf Herbizidresistenz aus Rheinland-Pfalz wurde 2018 eine Population des Mäuseschwanz-Federschwingels (*Vulpia myuros L.*) in einem Weinbaubetrieb in Rheinhessen gesammelt. Er wandert regelmäßig aus den Feldrainen in die herbizidbehandelten Rebzeilen ein. In mehreren Biotesten am Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (Bad Kreuznach) und an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Freising) konnte in den Jahren 2018 und 2019 nur eine unzureichende Wirkung von Glyphosat erzielt werden. Es besteht der begründete Verdacht auf eine nachlassende Sensitivität bzw. beginnende Resistenz gegenüber Glyphosat in der untersuchten Population aufgrund des langjährigen und wiederholten Einsatzes von Glyphosat. Weitere Untersuchungen sind erforderlich um die Ursache für die Minderwirkungen zu ermitteln.

Stichwörter: Biotest, Dosis-Wirkungs-Test, Glyphosat, Herbizidwirkung, *Vulpia myuros* L.

Abstract

In 2018, numerous weed seed samples were taken from fields within Rhineland-Palatinate (Germany) where herbicide resistance was suspected. One sample of annual fescue (*Vulpia myuros L.*) was collected in a wine-growing estate in Rhinehessen. Annual fescue frequently emigrates from the field margins into the wine rows. By conducting several bioassays at the Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (Bad Kreuznach, Rhineland-Palatinate) and at the Landesanstalt für Landwirtschaft (Freising, Bavaria) a poor efficacy of glyphosate was observed. There is a reasonable suspicion that repeated, long-time use of glyphosate might be the reason for a decreasing sensitivity or an evolving resistance in the *V. myuros* population investigated. Additional investigations are necessary to determine potential mechanisms involved in reduced herbicide sensitivity.

Keywords: Bioassay, dose response assays, herbicide efficacy, glyphosate, *Vulpia myuros* L.

Einleitung

In den letzten Jahren wurden nur einzelne Proben mit Verdacht auf Glyphosatresistenz (*Epilobium*, *Bromus* spp.) zur Untersuchung am Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum in Bad Kreuznach eingereicht. Die im Feld beobachtete Minderwirkung war nicht auf eine Glyphosat-Resistenz zurückführbar, sondern muss andere Ursachen gehabt haben. Im Jahre 2018 wurde eine Probe von Mäuseschwanz-Federschwingel (*Vulpia myuros L.*) aus einem Weinbaubetrieb in Rheinhessen mit Resistenzverdacht eingesendet und mit Hilfe von Biotests auf eine mögliche Glyphosatresistenz untersucht.

Material und Methoden

In vorausgegangenen Biotests wurde die Probe von Mäuseschwanz-Federschwingel bereits mit unterschiedlichen Substraten (rheinhessischem Lösslehm im Vergleich mit Einheitserde) und höherer Wasseraufwandmenge (400 l/ha, IDKN 12004, 3,3 Km/h, 3,6 bar) mit vergleichbaren Ergebnissen geprüft. Daher wurde der nachfolgend beschriebene Biotest im Winterhalbjahr 2018/19 im Gewächshaus in dreifacher Wiederholung in 9 cm Töpfen in Torfkultursubstrat (Stender E510) ausgesät. Nach Kultivierung mit Zusatzbeleuchtung (Hortilux HPA 400, PAR 100-200 µmol m^2s-1) und Temperatursteuerung (20 °C/14 Stunden und 10 °C/10 Stunden) wurde die Herbizidbehandlung im 2-Blattstadium durchgeführt. Die Behandlung erfolgte mit einer Schachtner Karrenspritze mit 200 l/ha Wasseraufwandmenge (3,6 Km/h; 1,75 bar an der Düse IDK

12002) mit anschließender Rückliterung. Eine Glyphosat-sensitive Herkunft war für den Biotest in Bad Kreuznach nicht verfügbar. In der Tabelle sind die Herbizide aufgeführt, die zum Einsatz kamen.

Tab. 1 Herbizidvarianten des Biotestes.

Tab. 1 *Herbicides used in the bioassay.*

Nr.	Herbizid	Wirkstoff (g/l bzw. kg)	Aufwandmenge/ha	HRAC-Gruppe
1	Kontrolle	-	-	-
2	Glyphos Supreme	Glyphosat (450)	4,0 l	G
3	Glyphos Supreme	Glyphosat (450)	8,0 l	G
4	Glyphos Supreme	Glyphosat (450)	12,0 l	G
5	Broadway + FHS	Pyroxsulam + Florasulam + Cloquintocet-Mexyl (68,3+22,8+68,3)	275 g + 1,0 l	B

Drei und vier Wochen nach der Behandlung wurde eine Wirkungsbonitur durchgeführt. Die Einstufung von Sensitivität bzw. Resistenz erfolgte entsprechend dem in Tabelle 2 aufgeführten Schema.

Tab. 2 Einteilung der Resistenzklassen**.**

Tab. 2 *Classification of herbicide resistance.*

Einteilung der Resistenzklassen	
Klasse	**Wirkungsgrad (%)**
S	83,4-100
1	66,5-83,3
2	50-66,6
3	33,3-49,9
4	16,6-33,2
5	0-16,5

In Ergänzung zu den Biotesten am Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum wurde an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft eine Dosis-Wirkungsprüfung durchgeführt. Neben der Verdachtsherkunft VLPMY aus Rheinland-Pfalz wurde eine handelsübliche Herkunft des Mäuseschwanz-Federschwingels (Appels Wilde Samen) als sensitive Referenz geprüft. Die Samenproben wurden mit einem Saugluft-Stufensichter (Fab. Pelz, Typ 2) aufbereitet. Anschließend wurde die Keimfähigkeit nach ISTA-Methode ermittelt (ISTA, 2015). Die Aussaat erfolgte flächig mit einem Mikrolöffel auf Pflanztopfträgerplatten (Töpfe mit 4,5 cm Durchmesser). Die Saatstärke wurde so eingestellt, dass nach der Samengröße und Keimfähigkeit der jeweiligen Herkunft ein relativ gleichmäßiger Pflanzenbestand im Vergleich der im Test befindlichen Prüfherkünfte erreicht wurde. Als Substrat wurde ein natürlicher Mineralboden vom Standort Freising (Parabraunerde aus Lösslehm, 2,8 % OS, pH 7,2) in Mischung mit einen Torf-Kultursubstrat Mischungsverhältnis 3:1) und das reine TK-Substrat (tonhaltiges Torfsubstrat, Typ Höfter Humaton Standard, 80 % OS, pH 5,8, nährstoffangereichert) verwendet. Die Bewässerung erfolgte durch regelmäßiges Gießen und im Wechsel 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 und Wirkungsperiode (21 Tage) 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/m^2*s) geregelt. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde auf konstant 85 % gehalten.

Die Applikation erfolgte nach einer Anzuchtperiode von 15 Tagen im Entwicklungsstadium BBCH 12-13. 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. Dabei erfolgte neben der unbehandelten Kontrolle die Anwendung von Roundup PowerFlex (Glyphosat) in fünf Dosisstufen.

Tab. 3 Herbizidvarianten der Dosis-Wirkungsprüfung.

Tab. 3 *Herbicides used in the dose-response test.*

Nr.	Behandlung/Herbizid	Wirkstoff (g/l)	Standard-Dosis (l/ha) (= 100 %)	Dosisstufen (% der Standard-Dosis)
1	Unbehandelte Kontrolle	-	-	-
2	Roundup PowerFlex	Glyphosat (480)	3,75	25 / 50 / 100 / 200 / 400

Die Herbizidwirkung wurde 21 Tage nach der Applikation durch visuelle Bonitur im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und durch Wiegung des Frischmasseaufwuchses erhoben. Für die Bewertung der Boniturergebnisse wurde eine Resistenzklassifikation verwendet (CLARKE et al., 1994). Das Bewertungssystem beruht auf der Ermittlung von fünf Resistenzklassen. Die Klassengrenzen werden individuell für den durchgeführten Test ermittelt (CLARKE et al., 1994). Diese ergeben sich aus dem Wirkungsunterschied zwischen einer sensitiven Vergleichsherkunft und der resistenzverdächtigen Prüfherkunft. Die statistische Analyse der Frischmasseergebnisse erfolgte durch eine nichtparametrische Rangvarianzanalyse nach Kruskal-Wallis (UNISTAT LTD., 2015) und eine Log-Logistic-Analyse (SEEFELDT et al., 1995) mit der NLIN-Anwendung durch SAS/STAT Software. Die Ermittlung eines Resistenzfaktors beruht auf dem Dosisunterschied zwischen der sensitiven und resistenzverdächtigen Herkunft auf dem Wirkungsniveau von 50 % bzw. bei ED_{50}.

Ergebnisse

Die Verdachtsprobe aus Rheinhessen zeigte eine deutliche dosisabhängige Reaktion gegenüber Glyphosat. Allerdings war auch mit hoher Dosierung (5400 g Wirkstoff/ha) keine ausreichende Wirkung zu erreichen. Dagegen erzielte die maximale Aufwandmenge von Broadway (275 g/ha) eine vergleichsweise hohe Wirkung. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um zu klären, ob es sich bei der schwachen Glyphosatwirkung um ein eingeschränktes Wirkungsspektrum oder um Resistenz handelt.

Tab. 4 Herbizidwirksamkeit bei einer Herkunft des Mäuseschwanz-Federschwingels aus Rheinland-Pfalz.

Tab. 4 *Herbicide efficacy of a Rattail Fescue population collected in Rhineland-Palatinate.*

Ergebnis des Biotestes (% Wirkungsgrad)						
			Wirkstoff (g/ha)			
Nr.	Art	Herkunft	Glyphosat			Pyroxulam + Florasulam
			1800	3600	5400	18,8 + 6,3
VU 1	*Vulpia myuros*	67586 Hillesheim	37	57	75	83

Bei der Dosis-Wirkungsprüfung ergab die Bewertung der Boniturergebnisse für die Verdachtsherkunft des Mäuseschwanz-Federschwingels aus Rheinland-Pfalz gegenüber Roundup PowerFlex die Resistenzklasse 2 bzw. R nach der Nomenklatur von CLARKE et al. (1994). Diese Resistenzeinstufung war unabhängig von dem verwendeten Anzuchtsubstrat.

Eine erste Analyse der Frischmasseergebnisse mittels einer Kruskal-Wallis One-Way ANOVA (95 % Dunn interval) ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den verwendeten Anzuchtsubstraten. Für die weitere Analyse wurden daher die Frischmasseergebnisse beider Substrate gemeinsam verrechnet. Die Überprüfung der Dosis-Wirkungsreaktion gegenüber Roundup PowerFlex anhand der Log-Logistic-Funktion nach SEEFELDT et al. (1995) ergab für die Verdachtsherkunft aus Rheinland-Pfalz einen Resistenzfaktor von 1,9 (Abb. 1).

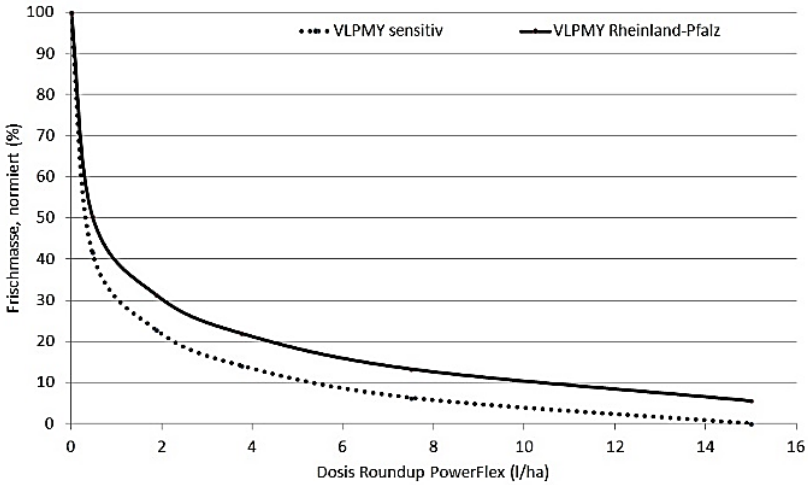


Abb. 1 Dosis-Wirkungsverlauf der Behandlung von zwei Herkünften des Mäuseschwanz-Federschwingels mit Roundup PowerFlex (Glyphosat).

Fig. 1 *Dose-Response of two rattail fescue biotypes treated with Roundup PowerFlex (glyphosate).*

Diskussion

Der Mäuseschwanz-Federschwingel entwickelt sich, wie auch die Trespenarten, zu einem typischen Ungras auf Flächen mit pflugloser Bearbeitung. Dies gilt für den Ackerbau, ebenso wie für Sonderkulturen. Daher ist die Effektivität von Glyphosat gegen dieses Ungras von besonderem Interesse. Erschwerend kommt hinzu, dass der Mäuseschwanz-Federschwingel mit den selektiven Ungrasherbiziden nur schwer zu bekämpfen ist. Die ACCase-Hemmer zeigen generell eine sehr geringe Wirksamkeit. Die ALS-Hemmer wirken je nach Wirkstoff sehr unterschiedlich. Frühere Versuchsergebnisse zeigen, dass Trespenarten von geeigneten ALS-Wirkstoffen deutlich sicherer erfasst werden, als der Mäuseschwanz-Federschwingel. Bodenherbizide entwickeln in Abhängigkeit vom Wirkstoff nur im Vorauflauf eine akzeptable Wirkung.
Die vorliegenden Ergebnisse zeigen einen möglichen Anpassungsprozess des Mäuseschwanz-Federschwingels auf regelmäßige Anwendungen von Glyphosat durch nachlassende Sensitivität bzw. beginnende Resistenz. Daher sind sowohl im pfluglosen Ackerbau, als auch in Obst- und Weinbau, alternative Verfahren erforderlich, um den Mäuseschwanz-Federschwingel weiterhin ausreichend kontrollieren zu können.

Literatur

CLARKE, J.H., A.M. BLAIR, S.R. MOSS, 1994: The testing and classification of herbicide resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass). Aspects of Applied Biology **37**, 181-188.

ISTA, 2015: International Rules for Seed Testing 2015. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.

LAWRENCE, N.C., I.C. BURKE, 2014: Control of Rattail Fescue (*Vulpia myuros*) in No-Till Winter Wheat. Weed Technology **28**(3), 471-478.

MATHIASSEN, S.K., 2016: Strategies for control of *Vulpia myuros*. Proceedings of the IWSC 2016, Prague (CZ).

SAS® VISUAL ANALYTICS 7.2, 2015: User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 706 p.

SEEFELDT, S.S., J.E. JENSEN, E.P. FUERST, 1995: Log-Logistic Analysis of Herbicide Dose-Response Relationships. Weed Technology **9**(2), p. 218-227.

DITOMASO, J.M., G.B. KYSER, 2013: Rattail fescue weed report. In: Weed Control in Natural Areas in the Western United States. Weed Research and Information Center, University of California. 544 p.

UNISTAT® LIMITED, 2015: User's Guide, Version 6.5. London, UK, 1244 P.

Resistenzentwicklung bei *Apera spica-venti* in Niedersachsen

Herbicide resistance in Apera spica-venti *in Lower Saxony*

Dirk Michael Wolber*, Goßwinth Warnecke-Busch, Lisa Köhler

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Wunstorfer Landstraße 9, 30453 Hannover
*Korrespondierender Autor, dirk.wolber@lwk-niedersachsen.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.056

Zusammenfassung

In den Jahren 2007 bis 2018 wurden auf 286 Monitoringflächen Samenproben von *Apera spica-venti* (Gemeiner Windhalm) gezogen und in Biotestungen die Wirksamkeit von Herbiziden unterschiedlicher Wirkstoffklassen getestet. Enge Getreidefruchtfolgen und einseitiger Herbizideinsatz ermöglichen *Apera spica-venti* Resistenzen gegenüber der Wirkstoffgruppe der ALS-Hemmer in Niedersachsen auf fast zwei Dritteln der untersuchten Standorte zu entwickeln. Neben den Wirkstoffgruppen der ALS-Hemmer und Photosynthesehemmer sind beginnend auch die ACCase-Hemmer resistenzgefährdet. Besonders Propaquizafop und Pinoxaden zeigen resistenzbedingt auf ersten Standorten zunehmende Wirkungsminderungen. Cycloxydim und Clethodim wirken allerdings gegen *Apera spica-venti* ausnahmslos, ebenso wie die Bodenwirkstoffe Flufenacet (enthalten in Cadou SC, Herold, Cadou forte und Bacara forte), Pendimethalin (enthalten in Malibu, Picona und Stomp Aqua), Flurtamone (enthalten in Cadou forte und Bacara forte) und Propyzamid (enthalten in Kerb flo. bzw. Milestone).

Weitere Herbizidresistenzen lassen sich bei *Apera spica-venti* durch Wirkstoffwechsel, Wirkstoffkombination und flankierende ackerbauliche Maßnahmen vermeiden.

Stichwörter: *Apera spica-venti,* Fruchtfolge, multiple Resistenzen, Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung

Abstract

From 2007 to 2018, seed samples of *Apera spica-venti* were taken on 286 monitoring sites and the effectiveness of herbicides with different classes of active ingredients was tested in bioassays. Short, cereal-dominated crop rotations and repeated use of herbicides with the same mode of action enable *Apera spica-venti* to develop resistance to the active ingredient group of ALS inhibitors in Lower Saxony at almost two-thirds of the sites investigated. In addition to the active ingredient groups of ALS inhibitors and photosynthetic inhibitors, ACCase inhibitors are also affected by resistance evolution. In particular, propaquizafop and pinoxaden show a loss of efficacy at several sites investigated. However, cycloxydim and clethodim are still effective against *Apera spica-venti*, as are the soil active ingredients flufenacet (included in Cadou SC, Herold, Cadou forte and Bacara forte), pendimethalin (included in Malibu, Picona and Stomp Aqua), flurtamone (included in Cadou forte and Bacara forte) and propyzamide (contained in Kerb flo and Milestone).

Further herbicide resistance evolution in *Apera spica-venti* can be reduced by rotation and combination of the active ingredients and accompanying agricultural measures.

Keywords: *Apera spica-venti,* crop rotation, grass weed control, herbicide resistance management, loose silky-bent grass, multiple resistance

Einleitung

Apera spica-venti (Gemeiner 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. *Apera spica-venti* kommt in Niedersachsen meistens auf sandigen, leichtstrukturierten Böden sowie auf den Lehmböden des mittleren Niedersachsens vor. Durch seine starke Bestockung und den langen Halm entwickelt *Apera spica-venti* eine starke Konkurrenzkraft gegenüber Wintergetreidebeständen, die größer ist als bei *Alopecurus myosuroides* (Acker-Fuchsschwanz). 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. ein bis vier 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.

Material und Methoden

Zum Nachweis einer vorliegenden Herbizidresistenz wurden in den Jahren 2007 bis 2018 Biotestungen im Gewächshaus an intakten Pflanzen, unter definierten Temperatur- und Lichtbedingungen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden 286 Samenproben von *Apera spica-venti* aus allen Teilen Niedersachsens für ein Herbizidresistenzmonitoring gesammelt und aufbereitet. Eine Samenprobe wird nachfolgend als Herkunft, also eine Probe eines Monitoring-Standortes, benannt. Die Proben stammen aus unbehandelten Versuchsvarianten.

Zur Probenvorbereitung werden die ausgedroschenen und gesiebten Samenproben 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 (Jiffi-Rundtöpfe 8 x 8 cm geschlitzt) in 4 Wiederholungen je Versuchsvariante. Die Töpfe (Jiffi-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 (lehmiger 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/m^2), 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 00-07 (je nach Herbizid) und für die Blattherbizide im BBCH 11-12.

Tab. 1 Im Resistenztest verwendete Herbizide.

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

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 Florasulam	130 g/ha + 0,6 l/ha	11-12
Broadway + Broadway Netzmittel	Pyroxsulam Florasulam	260 g/ha + 1,2 l/ha	11-12

Der Wirkungsgrad wurde gemäß EPPO-Richtlinie PP1/93(3) 21 und 28 Tage nach der Herbizidapplikation bonitiert. Für die Bewertung des Wirkungsgrades wurden folgende Grenzwerte zugrunde gelegt: Wirkungsgrad 0 - 50 %: für resistente Proben, Wirkungsgrad 51 - 80 %: für 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 11 Jahre leicht geändert. Die Tabelle 1 zeigt die Pflanzenschutzmittel, die in der Resistenzprüfung 2018 eingesetzt wurden. Als Referenz wurde ein sensitiver Standard von *Apera spica-venti* der Firma Herbiseed, Bergshire 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 wurde Iodosulfuron (Husar OD) gegen Glyphosat (Roundup PowerFlex) ausgetauscht.

Im Sommer 2015 wurden einige im Biotest resistente Herkünfte zusätzlich auf eine TSR (Taget-Site-Resistenz) untersucht.

Darüber hinaus erfolgte eine Auswertung der Schlaghistorien der Jahre 2011 bis 2016. Diese Schlaghistorien entstammen den Feldern, auf denen die Samenproben für die Biotestungen gezogen wurden und beschreiben Kulturart, Bodenbearbeitung und Herbizideinsatz auf den beprobten Flächen.

Ergebnisse

In den Jahren 2007 bis 2018 wurden 286 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 untersuchten 286 Herkünften, bei denen Resistenzen bei *Apera spica-venti* im Biotest vermutet wurden, wiesen 69 Herkünfte eine Resistenz gegen Pyroxsulam (enthalten in Broadway) auf (Abb. 1). Neben metabolischen Resistenzen wurden in diesen 69 Herkünften teilweise auch eine TSR Resistenz an der Position Trp 574 und Pro197 bestätigt. Von den insgesamt 286 untersuchten *Apera spica-venti*–Verdachtsproben wurden 165 Proben mit Husar OD (Iodosulfuron) getestet. Bei 50 % dieser untersuchten Herkünfte wurden nicht mehr ausreichende Wirkungsgrade gefunden. Nur 35 % der untersuchten Verdachtsproben weisen eine noch ausreichende Wirkung mit Wirkungsgraden von 81 – 100 % gegenüber *Apera spica-venti* auf. Broadway (Pyroxsulam) wirkt noch auf ca. 50 % der Standort gegen *Apera spica-venti* ausreichend sicher. Der Wirkungsabfall auf unter 50 % wird für 24 % der untersuchten Herkünfte bestätigt. Der ACCase- Hemmer Propaquizafop (enthalten in 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 DIM, wie Cycloxydim (enthalten in Focus Ultra) und Clethodim (enthalten in Select 240 EC), sind auf den untersuchten Monitoringflächen noch ausnahmslos wirkungssicher. Erste Resistenzentwicklungen in *Apera spica-venti* gegen die Wirkstoff Pinoxaden (enthalten in Axial 50 SC, Wirkstoffgruppe: DEN) wurden in Niedersachsen bereits auf 14 % der Standorte entdeckt, 82 % der untersuchten Proben zeigen noch ausreichende Wirkung.



Abb. 1 Überblick über untersuchte *Apera spica-venti*-Samenproben im Biotest 2007 - 2018.

Fig. 1 Overview of studied Apera spica-venti seed samples in the bioassay 2007 - 2018.

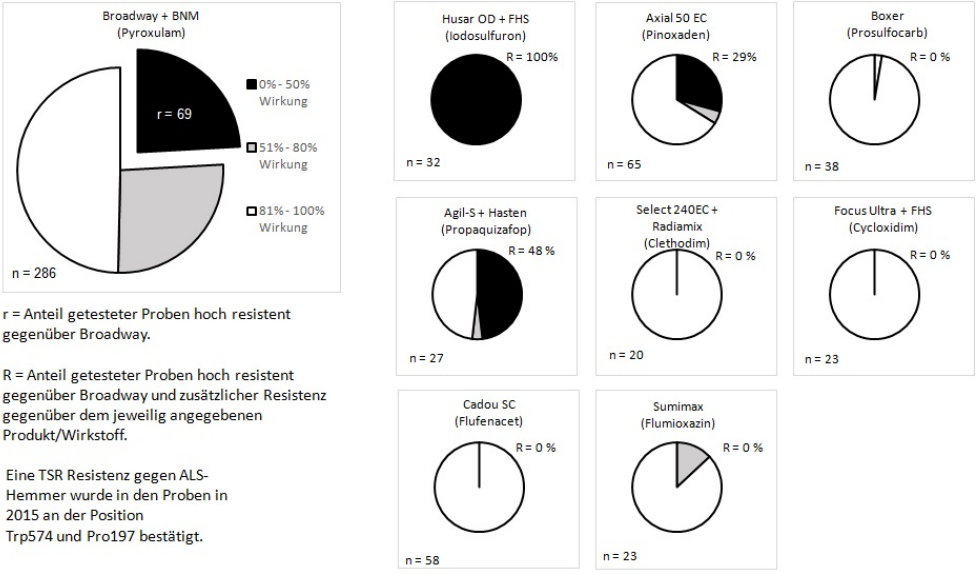


Abb. 2 Multiple Resistenz in *Apera spica-venti* bis 2018.

Fig. 2 Multiple resistance in Apera spica-venti until 2018.

Gegenüber dem Bodenherbizidwirkstoff Prosulfocarb (enthalten in Boxer) wird eine 98 % Wirkung bestätigt, bei Flufenacet (enthalten in Cadou SC) sogar noch eine Wirkung von 100 %. Flumioxazin (enthalten in Sumimax) wirkt auf den *Apera spica-venti* auf 94 % der untersuchten Standorte, aber der Wirkstoff Diflufenican (enthalten in Diflanil 500 SC) ist nur noch auf 62 % der untersuchten Standorte mit Wirkungsgraden über 51 % einzusetzen.

Auf ersten Standorten in Niedersachsen sind Mehrfachresistenzen (multiple Resistenzen) gegen unterschiedliche Wirkstoffklassen bei *Apera spica-venti* festzustellen, die Ergebnisse dazu sind in der Abbildung 2 dargestellt.

Die gegenüber Broadway (Wirkstoff: Pyroxulam) als resistent beurteilten Herkünfte (Anzahl 69, in der großen Darstellung der Abbildung 2) wurden in der jeweiligen Untersuchung auch gegen andere Wirkstoffe getestet. Die gegen Pyroxulam resistente Populationen *von Apera spica-venti* wiesen gleichzeitig eine Resistenz zu 100% gegenüber Iodosulfuron (enthalten in Husar OD) und zu 29 % gegenüber Pinoxaden (Wirkstoffgruppe DEN, enthalten in Axial 50 EC und Traxos) und zu 48 % Propaquizafop (Wirkstoffgruppe der FOP, enthalten in Agil-S) auf. Weitere Untersuchungen anhand der 69 gegenüber Pyroxulam resistente Populationen *von Apera spica-venti* wiesen gegenüber Prosulfocarb (enthalten in Boxer), Clethodim (enthalten in Select 240 EC), Cycloxydim (Focus Ultra), Flufenacet (enthalten in Cadou SC) und Flumioxazin (enthalten in Sumimax) keine Resistenzen auf.

Auf vielen Flächen in Norddeutschland werden ALS-Hemmer zur Bekämpfung von *Apera spica-venti* eingesetzt. Die Frage, wie sicher in den niedersächsischen Fruchtfolgen ALS-Hemmer noch sind, soll die folgende Auswertung der Schlagdaten in Tabelle 2 zeigen. Bei Proben aus Herkünften mit einer hohen Anzahl Winterungen in der Fruchtfolge (>3 Mal Winterung in 5 Jahren) ist die Anzahl der Herkünfte mit einem schlechten Bekämpfungserfolg (< 50 % Wirkung) von Husar OD (Iodosulfuron) gegen *Apera spica-venti* höher als die Anzahl der Standorte mit einem mittleren Bekämpfungserfolg (>51 % Wirkung). Die 38 Herkünfte, die im Biotest als resistent beurteilt wurden (< 50 % Wirkung von Husar OD im Biotest) hatten alle (100 %) Herkünfte 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.

Tab. 2 Auswertung von Schlagdaten nach Resistenzuntersuchung von *Apera spica-venti*.

Tab. 2 *Evaluation of field history data after resistance examination of Apera spica-venti.*

Herbizid	**Husar OD und Husar plus <50% Wirkung n=38 Proben mit mind. 5 jähr. Schlaghistorie Angaben in % der Schlaghistorien**	**Husar OD und Husar plus 51-79% Wirkung n=12 Proben mit mind. 5 jähr. Schlaghistorie Angaben in % der Schlaghistorien**	**Broadway <50% Wirkung n=25 Proben mit mind. 5 jähr. Schlaghistorie Angaben in % der Schlaghistorien**	**Broadway 51-79 % Wirkung n=13 Proben mit mind. 5 jähr. Schlaghistorie Angaben in % der Schlaghistorien**
> 3x Wintergetreide (in 5 Jahren in der Fruchtfolge)	100	92	100	92
Blattfrüchte in der Fruchtfolge	100	100	100	100
Pflugverzicht	58	33	76	38
> 1x ALS-Hemmer (in 5 Jahren in der Fruchtfolge)	92	83	96	92

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 76 % 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. Dieser Prozess hat sich in den letzten Jahren deutlich beschleunigt. 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 (WOLBER, 2017). Mit Pinoxaden (Axial 50 EC) beginnt auf den ersten niedersächsischen Flächen auch die Gruppe der ACCase-Hemmer (HRAC A) eine ehemals sichere Wirkung einzubüßen (WOLBER, 2014). 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.

Tab. 3 Wirkstoffgruppen nach HRAC und Wirkungsmechanismen mit deren Resistenzrisiko (WOLBER, 2017).

Tab. 3 *Groups of active substances according to HRAC and mechanisms of action with their risk to resistance (abstract) (WOLBER, 2017).*

	A	**B**	**C**	**E**	**F**	**G**	**K**	**N**	**O**
Wirkmechanismus	ACCase-Hemmer	ALS-Hemmer	Photosynthese-Hemmer	PPO-Hemmer	4-HPPD-Hemmer	ESPS-Hemmer	Zellwachstums-Hemmer	Lipidsynthese-Hemmer	Synthetische Auxine
Resistenzrisiko gegen Gräserarten	sehr hoch	sehr hoch	hoch	sehr gering	sehr gering	gering	mittel	gering	gering

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 Stoppelbearbeitung 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 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 besonders bei *Apera spica-venti* mindern. 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 Konkurrenzkraft sowie homogene, lückenfreie Bestände helfen ebenfalls den Unkrautbesatz zu unterdrücken und unterstützen so ein effektives Resistenzmanagement (WOLBER, 2017).

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 und die ackerbaulich flankierenden Maßnahmen (angepasste Fruchtfolgen, intensive Bodenbearbeitung und spätere Saattermine) gewährleisten auch weiterhin eine erfolgreiche Landbewirtschaftung. Der zusätzliche Einbau von Sommerungen in die Fruchtfolge sowie ein einmaliger Pflugeinsatz, damit die resistenten Samen vergraben werden, dienen eine weitere Resistenzentwicklung bei *Apera spica-venti* zu verzögern.

Literatur

EPPO-RICHTLINIE PP1/93(3): Weeds in cereals; European and Mediterranean Plant Protection Organisation.

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.

WOLBER, D.M., 2017: Herbizidresistenzen: Das Ende der Fahnenstange ist erreicht. Getreidemagazin **3**, 23-29.

Resistenzsituation von *Alopecurus myosuroides* in Niedersachsen

Resistance of herbicides against Alopecurus myosuroides *in Lower Saxony*

Dirk Michael Wolber*, Goßswinth Warnecke-Busch, Lisa Köhler

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Wunstorfer Landstraße 9, 30453 Hannover
*Korrespondierender Autor, dirk.wolber@lwk-niedersachsen.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.057

Zusammenfassung

Im Pflanzenschutzamt der LWK Niedersachsen werden Samen von *Alopecurus myosuroides* im sogenannten „Biotest" auf metabolische Herbizidresistenz und bei Bedarf auf weitergehende Target-site Resistenz (TSR) untersucht. Auf den norddeutschen Flächen brechen ganze Wirkstoffgruppen bei der Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in allen Ackerbaukulturen weg, insbesondere auf Flächen, die seit Jahren intensiv in engen Getreidefruchtfolgen bewirtschaftet werden. Auf knapp 50 % der untersuchten Standorte wurde eine mittlere bis starke ALS-Resistenz gegenüber Mesosulfuron (enthalten in Atlantis WG, Atlantis OD, Atlantis flex, Niantic) nachgewiesen. Weitere Herbizide aus der Gruppe der ALS-Hemmer sind betroffen, so zeigen rund die Hälfte der gegenüber Mesosulfuron resistenten niedersächsischen Standorte auch eine deutliche Wirkungseinschränkung gegenüber den Wirkstoffen Foramsulfuron und Thiencarbazone (beide enthalten in MaisTer Power) in Mais. Fast die Hälfte der untersuchten Proben zeigt in Niedersachsen keine ausreichende Wirkung mehr für die Wirkstoffgruppe der DIM, Focus Ultra ist besonders betroffen und in einem geringeren Umfang auch Select 240 EC. Die Wirkstoffgruppen A (ACCase-Hemmer), und C (Photosynthese Hemmer) leiden ebenfalls unter einem erhöhten Resistenzrisiko bei den Gräserarten und das gleichzeitig in den Wintergetreidearten, Winterraps und den Sommerungen wie Kartoffeln, Zuckerrüben, Mais und Sommergetreide. In der Wirkstoffgruppe K zeigt der Wirkstoff Flufenacet bei der Acker-Fuchsschwanzbekämpfung ebenfalls erste Ermüdungserscheinungen. Dagegen werden bislang keine Herbizidresistenzen in den Wirkstoffgruppen E (Flumioxazin, Carfentrazone und Bifenox), F (Diflufenican, Clomazone und den Triketonen) sowie in G (Glyphosat), N (Prosulfocarb, Ethofumesat und den Synthetischen Auxinen (Quinmerac, Aminopyralid, Clopyralid) und den sogenannten Wuchsstoffpräparaten beobachtet.

Weitere Herbizidresistenzen lassen sich für *Alopecurus myosuroides* nur durch Wirkstoffwechsel, Wirkstoffkombination und ackerbaulichen Maßnahmen vermeiden.

Stichwörter: Acker-Fuchsschwanz, *Alopecurus myosuroides,* Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung

Abstract

In the Plant Protection Office of the LWK Lower Saxony, seeds from *Alopecurus myosuroides* are tested in the so-called "bioassay" for metabolic herbicide resistance and, if necessary, for further target site resistance (TSR). On the North German plains, whole groups of active ingredients in the control of *A. myosuroides* break away in all agricultural crops, in particular on sites that have been cultivated intensively for years in short cereal-based crop rotation. Nearly 50% of the investigated sites showed medium to high resistance to mesosulfuron (contained in Atlantis WG, Atlantis OD, Atlantis flex, Niantic). Other herbicides from the HRAC group of ALS inhibitors are affected, with around half of the mesosulfuron-resistant samples from Lower Saxony also showing a significant reduction in their sensitivity to the active substance thiencarbazone (included in, for example, MaisTer Power) in maize. Almost half of the samples examined in Lower Saxony no longer have a sufficient sensitivity to the active ingredient group of DIMs; Focus Ultra is particularly affected and, to a lesser extent, Select 240 EC.

HRAC groups A (ACCase inhibitors) and C (photosynthetic inhibitors) also suffer from an increased risk of resistance in grass species, and at the same time in winter cereals, winter rape and spring crops such as potatoes, sugar beets, maize and summer cereals. In the HRAC group group K, the active ingredient flufenacet also shows the first signs of efficacy loss in the field of *A. myosuroides* control. In contrast, so far no herbicide resistance in the HRAC groups E (flumioxazine, carfentrazone and bifenox), F (diflufenican, clomazone and the triketones), G (glyphosate), N (prosulfocarb, ethofumesate and the synthetic auxins (quinmerac, aminopyralid, clopyralid) and the so-called growth hormone preparations has been observed.

Further herbicide resistance in *A. myosuroides* can only be mitigated by a rotation of active ingredients with different Mode of Action, the use of active ingredient combinations and agronomic measures.

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 – Winterraps) fördern das Auftreten von *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. *A. 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 2018 konnten in Niedersachsen 677 solcher Biotests 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 (Jiffi-Rundtöpfe 8 x 8 cm geschlitzt) in 4 Wiederholungen je Versuchsvariante. Die Töpfe (Jiffi-Pots) standen in Pflanzschalen (40 x 60 cm), auf deren Boden eine Plastikfolie sowie darauf ein Bewässerungsfließ passgenau ausgelegt wurde. Bei der Aussaaterde handelte es sich um PSA-Standardboden (lehmiger 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/m^2), 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.

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

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

Herbizid	Wirkstoff	Wirkstoff-gruppe	Aufwand-menge voll l/g/ha	Aufwand-menge 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

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 Stadium BBCH 0-7 (je nach Herbizid) und für die Blattherbizide im Stadium 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, Bergshire 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.

In den Jahren 2007 bis 2018 wurden in Niedersachsen insgesamt 677 Samenproben von *Alopecurus myosuroides* von Monitoringflächen im Biotest untersucht. Im Sommer 2015 wurden zusätzlich 26 im Biotest resistente Herkünfte auf eine Taget-Site-Resistenz (TSR) 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 *Alopecurus myosuroides* 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 *A. 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, Flupyrsulfuron, 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 A. myosuroides gegenüber teilweise mehreren Wirkstoffgruppen ausgebreitet. Neben der Wirkstoffgruppe der ACCase-Hemmer ist auch die Wirkstoffgruppe der ALS-Hemmer stark resistenzgefährdet. Die exakte Verbreitung von *A. myosuroides* wurde auf Landkreisebene von den Pflanzenschutzberatern der Landwirtschaftskammer Niedersachsen geschätzt (Abb. 1).

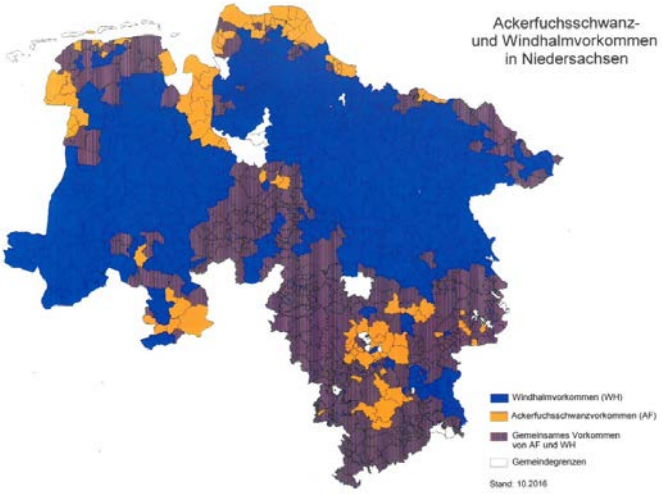


Abb. 1 Vorkommen von *Alopecurus myosuroides* in Niedersachsen.

Fig. 1 *Occurrence of Alopecurus myosuroides in Lower Saxony.*

In den Jahren 2007 bis 2018 wurden in Niedersachsen 677 Samenproben von *A. myosuroides* von Monitoring Flächen im Biotest untersucht (Abb. 2). In 285 Proben der untersuchten 677 *Alopecurus myosuroides* – Herkünfte wurden in den vergangenen zehn Jahren eine ALS-Resistenz gegenüber Mesosulfuron (enthalten in Atlantis WG, Atlantis OD, Atlantis flex, Niantic) nachgewiesen. Nur 43 % der untersuchten Monitoringproben weisen eine noch ausreichende Wirkung mit Wirkungsgraden von 81 – 100 % gegenüber Mesosulfuron auf.

Fast die Hälfte der untersuchten Proben in Niedersachsen zeigte mit Wirkungsgraden unter 50 % Wirkung keine ausreichende Wirkung für die Wirkstoffgruppe der DIMs. Cycloxydim (Focus Ultra) ist besonders betroffen und in einem geringeren Umfang auch Clethodim (Select 240 EC). Für die Gruppe der FOPs, dazu gehören Herbizide wie z. B. Fenoxaprop (Ralon Super), Clodinafop (Traxos, 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, Picona und Stomp Aqua). Der bodenwirksame Wirkstoff Flufenacet (enthalten in Cadou SC, Herold SC, Bacara Forte) zeigte in ca. 8 % der untersuchten Monitoringproben für *A. myosuroides* eine beginnende Herbizidresistenz.

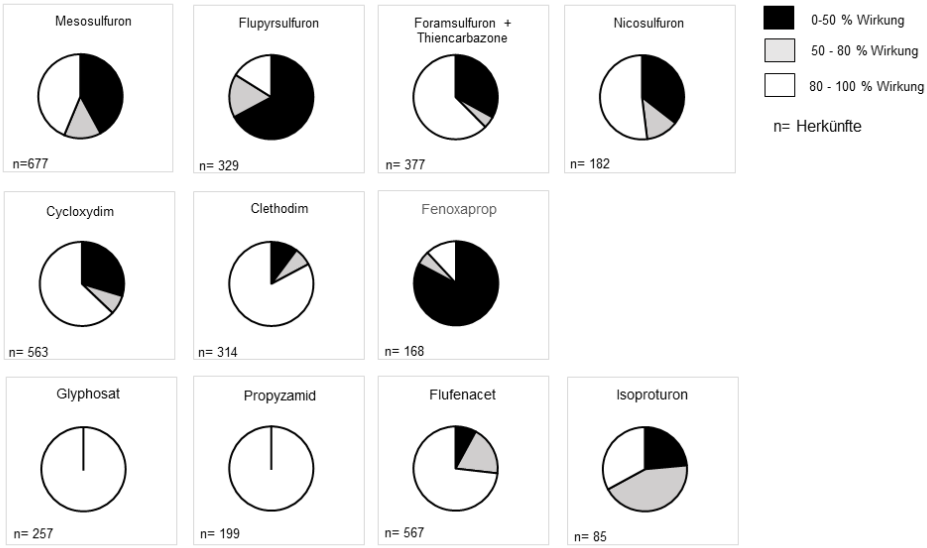


Abb. 2 Überblick über untersuchte *Alopecurus myosuroides*-Samenproben im Biotest 2007 – 2018.

Fig. 2 *Overview of studied Alopecurus myosuroides seed samples in the bioassays 2007 – 2018.*

Die 285 gegenüber Mesosulfuron resistenten Proben wurden im jeweiligen Testdurchgang auch bezüglich ihrer Sensitivität gegenüber anderen Wirkstoffen getestet. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 dargestellt. Bei mehr als 70 % der Proben (r= 81 von n=109 getesteten Proben) bestätigte sich im Biotest neben der Resistenz gegen Mesosulfuron auch eine Resistenz gegenüber dem im Mais eingesetzten Nicosulfuron (Motivell forte, Kelvin OD). Bei 55 % (r = 92 von n = 167) der als resistent gegenüber Mesosulfuron bestätigten Proben wurde gleichzeitig eine Resistenz gegenüber Foramsulfuron plus Thiencarbazone (MaisTer, MaisTer Power) festgestellt. Die als resistent gegenüber Mesosulfuron bestätigten Proben zeigten weiterhin eine Resistenz gegenüber Pinoxaden (85 % der Proben) und Fenoxaprop-P (93 % der Proben). 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 2006 bis 2016 in Niedersachsen zur Bekämpfung von *A. 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).

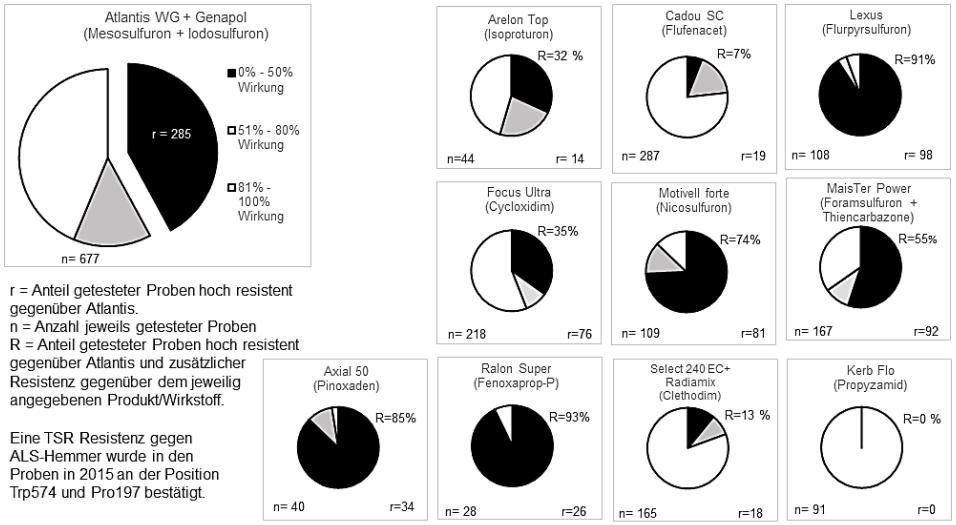


Abb. 3 Multiple Resistenz in *Alopecurus myosuroides* 2007 bis 2018.

Fig. 3 *Multiple resistance in Alopecurus myosuroides from 2007 until 2018.*

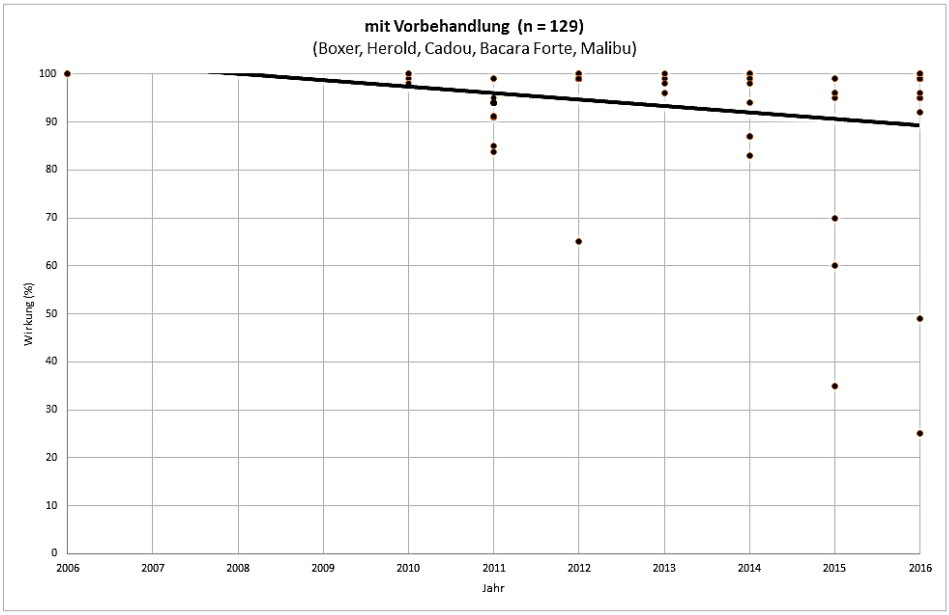


Abb. 4 Wirkungsverlust von Atlantis WG (0,5 kg/ha) in 129 niedersächsischen GEP-Versuchen im Wintergetreide.

Fig. 4 *Loss of efficiency of Atlantis WG (0.5 kg/ha) in 129 Lower Saxony GEP experiments in winter cereals.*

Die Auswertung der Schlagdaten in Tabelle 2 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. 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.

Tab. 2 Auswertung von Schlagkarteidaten nach Resistenzuntersuchung von *A. myosuroides* .

Tab. 2 *Evaluation of field data after resistance examination of A. myosuroides.*

Herbizid	**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 80-100 % 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)	84	96	57

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 Tabelle 3 aufgeführt (WOLBER, 2017).

Anhand der Resistenzuntersuchungen im Biotest und der ausgewerteten Versuche lässt sich die allgemeingültige Tabelle 4 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 Glyphosat 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 (ZWERGER, 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.

Tab. 3 Wirkstoffgruppen nach HRAC und Wirkungsmechanismen mit deren Resistenzrisiko.

Tab. 3 *Active substance groups according to HRAC and modes of action with their resistance to resistance (excerpt).*

	A	B	C	E	F	G	K	N	O
Wirkmechanismus	ACCase-Hemmer	ALS-Hemmer	Photosynthese-Hemmer	PPO-Hemmer	4-HPPD-Hemmer	ESPS-Hemmer	Zellwachstums-Hemmer	Lipidsynthese-Hemmer	Synthetische Auxine
Resistenzrisiko gegen Gräserarten	sehr hoch	sehr hoch	hoch	sehr gering	sehr gering	gering	mittel	gering	gering

Tab. 4 Wie hoch ist die Gefahr einer Herbizidresistenz? (Quelle: WOLBER (2017) verändert nach HRAC: Guidelines to the management of herbicide resistance).

Tab. 4 *What is the risk of herbicide resistance? (Source: WOLBER (2017) according to HRAC: Guidelines to the management of herbicide resistance).*

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 97 %) 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)

Eine angepasste Bodenbearbeitung unterstützt ein Anti-Resistenzmanagement zusätzlich, so bewirkt eine intensive Stoppelbearbeitung eine verbesserte Strohrotte. 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. Dieser Effekt ist dann besonders stark zu sehen, 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 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 Aussaattermine gewährleisten auch weiterhin eine erfolgreiche Landbewirtschaftung durch die Kombination von Stoppelbearbeitungsgängen 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.

EPPO-RICHTLINIE PP1/93(3): Weeds in cereals. European and Mediterranean Plant Protection Organisation.

LANDSCHREIBER, M., C. SCHLEICH-SAIDFAR, 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.

MOSS S.R., K.M. COCKER, A.C. BROWN, L. HALL, L.M. FIELD, 2003: Characterisation of taget-site resistance to ACCase-inhibiting herbicides in the Weed *Aleopecurus myosuroides* (black-gras). Pest Manag. Sci. **59**, 190-201.

WOLBER, D.M., 2017: Herbizdresistenzen: das Ende der Fahnenstange ist erreicht. Getreidemagazin **3/2017** (23 JG), 8-15.

WOLBER, D.M., 2017: Wirkstoffmanagement wird immer wichtiger. Getreidemagazin **4/2017** (23 Jg.), 18-27.

ZWERGER, P., H.U. AMMON, 2002: Unkraut Ökologie und Bekämpfung. Verlag Ulmer, ISBN 3-8001-3846-8.

ZWERGER, P., P. AUGUSTIN, J. BECKER, C. DIETRICH, R. FORSTER, K. GEHRING, R. GERHARDS, B. GEROWITT, M. HUTTENLOCHER, D. KERLEN, G. KLINGENHAGEN, M. LANDSCHREIBER, E. MEINDLSCHMIDT, 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.

Response to Glyphosate in *Alopecurus myosuroides* Populations from Lower Saxony

Wirkung von Glyphosat gegen Alopecurus myosuroides*-Populationen in Niedersachsen*

Markus Radziewicz[1*], Dirk Michael Wolber[1], Goßwinth Warnecke-Busch[1], Lisa Köhler[1], Diana Hofmann[2], Thomas Pütz[2]

[1]Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Wunstorfer Landstr. 9, 30453 Hannover, Germany
[2]Forschungszentrum Jülich GmbH, Institute of Bio- and Geosciences - IBG-3, Agrosphere, 52425 Jülich, Germany
[*]Corresponding author, markus.radziewicz@gmail.com

DOI 10.5073/jka.2020.464.058

Abstract

The broad-scale herbicide glyphosate is used worldwide in crop management system to control weeds, facilitate harvests, prepare seed beds, and desiccate cover crops. Greenhouse monitoring trials on herbicide resistance occurrence and potential spread conducted regularly in Lower Saxony, Germany, revealed a reduced glyphosate efficacy against some populations of *Alopecurus myosuroides*. This could indicate a potential shift towards a reduced sensitivity in some populations. A dose-response experiment was conducted with six *Alopecurus myosuroides* populations from various regions of Lower Saxony. A reference population, susceptible to glyphosate, was included for comparison. Plants were treated with a commercially available formulation containing the potassium salt of glyphosate. Treatments were 0, 225, 450, 900, 1800, 3600 and 7200 g glyphosate/ha. ED_{50} values were determined from the dose-response curves and corresponding resistance factors were calculated. When assessed three weeks after glyphosate treatment, single individuals from four out of six tested populations survived doses of 1800 and 3600 g glyphosate/ha without any visible damage and continued to grow. Six weeks after glyphosate application, a regrowth of several individuals from four populations, previously assessed as completely controlled by 900 g glyphosate/ha, occurred. The observations made in this study indicate that the populations tested may have a potential to evolve glyphosate resistance. Further experiments must be conducted to investigate underlying mechanisms.

Keywords: Dose-response experiment, ED_{50} values, glyphosate, resistance factors

Zusammenfassung

Das Totalherbizid Glyphosat wird weltweit im Pflanzenbau zur Unkrautbekämpfung, Ernteerleichterung, Saatbettbereitung und Abtötung von Zwischenfrüchten eingesetzt. Regelmäßig durchgeführte Gewächshaus-Monitoringversuche zum Auftreten und zur möglichen Verbreitung von Herbizidresistenzen in Niedersachsen zeigten, dass die Wirksamkeit von Glyphosat bei bestimmten Populationen von *Alopecurus myosuroides* reduziert ist. Dies könnte auf eine mögliche Toleranzverschiebung in Richtung einer reduzierten Sensitivität in manchen Populationen hinweisen. Eine Dosis-Wirkungs-Untersuchung wurde mit sechs *Alopecurus myosuroides*-Populationen aus verschiedenen Regionen Niedersachsens durchgeführt. Eine Glyphosat-sensitive Referenzpopulation wurde zum Vergleich herangezogen. Die Pflanzen wurden mit einer kommerziell erhältlichen, Glyphosat als Kaliumsalz enthaltenden, Formulierung in aufsteigenden Aufwandmengen (0, 225, 450, 900, 1800, 3600 und 7200 g Glyphosat/ha) behandelt. ED_{50}-Werte wurden aus den Dosis-Wirkungskurven ermittelt und Resistenzfaktoren berechnet. Von sechs geprüften Populationen überlebten drei Wochen nach der Glyphosatbehandlung einzelne Individuen aus vier Populationen bei Aufwandmengen von 1800 und 3600 g Glyphosat/ha ohne jeglichen sichtbaren Schaden und wuchsen weiter. Sechs Wochen nach der Glyphosatbehandlung mit 900 g Glyphosat/ha kam es zu einem Neuaustrieb verschiedener zuvor, als vollständig kontrolliert bewerteter, Individuen aus vier Populationen. Die in dieser Studie gemachten Beobachtungen deuten darauf hin, dass die getesteten Populationen ein Potenzial zur Resistenzentwicklung haben könnten. Weitere Experimente müssen durchgeführt werden, um die zugrundeliegenden Mechanismen zu untersuchen.

Stichwörter: Dosis-Wirkungsuntersuchung, ED_{50}-Werte, Glyphosat, Resistenzfaktoren

Introduction

The rise of chemical weed control began in the 40s of the 20th century. Since then, numerous herbicidal active ingredients have been discovered and developed (DUKE and POWLES, 2008; LORENTZ, 2014). The individual herbicidal actives known and largely used commercially today in herbicide formulations in their entirety have 25 different Modes of Action (MoA) (HEAP, 2019). One of these actives is glyphosate (N-(phosphonomethyl)glycine), which was introduced into the market in 1974.

It has become the most widely used active ingredient (a.i.) of herbicides worldwide. The outstanding success of glyphosate usage in practice is based on the fact that it can be used as a broad-spectrum herbicide against most weed species, shows a low toxicity to non-target organisms and is rapidly degraded in soil. Today, glyphosate is used worldwide in crop management system to control weeds, facilitate harvests, prepare seed beds, and desiccate cover crops on arable land. It is also used for weed control in orchards, vineyards, green areas such as national parks and amenity areas or along roads and railways (Duke and Powles, 2008; Powles, 2008; Powles and Yu, 2010; Lorentz, 2014). In addition, glyphosate is used extensively since the introduction of glyphosate-resistant crops in several countries as a selective in-crop herbicide for weed control (Duke and Powles, 2008; Powles, 2008; Lorentz, 2014). For a long time, it has been assumed that there is a low risk for the development of glyphosate-resistant weeds and that this phenomenon is unlikely to occur (Bradshaw et al., 1997; Baerson et al., 2002). The opposite became apparent in 1996, when the first naturally evolved resistance in a population of the weed species *Lolium rigidum* has been discovered in Australia (Powles et al., 1998). The second case of an evolved glyphosate resistance was observed in an *Eleusine indica* population from Malaysia in 1997 (Baerson et al., 2002). In 2019, resistant populations of 45 different weed species were documented (Heap, 2019) according to criteria defined by the Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) (Heap, 2005). No glyphosate-resistant weed populations have been confirmed in Germany to date. Regularly conducted greenhouse monitoring trials on herbicide resistance occurrence and potential spread in Lower Saxony (Germany) revealed a reduced glyphosate efficacy against some populations of *Alopecurus myosuroides*. Since 2015, individual plants in bioassays occasionally survived the recommended field rate of 1800 g glyphosate/ha or even higher rates (Wolber et al., 2018). This could indicate a potential shift towards reduced glyphosate sensitivity in some populations of this species. *A. myosuroides* is one of the most important weeds on arable land in Germany (Gehring et al., 2012; Petersen et al., 2012). It is also one of the most problematic weeds with regard to herbicide resistance in Germany (Balgheim, 2009). The aim of this study was to determine if six *A. myosuroides* populations from various regions of Lower Saxony show a reduced sensitivity or are even resistant to glyphosate. A dose-response study was conducted to determine ED_{50} values and to estimate resistance factors.

Materials and Methods

Plant Material

Seeds of six *A. myosuroides* populations for which a reduced glyphosate-sensitivity was suspected were used in this study, hereinafter referred to as P8, P11, P36, P39, A1 and A2. Seeds for populations P8 and P39 were collected from herbicide field trials conducted in 2018 in spring wheat fields in the Hanover Region and the district of Aurich, respectively. Seeds for populations P11 and P36 were collected in 2018 from a winter wheat field in the Hanover Region and from an oilseed rape field near Bremervörde, respectively. The plants from which the seed were collected survived field applications of herbicides with MoA's different to glyphosate. F1-Plants germinated from the collected seeds mentioned above were already evaluated in a greenhouse monitoring trial. Few plants of all four populations survived a glyphosate treatment of 1800 g a.i./ha (max. registered dose rate in Germany). Seed sampling from *A. myosuroides* populations A1 and A2 was conducted in 2018 from two sites in the district of Aurich. At these two sites, glyphosate had been applied as part of a field trial with different glyphosate treatments (variants). *A. myosuroides* seeds from three variants receiving different glyphosate rates were used (Tab. 1). To differentiate between the three variants, the population ID was extended by an additional number (e.g. A1.1). Population A1.1, A1.2 and A1.3 were treated three times at different dates with 1080, 1800 and 3600 g glyphosate/ha, respectively. Population A2.1, A2.2 and A2.3 were treated two times with the same glyphosate rates at different dates. It is unknown whether the plants used for seed sampling survived the glyphosate applications described in Tab. 1 or emerged at a later stage. Seeds of a glyphosate-susceptible *A. myosuroides* reference population were obtained from "Appels Wilde Samen", hereinafter referred to as S.

Preparation, growing conditions

Before the experiment, *A. myosuroides* seeds were placed in a freezer at -18 °C for a period of five days to break dormancy. Plastic foil (PE-LD) and hereon irrigation fleece were laid out in plant trays. Pots (Jiffypot®, round, 250 ml volume, Jiffy Products International BV, Zwijndrecht, Netherlands) were filled with approximately 300 g soil per pot (strong loamy sand, pH value 6.8, organic matter 1.9 %, steamed) and placed in the plant trays.

Tab. 1 Application dates and glyphosate dose rates for variants of populations A1 and A2.

Tab. 1 *Applikationszeitpunkte und Glyphosat-Aufwandmengen für Varianten der Populationen A1 und A2.*

Population.Variant	Glyphosate rate 1st application 27.09.2017	Glyphosate rate 2nd application 14.03.2018	Glyphosate rate 3rd application 09.05.2018
A1.1	1080 g a.i./ha	1080 g a.i./ha	1080 g a.i./ha
A1.2	1800 g a.i./ha	1800 g a.i./ha	1800 g a.i./ha
A1.3	3600 g a.i./ha	3600 g a.i./ha	3600 g a.i./ha
A2.1	-	1080 g a.i./ha	1080 g a.i./ha
A2.2	-	1800 g a.i./ha	1800 g a.i./ha
A2.3	-	3600 g a.i./ha	3600 g a.i./ha

On the base of a previously conducted germination test, seeds were portioned and 20 seeds were sown in each pot. The seeds in the pots were covered with a thin layer (approx. 1 cm) of the soil substrate mentioned before (sieved). After subirrigation of the pots in the plant trays, they were maintained in a greenhouse. Temperatures were set to 18 °C during day and 15 °C during night. The length of the photoperiod was 16 h. High-pressure sodium lamps (8000 Lux illuminance, 180 Watt/m^2) were used as additional light to extend the natural day length and automatically switched on under low light conditions (clouds, rainfall). The moisture level of the pots was checked daily and subirrigation conducted as needed. After glyphosate application, a nutrient solution (1 g/l H_2O, Ferty®2 (15 % N, 5 % P_2O_5, 25 % K_2O, 2 % MgO, 0.02 % B, 0.03 % Cu, 0.075 % Fe, 0.05 % Mn, 0.001 % Mo, 0.01 % Zn), Planta Düngemittel GmbH, Regenstauf, Germany) was added once a week in addition to subirrigation with water.

Glyphosate Dose-Response Experiment

After plants reached the 1- to 2-leaf stage (BBCH 11-12), they were treated with glyphosate at 0, 225, 450, 900, 1800, 3600 and 7200 g a.i./ha (Roundup® PowerFlex, potassium salt, 480 g/l glyphosate, Monsanto Europe S.A./N.V, Antwerp, Belgium). Glyphosate treatments were carried out using a laboratory track sprayer calibrated to deliver 200 l/ha of spray solution at 189 kPa and 2 km/h. There were eight replicated pots for population P8, P11, P36, P39, all three variants of A1 and S per treatment. A2.1 had five, A2.2 and A2.3 had three replications per treatment due to a lack of sufficient seed material. The experiment was not repeated. After glyphosate application, the pots were checked every two to three days for the presence of post-emerged plants in order to remove them mechanically (including the root). This was done to ensure that only herbicide treated *A. myosuroides* plants were present in the pots. Three weeks after treatment, glyphosate efficacy was visually assessed in %, compared to the untreated control on a scale of 0 to 100 %. The degree of efficacy indicates visible damages in the form of chlorosis, necrosis and growth inhibition (0 % = no effect, 100 % = completely controlled plants). In pots where individual plants survived the glyphosate treatment without any plant damage, the characteristic "non-controllable plants" was also determined. This is defined as the percentage of plants in a pot which is still alive three weeks after glyphosate treatment and continues to grow. If for example out of 12 plants in the pot one (= 0.083) survives without any plant damage, 8,3 % of the plants which were initially in that pot were not damaged by glyphosate. If a surviving plant (e.g. out of 14 = 0.071) is about a third smaller compared to the untreated control, one third is subtracted from the calculated percentage (e.g. 7.1 % - 1/3 = 4.7 %). The determined percentages of non-controllable plants have been subtracted from

the percentages of glyphosate efficacy. After the assessment, the pots were maintained in the greenhouse for another three weeks for further observation.

Data analysis

The data obtained from the dose-response experiment were examined with a nonlinear regression analysis. A four-parameter log-logistic model was used to create dose response curves:

$$y = c + \frac{d - c}{1 + e^{(b(\ln(x) - \ln(ED_{50})))}}$$

The parameter d represents the upper limit and c the lower limit of the dose-response curve. Parameter b describes the relative slope around e. Parameter e is the inflection point of the curve, which at the same time marks the ED_{50} value. ED_{50} is the effective dose at which 50 % glyphosate efficacy is achieved (compared to an untreated control) (KNEZEVIC et al., 2007). The log-logistic model described above was analysed in the statistical software R (v 3.6.1) with its dose–response curve package (drc). Initially all data sets were fitted to log-logistic and Weibull functions and lack-of-fit tests were carried out to determine the appropriateness of the models in order to choose one of them for analysis. The parameters for the upper and lower limits were the same for all populations. Therefore, a model reduction was conducted where c (= 0 %) and d (= 100 %) were set as common parameters for all curves. Lack-of-fit tests (F-Test) were carried out to determine whether the model reduction did contribute to a more accurate analysis. To determine significant differences in sensitivity between S and the test populations, resistance factors were calculated from estimated ED_{50} values using the EDcomp function in the drc package (RITZ and STREIBIG, 2005; KNEZEVIC et al., 2007; RITZ, 2010; RITZ et al., 2015).

Results

Glyphosate Dose-Response

Lack-of-fit tests revealed that the four-parameter log-logistic model with c and d set as common parameters adequately described the dose-response relationship at different glyphosate rates for all populations. The curves of the populations P8, P11, P36, P39 and A1.1, A1.3 showed a slight shift towards higher glyphosate rates compared to the S curve (Fig. 1-2). The curves of A1.2, A2.1, A2.2 and A2.3 were almost congruent with the S curve.

Tab. 2 ED_{50} values and resistance factors (R/S) of tested *A. myosuroides* populations calculated from dose-response experiment data assessed three weeks after glyphosate treatment, SE= Standard error, p-value (P) > 0.05 = non-significant difference between ED_{50} of the test population and ED_{50} of the S population.

Tab. 2 *ED_{50}-Werte und Resistenzfaktoren (R/S) der geprüften A. myosuroides-Populationen berechnet aus Boniturdaten aus dem Dosis-Wirkungs-Experiment ermittelt drei Wochen nach der Glyphosatbehandlung, SE= Standardfehler, p-Wert (P) > 0.05 = nicht signifikante Unterschiede zwischen der ED_{50} der Testpopulation und ED_{50} der S Referenz.*

Population	ED_{50} ±SE	ED_{50} ratio [R/S]	p-value
S	377.9 ±104.2	-	-
P8	439.9 ±68.3	1.160	0.564
P11	426.5 ±7.8	1.129	0.525
P36	448.2 ±6.5	1.189	0.406
P39	438.8 ±10.9	1.171	0.278
A1.1	421.4 ±21.1	1.128	0.511
A1.2	393.5 ±43.5	1.053	0.794
A1.3	429.0 ±10.7	1.148	0.452
A2.1	406.0 ±98.5	1.053	0.942
A2.2	409.6 ±52.9	1.063	0.934
A2.3	388.9 ±86.5	1.009	0.99

The curve shapes were in accordance to the ED_{50} values and resistance factors showed in Table 2. The ED_{50} value of S in Table 2 is the mean value from regression analyses with each tested population. The calculated resistance factors were all close to each other and not significantly higher than one. The populations tested all show a 1.009-1.189-fold tolerance in comparison to S. The lowest resistance factor was observed for population A2.3 with a 1.009-fold tolerance compared to S. Population P36 showed the largest resistance factor with a 1.189-fold tolerance. No statistically significant differences between ED_{50} values of the test populations and the S reference could be detected indicating no statistically significant reduction in sensitivity in any of the tested populations (Tab. 2).

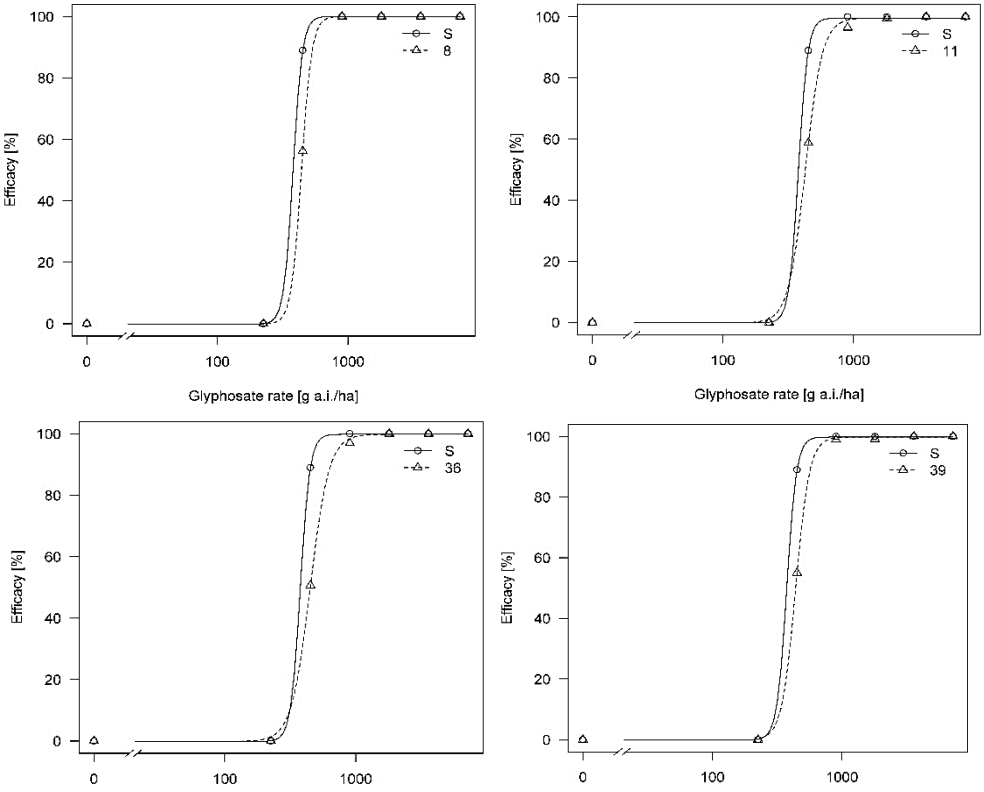


Fig. 1 Efficacy (%) of glyphosate applied at different dose rates to populations S, P8, P11, P36 and P39.

Abb. 1 *Wirkung (%) von verschiedenen Glyphosat-Dosierungen bei den Populationen S, P8, P11, P36 und P39.*

At the time of glyphosate efficacy assessment (21 days after treatment), several plants from populations P11, P36 and P39 survived the glyphosate treatment of 900 g a.i./ha without any visible damage and continued to grow. Among the populations P11, P39 and A1.3, one plant in each population survived the glyphosate treatment of 1800 g a.i./ha. Among A1.2 and A2.2, one plant in each population even survived the glyphosate treatment of 3600 g a.i./ha without any damage.

Further observation

Three weeks after assessment of glyphosate efficacy (six weeks after glyphosate treatment), the surviving plants mentioned above had developed several tillers and continued to grow vitally. Compared to the untreated control, survivors from populations P11, A1.3 (surviving 1800 g glyphosate/ha) and A1.2, A2.2 (surviving 3600 g glyphosate/ha) were delayed in development. Survivor from P39 (surviving 1800 g glyphosate/ha) developed just as fast as the untreated control.

In addition, a regrowth of various individual plants rated as completely controlled at glyphosate efficacy assessment (21 days after treatment) occurred in populations P8, P11, A1.1, A1.2, A1.3, A2.1 and A2.2. This phenomenon was observed in pots which were treated with 900 g glyphosate/ha.

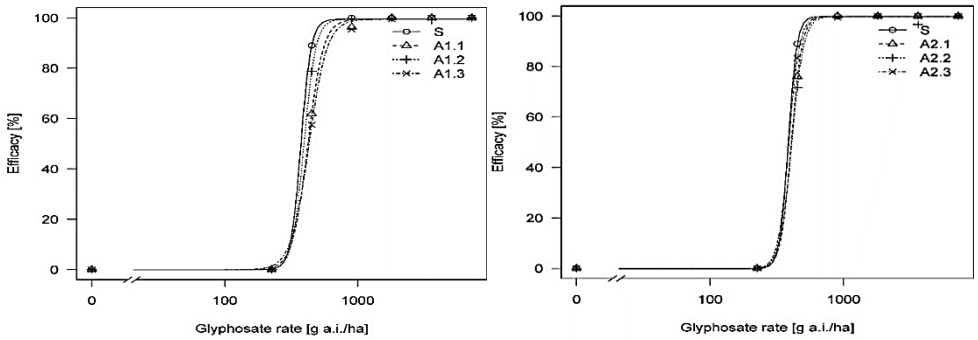


Fig. 2 Efficacy (%) of glyphosate applied at different dose rates to population S and three variants of populations A1 and A2.

Abb. 2 *Wirkung (%) von verschiedenen Glyphosat-Dosierungen bei der Population S und drei Varianten der Populationen A1 und A2.*

Discussion

The resistance factors determined for the six tested *A. myosuroides* populations were very low. In similar studies with glyphosate in different grass species, consistently higher resistance factors were determined e.g. 1.9-30 in *Lolium rigidum*, 5-10.3 in *Lolium multiflorum* or 25.1 in *Lolium perenne* (Wakelin and Preston, 2006; Perez-Jones et al., 2007; Bostamam et al., 2012; Adu-Yeboah et al., 2014; Ghanizadeh et al., 2014; Ghanizadeh et al., 2016). When carrying out dose-response studies, seeds are often collected from plants having survived a glyphosate application and have therefore undergone a selection process (Wakelin and Preston, 2006; Perez-Jones et al., 2007; Bostamam et al., 2012; Adu-Yeboah et al., 2014; Ghanizadeh et al., 2014; Ghanizadeh et al., 2016). In other studies, seeds from plants (*Amaranthus palmeri*, *Ambrosia trifida*) surviving glyphosate application have been collected and their progeny subjected to further glyphosate selection. The seeds of the surviving progeny were then used for glyphosate dose-response experiments (Nandula et al., 2012; Nandula et al., 2015). Such approaches may lead to higher resistance factors being identified. On the other hand, dose-response studies using seeds from non-preselected plants show lower glyphosate resistance factors, e.g. a resistance factor of 3 was observed for *Lolium multiflorum* (Nandula et al., 2007), 1.1-22.7 for *Amaranthus palmeri*, and 1.3-7.5 for *Amaranthus tuberculatus* and *Amaranthus blitum* (Lorentz, 2014). It is unknown whether the seeds for the dose-response experiment presented in this paper originate from preselected plants. In the case of low observed resistance factors, the question arises as to whether the tested plants are actually resistant to the tested herbicide. Observed differences in glyphosate efficacy could also be due to natural differences in the herbicide sensitivity of a weed species (Nordmeyer and Zwerger, 2010). Significant interpopulation variation in sensitivity to glyphosate was detected in 40 different populations of *A. myosuroides* in the UK (Davies and Neve, 2017). Determined ED_{90} values from five populations were significantly higher compared with the reference susceptible population used. The least and most sensitive populations had a ratio of 1.7 between ED_{90} values. No glyphosate resistance among the tested field-collected populations could be proven (Davies & Neve, 2017). When looking at dose-response curves, ED_{50} values, resistance factors and the fact that no statistically significant differences could be detected between the ED values of the test populations and the S reference, the populations tested cannot be classified as resistant. However, in the work presented here individual plants from the populations P11, P39, A1 and A2 have survived the full (1800 g a.i./ha) or double (3600 g a.i./ha) glyphosate dose rate permitted in Germany without any visible damage and continued to grow vitally. Beyond that, three weeks after assessment of glyphosate efficacy a regrowth by various visually dead appearing plants

treated with half permitted application rate (900 g a.i./ha) from P8, P11, A1 and A2 have occurred. The consideration of the observations made in this study indicates that the populations tested may have a potential for resistance development against glyphosate. Among these populations there may already be a possible tolerance shift towards a reduced sensitivity and as a result occasional plants can survive the full permitted application rate or even higher rates. It has to be noted that the observed survivors are not plants which have emerged after glyphosate application as emergence was checked in the pots on a regular basis. The occasional survivors can be considered as tolerant biotypes for which the resistance mechanism remains unknown. In the case of a repeated assessment of glyphosate efficacy at a later point of time with the inclusion of regrowed plants from populations P8, P11, A1 and A2 treated with 900 g glyphosate/ha, the resulting ED_{50} values and resistance factors might be higher. The phenomenon of a tolerance shift can be caused by repeated application of reduced herbicide rates which can lead to survivors. Selection experiments with reduced glyphosate rates against *A. myosuroides* and *Lolium rigidum* have shown that after only two to three selection cycles, a reduction in sensitivity against glyphosate can occur within a population (Busi and Powles, 2009; Davies and Neve, 2017). As a result, individual plants may survive the full recommended dose rate. The reason for this is a slow accumulation of genetically caused properties within a population that cause an increased tolerance (Busi and Powles, 2009; Davies and Neve, 2017). Selected plants with the mentioned (genetically caused) characteristics transmit those characteristics to their progeny (Busi and Powles, 2009; Davies and Neve, 2017). In addition, frequent application of glyphosate without rotation of different MoA can also lead to a selection process and survivors. In this case, tolerance-increasing characteristics would also be accumulated in a concerned population (Busi and Powles, 2009; Norsworthy et al., 2012). With regard to the facts described above and in order to preserve glyphosate as an essential part of weed management, more diverse weed management systems must be realized in the future among crop producers in Lower Saxony. It is strongly advised to apply glyphosate at the full recommended dose rates. Furthermore, a sequential application of glyphosate-containing herbicides should be avoided. Instead, the usage of herbicides with different MoA in annual rotations or tank mixtures and sequential applications should be practiced. Better, an extended crop rotation should be applied. This is advisable because risks of resistance development are greater in production systems with limited crop rotation (Norsworthy et al., 2012). The repeated use of a cultivator should be included in soil tillage after crop harvest and before new planting in order to stimulate uniform weed seed germination. In addition, the use of a plough can bury weed seeds in deeper layers and thus reduce a later emergence (Norsworthy et al., 2012; Wolber et al., 2018). The observations presented in this study suggest that further experiments must be conducted to investigate underlying mechanisms.

References

Adu-Yeboah, P., J.M. Malone, G. Gill, 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** (1), 4-10.

Baerson, S.R., D.J. Rodriguez, M. Tran, Y. Feng, N.A. Biest, G.M. Dill, 2002: Glyphosate-Resistant Goosegrass. Identification of a Mutation in the Target Enzyme 5-Enolpyruvylshikimate-3-Phosphate Synthase. Plant Physiol. **129**, 1265-1275.

Balgheim, N., 2009: Investigations on herbicide resistant grass weeds. Hohenheim, University of Hohenheim, Institute of Phytomedicine, Department of Weed Science, Dissertation.

Bostamam, Y., J.M. Malone, F.C. Dolman, P. Boutsalis, 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** (3), 474-479.

Bradshaw, L.D., S.R. Padgette, S.L. Kimball, B.H. Wells, 1997: Perspectives on Glyphosate Resistance. Weed Technology **11**, 189-198.

Busi, R., 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., P. Neve, 2017: Interpopulation variability and adaptive potential for reduced glyphosate sensitivity in *Alopecurus myosuroides*. Weed Research **57** (5), 323-332.

Duke, S.O., S.B. Powles, 2008: Glyphosate – a once in a century herbicide. Pest Manag. Sci. **64**, 319-325.

Gehring, K., R. Balgheim, E. Meinlschmidt, 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. 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control, Julius-Kühn-Archiv **434**, 89-101.

GHANIZADEH, H., K.C. HARRINGTON, T.K. JAMES, D.J. WOOLLEY, N.W. ELLISON, 2014: Mechanisms of glyphosate resistance in two perennial ryegrass (*Lolium perenne*) populations. Pest management science **71**, 1617-1622.

GHANIZADEH, H., K.C. HARRINGTON, T.K. JAMES, D.J. WOOLLEY, 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. Last access Saturday, September 28, 2019. Available https://hracglobal.com/files/Criteria-for-Confirmation-of-Herbicide-Resistant-Weeds.pdf

HEAP, I., 2019: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. Internet. Last access Tuesday, October 15, 2019. Available www.weedscience.org

KNEZEVIC, S.Z., J.C. STREIBIG, C. RITZ, 2007: Utilizing R Software Package for Dose-Response Studies - The Concept and Data Analysis. Weed Technology **21**, 840-848.

LORENTZ, L., 2014: Herbicide Resistance – Molecular and Physiological Characterization of the Glyphosate Resistant Weeds *Amaranthus* ssp. and *Sorghum* ssp.. Bonn, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Dissertation.

NANDULA, V.K., D.H. POSTON, T.W. EUBANK, C.H. KOGER, K.N. REDDY, 2007: Differential Response to Glyphosate in Italian Ryegrass (*Lolium Multiflorum*) Populations from Mississippi. Weed Technology **21** (2), 477-482.

NANDULA, V.K., K.N. REDDY, C.H. KOGER, D.H. POSTON, A.M. RIMANDO, S.O. DUKE, J.A. BOND, D.N. RIBEIRO, 2012: Multiple Resistance to Glyphosate and Pyrithiobac in Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) from Mississippi and Response to Flumiclorac. Weed Science **60** (2), 179-188.

NANDULA, V.K., A.A. WRIGHT, C.R. VAN HORN, W.T. MOLIN, P. WESTRA, K.N. REDDY, 2015: Glyphosate Resistance in Giant Ragweed (*Ambrosia trifida* L.) from Mississippi Is Partly Due to Reduced Translocation. American Journal of Plant Sciences **6**, 2104-2113.

NORDMEYER, H., P. ZWERGER, 2010: Estimation of herbicide resistance in grass weeds with a bioassay. Journal für Kulturpflanzen **62** (10), 376-382.

NORSWORTHY, J.K., S.M. WARD, D.R. SHAW, R.S. LLEWELLYN, R.L. NICHOLS, T.M. WEBSTER, K.W. BRADLEY, G. FRISVOLD, S.B. POWLES, N.R. BURGOS, W.W. WITT, M. BARRETT, 2012: Reducing the Risks of Herbicide Resistance - Best Management Practices and Recommendations. Weed Science **60** (Special Issue 1), 31-62.

PEREZ-JONES, A., K.W. PARK, N. POLGE, J. COLQUHOUN, C.A. MALLORY-SMITH, 2007: Investigating the mechanisms of glyphosate resistance in *Lolium multiflorum*. Planta **226**, 395-404.

PETERSEN, J., G. NARUHN, H. RAFFEL, 2012: Non target-site resistance inherent in *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* – resistance pattern and factors. 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control, Julius-Kühn-Archiv **434**, 43-50.

POWLES, S.B., D.F. LORRAINE-COLWILL, J.J. DELLOW, C. PRESTON, 1998: Evolved resistance to glyphosate in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in Australia. Weed Science **46** (5), 604-607.

POWLES, S.B., 2008: Evolved glyphosate-resistant weeds around the world – lessons to be learnt. Pest Manag. Sci. **64**, 360-365.

POWLES, S.B., Q. YU, 2010: Evolution in Action – Plants resistant to Herbicides. Annu. Rev. Plant Biol. **61**, 317-347.

RITZ, C., J.C. STREIBIG, 2005: Bioassay Analysis using R. Journal of Statistical Software **12** (5), 1-22.

RITZ, C., 2010: Toward a unified approach to dose-response modeling in ecotoxicology. Environmental Toxicology and Chemistry **29** (1), 220-229.

RITZ, C., F. BATY, J.C. STREIBIG, D. GERHARD, 2015: Dose-Response Analysis Using R. PLOS ONE **10** (12), 1-13.

WAKELIN, A., C. PRESTON, 2006: A target-site mutation is present in a glyphosate-resistant *Lolium rigidum* population. Weed Research **46**, 432–440.

WOLBER, D.M., G. WARNECKE-BUSCH, L. KÖHLER, M. KREGEL, M. RADZIEWICZ, 2018: Variability in glyphosate efficacy in *Alopecurus myosuroides* HUDS. (blackgrass) in Lower Saxony. Julius-Kühn-Archiv **458**, 260-268.

Entwicklung der Herbizidresistenz bei Windhalm (*Apera spica-venti*) in Bayern

*Development of herbicide resistance in Loose silky-bent (*Apera spica-venti*) in Bavaria*

Klaus Gehring*, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz,
Lange Point 10, 85354 Freising-Weihenstephan
*Korrespondierender Autor, klaus.gehring@lfl.bayern.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.059

Zusammenfassung

Der Gemeine Windhalm (*Apera spica-venti*) ist eines der wichtigsten Leitungräser im bayerischen Ackerbau. Für die Vermeidung von hohen Ertrags- und Qualitätsverlusten ist eine effektive chemische Bekämpfung im Wintergetreideanbau unverzichtbar. Durch Veränderungen in der Produktionstechnik, wie z. B. vereinfachte Fruchtfolgen und reduzierte Bodenbearbeitung, haben die Besatzdichten in den Befallsregionen zugenommen. Seit etwa 15 Jahren ist eine deutliche Entwicklung von herbizidresistenten Biotypen und Populationen feststellbar.

Der bayerische Pflanzenschutzdienst verfügt über langjährige Erfahrungen zur Resistenzentwicklung bei Windhalm. Die Auswertung von Verdachtsuntersuchungen und Monitoringerhebungen beschreibt die Resistenzentwicklung von Windhalm in Bayern. Die Ergebnisse der Resistenzuntersuchungen werden in Bezug auf die Auswirkungen auf einzelne Herbizide, auf Wirkmechanismusgruppen, auf den Resistenzmechanismus und hinsichtlich Effekten in Form von Kreuzresistenz ausgewertet.

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

Stichwörter: Biotest, Kreuzresistenz, Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung, Wirkortresistenz

Abstract

Loose silky-bent grass (*Apera spica-venti*) is one of the most important grass weeds in Bavaria. Effective chemical weed control is essential to prevent loss of yield and harvest quality in winter cereals. Crop rotations with more winter cereals and reduced soil cultivation caused a higher infestation of loose silky-bent in arable farming regions. Effects of herbicide resistance were observed since the last 15 years. Herbicide resistance of loose silky-bent is well surveyed by the official plant protection service of Bavaria leading to a wide experience in resistance testings and knowledge on the development of resistant loose silky-bent grass. This knowledge provides the opportunity to deduce future prospects in resistance dynamics in loose silky-bent grass.

Keywords: Biotest, cross-resistance, grass weed control, herbicide resistance management, target site resistance

Einleitung

Windhalm ist nach Ackerfuchsschwanz das zweitwichtigste Leitungras im Wintergetreideanbau in Bayern. Windhalm tritt im Vergleich zum Ackerfuchsschwanz bevorzugt auf Standorten mit mittleren bis leichteren Böden auf. Aufgrund der Hauptkeimperiode im Herbst können jahrgangsweise wechselnde Besatzdichten beobachtet werden, wobei in Jahren mit einer niederschlagsreichen Witterung im Herbst tendenziell eine stärkere Windhalmentwicklung auftritt. Das Schädigungspotenzial von durchschnittlich 20 bis 30 % des Wintergetreideertrages wird in der Praxis häufig unterschätzt. Die auf Windhalm-Standorten in der Wintergerste notwendigen Herbstbehandlungen werden vorwiegend mit den herbiziden Wirkstoffen Flurtamone, Flufenacet und teilweise mit Prosulfocarb, Pinoxaden oder Chlortoluron vorgenommen. Der von der Pflanzenschutzberatung zur Vermeidung von Resistenzentwicklungen geforderte Anwendungsverzicht von Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren (HRAC-Gruppe B) im Herbst wird von der Anbaupraxis weitestgehend nachvollzogen. In Winterweizen wird die Windhalmbekämpfung zum Großteil erst im Frühjahr durchgeführt. Die Herbizidanwendung lastet hierbei vorwiegend auf Präparaten aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren. Iodosulfuron und Pyroxsulam sind Standardwirkstoffe zur Windhalmbekämpfung im Frühjahr in Winterweizen. Zu

einem deutlich geringeren Anteil kommt auch Pinoxaden, zum Beispiel zur Nachbehandlung in Wintergerste, zum Einsatz.

Nach ersten Fällen mit Isoproturon-Resistenz bei Windhalm Anfang der 1990er Jahre steht seit 2005 die Resistenz gegenüber ALS-Inhibitoren bzw. Sulfonylharnstoffherbiziden im Fokus der Beratung und Anbaupraxis. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse zur Resistenzuntersuchung bei Windhalm entstammen teilweise systematischen Monitoringerhebungen aus dem Untersuchungsjahrgang 2009; ansonsten handelt es sich um Verdachtsproben aus der Beratungs- und Anbaupraxis sowie um systematische Untersuchungen der Versuchsstandorte des bayerischen Pflanzenschutzdienstes zur Herbizidprüfung in der Windhalmbekämpfung. Die Resistenzuntersuchungen werden seit 2004 mit einem standardisierten Biotest durchgeführt. Das Spektrum der geprüften Herbizide wurde im Untersuchungszeitraum an die vorwiegend eingesetzten und zugelassenen Präparate angepasst. Die Ergebnisse dienen der betriebsspezifischen Ausrichtung eines sachgerechten Herbizid- bzw. Resistenzmanagements und der Fachberatung zur Vermeidung der Resistenzentwicklung durch die Weiterentwicklung der guten fachlichen Praxis in Form eines fundierten Anti-Resistenzmanagements.

Material und Methoden

Die Herbizidresistenz von Verdachtsproben 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 (ISTA, 2015). Die Aussaat erfolgte flächig mit einem Mikrolöffel auf Pflanztopfträgerplatten (10 Töpfe mit 4,5 cm Durchmesser). Die Saatstärke wurde so eingestellt, dass nach der Korngröße und Keimfähigkeit der jeweiligen Herkünfte ein relativ gleichmäßiger Pflanzenbestand im Vergleich aller im Test befindlichen Prüfherkünfte erreicht wurde. Als Substrat wurde ein natürlicher Mineralboden vom Standort Freising verwendet (Parabraunerde aus Lösslehm, 2,8 % OS, pH 7,2), der im Verhältnis 3:1 mit einem handelsüblichen Torf-Kultursubstrat (Typ Höfter Humaton Standard, 80 % organische Substanz, pH 5,8, nährstoffangereichert) aufgemischt wurde. Die Bewässerung erfolgte durch regelmäßiges Gießen und im Wechsel im Anstauverfahren zur gleichmäßigen Durchfeuchtung der Pflanztöpfe. Nach Bedarf wurde i.d.R. eine einmalige Düngung mit Flüssigdünger (Wuxal® 8-8-6, 100 ml/10 l Gießwasser) mit der Bewässerung vorgenommen. Die Anzucht bis zur Herbizidbehandlung fand in einer Starklichtklimakammer (Typ York® 520284) statt. Bei einer Tag:Nacht-Phase von 12:12 Stunden wurde die Temperatur in einem Bereich von 20 °C am Tag bis 12 °C in der Nachtperiode und die Lichtintensität in einem Bereich von 0-70000 Lux (Lampen Typ Phillips® MT400LE/U, Weißlicht mit tageslichtähnlichem Vollspektrum, 400 µmol PAR/m^2*s) geregelt. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde auf konstant 85 % gehalten.

Die Applikation erfolgte je nach zu prüfenden Herbizid unmittelbar nach der Einsaat und Befeuchtung im Vorauflaufverfahren (BBCH 00) bzw. nach einer Anzuchtperiode von ca. 10-14 Tagen im Entwicklungsstadium BBCH 10-12. Hierfür wurde eine linearangetriebene Laborspritzbahn (Fab. Schachtner) verwendet. Die Applikationskabine war mit Flachstrahldüsen vom Typ TeeJet® 8001EVS ausgestattet. Bei einem Spritzdruck von 2,5 bar und einer Geschwindigkeit von 2,0 km/h betrug die Wasseraufwandmenge 200 l/ha. Bei den durchgeführten Dosis-Wirkungsversuchen wurde mit 2 bis 3 Konzentrationsstufen der eingesetzten Herbizide gearbeitet. Dabei entsprach eine der geprüften Konzentrationen der max. zugelassenen Standarddosis des jeweiligen Herbizids. Die Dosierung wurde so gewählt, dass bei der sensitiven Vergleichsherkunft ein mittlerer Wirkungsgrad im Bereich von 85-95 % erzielt wurde. Die Behandlungen wurden mit vier bis fünf Wiederholungen durchgeführt. Die im Untersuchungszeitraum geprüften Herbizide wurden dem jeweiligen Zulassungsstand angepasst. Die aktuell verwendeten Herbizide sind in Tabelle 1 dargestellt.

Nach der Herbizidapplikation wurden die Pflanzen für eine Wirkungsperiode von in der Regel 21 Tagen in ein Gewächshaus verlagert. Die Solltemperatur wurde auf 20 °C am Tag und 10 ° C in der Nacht reguliert. Die Feuchtigkeit der Raumluft bewegte sich in einem Bereich von 50-95 % rLF. In

Ergänzung zur natürlichen Lichtintensität wurde Kunstlicht mit einer Stärke von 5000 bis 8000 Lux nach Bedarf zugeschaltet. Nach Abschluss der Wirkungsperiode wurde die Herbizidwirkung in % Wirkungsgrad im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bonitiert und die Sprossfrischmasse durch Wägung bestimmt.

Tab. 1 Im Resistenztest 2018 verwendete Herbizide.

Tab. 1 *Herbicides used in the resistance test 2018.*

Präparat	**Wirkstoff**	**Standard-dosis**	**Prüfkonzentrationen (% Standarddosis)**			**Applikations-termin**
Handelsname	**a.i.**	**g a.i./ha**	**50**	**100**	**200**	**BBCH**
Bacara forte	Flufenacet + Flurtamone + Diflufenican	96,00 + 96,00 + 96,00	☑	☑	-	00
Cadou SC	Flufenacet	175,00	☑	☑	☑	00
Boxer	Prosulfocarb	2400,00	☑	☑	-	10-11
Lentipur 700	Chlortoluron	1050,00	☑	☑	☑	10-11
Axial 50	Pinoxaden	45,00	-	☑	☑	12
Broadway + FHS*	Pyroxsulam + Florasulam	8,88 + 2,96	☑	☑	☑	12
Husar OD	Iodosulfuron	9,32	☑	☑	☑	12

*) präparatespezifischer Formulierungshilfsstoff
☑ = Prüfkonzentration angewendet, - = Prüfkonzentration nicht angewendet
BBCH = Skala für das phänologische Pflanzenentwicklungsstadium von APESV

Für die Bewertung der Herbizidsensitivität der Prüfherkünfte wurde eine Resistenzklassifikation verwendet (CLARKE et al., 1994). Das Bewertungssystem beruht auf der Ermittlung von fünf Resistenzklassen. Diese ergeben sich aus dem Wirkungsunterschied zwischen einer im jeweiligen Versuch mit geprüften sensitiven und einer resistenten Vergleichsherkunft. Hierdurch können die Auswirkungen von Umwelteinflüssen bei der Versuchsdurchführung auf die Resistenzbewertung verringert werden. Für die Resistenzeinstufung wurden primär die Frischmasseergebnisse aus der Behandlung mit der Standarddosis verwendet. Bei einem Wirkungsergebnis in der Stufe 1 liegt die Herbizidsensitivität der jeweiligen Prüfherkunft im Bereich der sensitiven Vergleichsherkunft. Ab der Stufe 2 dieser Klassifikation werden Herkünfte zwar bereits als „resistent" bezeichnet, für die Resistenzeinstufung der Prüfherkünfte wurde die Stufe 2 jedoch als nachlassende Sensitivität mit einem Verdacht auf Herbizidresistenz bewertet. Biotypen, die im Test die Stufen 3-5 erreichten, wurden gegenüber dem jeweiligen Herbizid als resistent bis hoch resistent eingestuft. Ab dem Untersuchungsjahrgang 2014, der seit 2004 systematisch durchgeführten Resistenzuntersuchungen, wurden Biotypen mit hohen Resistenzgraden (Stufe 4-5) gegenüber einzelnen oder mehreren Wirkungsklassen (ALS- oder ACCase-Hemmer) zusätzlich einer molekulargenetischen Prüfung auf Wirkortresistenz unterzogen (IDENTXX, 2018).

Ergebnisse

Der Bayerische Pflanzenschutzdienst führt seit 2004 ein systematisches Untersuchungsprogramm zur Überprüfung der Herbizidresistenz bei Windhalm durch. Während in den ersten Jahren Resistenzen gegenüber Isoproturon (PSII-Inhibitor) vorrangig auftraten, dominiert inzwischen die Resistenz gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren. Im Mittel der bisherigen Untersuchungen von 192 Herkünften ist die Resistenz gegenüber PSII-Hemmern bzw. den Wirkstoff Isoproturon (IPU) mit einem Anteil von 9 % zwar relevant; im Verhältnis zur Resistenz gegen Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren (Flupyrsulfuron, Iodosulfuron, Sulfosulfuron, Penoxsulam, Pyroxsulam) mit einem Anteil von 64 % allerdings nur von untergeordneter Bedeutung. Seit dem Untersuchungsjahrgang 2008 stagniert der Anteil an IPU-Resistenzen. Da der Wirkstoff inzwischen nicht mehr zugelassen ist und für den in der Anwendung befindlichen PSII-

Hemmer Chlortoluron bisher noch keine Resistenzen festgestellt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die Bedeutung der Herbizidresistenz von Windhalm gegenüber PSII-Hemmern weiter nachlässt. Resistenzen gegenüber ACCase-Inhibitoren (Pinoxaden) sind bisher nur in drei Einzelfällen nachgewiesen worden (Tab. 2). Gegenüber den Bodenherbiziden Chlortoluron, Flufenacet und der Wirkstoffkombination Flufenacet + Flurtamone + Diflufenican (Bacara forte®), sowie den ab 2018 neu in die Untersuchung aufgenommenen Prosulfocarb (Boxer®) sind bisher in Bayern noch keine Herbizidresistenzen nachgewiesen worden.

Tab. 2 Häufigkeit der Herbizidresistenz je nach Wirkmechanismusgruppe im Untersuchungszeitraum 2004 bis 2018 (n = 192 Herkünfte).

Tab. 2 *Rate of herbicide resistance according to mode of action conducted 2004 - 2018 (n = 192 Biotypes).*

Herbizid Wirkmechanismus	HRAC (Code)	Anteil resistenter Herkünfte (%)
ALS-Inhibitoren	B	64,1
ACCase-Inhibitoren	A	1,6
Photosystem-II-Inhibitoren	C2	9,4
Zellwachstumshemmer	K3	0,0

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

Neben Biotypen mit Resistenzen gegenüber einzelnen Herbizid-Wirkungsklassen treten in relativ geringen Umfang auch Resistenzen gegenüber verschiedenen Wirkungsklassen auf. Der Anteil von Resistenzen gegenüber ALS- und PSII-Hemmern bzw. ALS- und ACCase-Hemmern liegt bei jeweils 2 %. Resistenzen gegen ALS-, ACCase- und PSII-Hemmern haben einen Anteil von 1 % an den untersuchten Herkünften.

Bei auffälligen Biotypen mit hohen bis sehr hohen Resistenzgraden wurden molekulargenetische Untersuchungen in Auftrag gegeben (IDENTXX, 2018). Hierbei konnte bei 12 von 16 Verdachtsherkünften eine Wirkortresistenz gegen ALS-Hemmern bestätigt werden. Die Wirkortresistenz betraf eine Mutation an der Position Trp-574 in der ALS-Gensequenz, die zu einem Austausch von Tryptophan durch Leucin führte. Bei zwei Biotypen trat zusätzlich eine Mutation an der Position Pro-197, mit Austausch von Proline durch Threonine, auf.

Diskussion

Die Herbizidresistenz bei Windhalm entwickelt sich aufgrund einer zunehmenden Resistenzdynamik bei ALS-Inhibitoren zu einem ernsthaften Problem in der Anbaupraxis. Während bei Wintergerste und früh gesätem Winterweizen auf bisher nicht resistenzgefährdete Boden-Breitbandherbizide aus der Wirkungsklasse HRAC K3 ausgewichen werden kann, ist die Windhalmbekämpfung in Winterweizen zu einem Großteil auf den Einsatz von blattaktiven Herbiziden im Frühjahr angewiesen. Der zunehmend hohe Anteil an Resistenzbestätigungen gegenüber ALS-Inhibitoren und die in Einzelfällen nachgewiesene Wirkortresistenz ist eine ernsthafte Gefährdung dieser Wirkungsgruppe für eine ausreichend sichere Regulierung von Windhalm in der Frühjahrsbehandlung. Ein Ausweichen auf das in Bayern bisher nur sehr selten von Resistenz betroffene Herbizid Pinoxaden (HRAC: A) stellt keine nachhaltige Wirkstoffstrategie dar, weil auch dieser Wirkstoff bzw. diese Wirkmechanismusgruppe als resistenzgefährdet eingestuft werden muss (RAFFEL et al., 2010). Für ein Herbizidmanagement zur Vermeidung von multiresistenten Windhalm-Populationen (AUGUSTIN, 2010) kann daher nur auf den verstärkten Einsatz von weniger gefährdeten Bodenherbiziden aus der HRAC-Klasse K3 oder N ausgewichen werden (GEHRING et al., 2012). Die alternative Anwendung von Chlortoluron ist nur begrenzt im Wirkstoffmanagement benutzbar, da der Einsatz dieses Wirkstoffs auf sorptionsschwachen Standorten aus Gründen des vorbeugenden Gewässerschutzes nicht empfohlen wird. Als ackerbauliche Maßnahme zur Verringerung der Resistenzdynamik bei Windhalm besteht die Option für einen reduzierten Anbau von Wintergetreide im Rahmen der Fruchtfolge. Dieser Maßnahme stehen allerdings wirtschaftliche Hemmnisse entgegen. Weitere alternative Regulierungsverfahren, wie Anpassung der Saattermine und der Bodenbearbeitung, zeigen dagegen nur einen geringen

Einfluss auf die Resistenzentwicklung (GERHARDS und MASSA, 2011). Als vorbeugende Maßnahme zur Verringerung des Resistenzrisikos sollte daher auch in Winterweizen eine bevorzugte Bekämpfung von Windhalm durch Herbstbehandlungen auf Basis von Herbiziden aus der HRAC-Gruppe K3 oder N vorgenommen werden, um den Selektionsdruck gegenüber ALS-Inhibitoren zu begrenzen und eine Resistenzentwicklung gegenüber ACCase-Inhibitoren von Windhalm zu vermeiden (GEHRING, 2015).

Literatur

AUGUSTIN, B., 2010: Windhalm-Herkunft aus Rheinland-Pfalz mit multipler Herbizidresistenz. Julius-Kühn-Archiv **428**, 271-272.

CLARKE, J.H., A.M. BLAIR, S.R. MOSS, 1994: The testing and classification of herbicide resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass). Aspects of Applied Biology **37**, 181-188.

GEHRING,K., 2014: Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern. Getreidemagazin **19**, 1/2014, 8-14.

GEHRING, K., 2015: Herbizidresistenz – Bevor es ganz zu spät ist. DLG-Mitteilungen, Sonderheft Mai 2015, 4-7.

GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT, 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, 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, S. THYSSEN, 2012: Herbizidresistenz bei *Apera spica-venti* L. in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **434**, 133-137.

GEHRING, K., T. FESTNER, S. THYSSEN, 2014: Entwicklung der Herbizidresistenz bei Windhalm (*Apera spica-venti*) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **447**, 551-552.

GEHRING, K., T. FESTNER, S. THYSSEN, 2016: Entwicklung der Herbizidresistenz bei Windhalm (*Apera spica-venti*) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **452**, 418-423.

GERHARDS, R., D. MASSA, 2011: Two-year investigations on herbicide resistant silky bent grass (*Apera spica-venti* L. Beauv.) populations in winter wheat – population dynamics, yield losses, control efficacy and introgression into sensitive population. Gesunde Pflanzen **63**(2), 75-82.

IDENTXX, 2018: Molekulargenetische Untersuchung zur Wirkortresistenz bei Windhalm. Unveröffentlicht.

ISTA, 2015: International Rules for Seed Testing 2015. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.

RAFFEL, H., J. PETERSEN, J. GORNIAK, D. KAUNDUN, 2010: Ungrasresistenz – was müssen wir tun um die Leistungsfähigkeit von Wirkstoffen zu erhalten? Julius-Kühn-Archiv **428**, 274.

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

*Development of herbicide resistance in Black-grass (*Alopecurus myosuroides*) in Bavaria*

Klaus Gehring*, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz,
Lange Point 10, 85354 Freising-Weihenstephan
*Korrespondierender Autor, klaus.gehring@lfl.bayern.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.060

Zusammenfassung

Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) ist eines der wichtigsten Leitungräser 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 Mähdreschereinsatz, 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 2018 werden zunehmend multiresistente Populationen mit Resistenzen gegenüber verschiedenen Herbizid-Wirkmechanismen nachgewiesen. Bei den seit 2012 zusätzlich durchgeführten molekulargenetischen Untersuchungen werden regelmäßig Wirkortresistenzen gegen ACCase- und ALS-Inhibitoren bestätigt. In Einzelfällen treten multiple Wirkortresistenzen gegen die beiden wichtigsten Herbizidklassen auf.

Stichwörter: Kreuzresistenz, Resistenzmanagement, Ungrasbekämpfung, Wirkortresistenz

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 increasingly based on 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 20 years. The black-grass herbicide resistance is well surveyed by the official plant protection service of Bavaria leading to a broad experience in resistance testings and understanding of the resistance development of black-grass. First resistance cases in 2004 covered mostly resistance to ACCase-Inhibitors. Currently increased selection pressure can be observed for ALS-Inhibitors. In the course of our resistance testing program, multiple resistance and multiple target-site resistance occurred increasingly.

Keywords: Cross resistance, grass weed control, herbicide resistance management, target site resistance

Einleitung

Acker-Fuchsschwanz ist in vielen Ackerbauregionen Bayerns das entscheidende Leitungras für die Gestaltung erforderlicher Herbizidbehandlungskonzepte im Wintergetreideanbau, in Winterraps und im Maisanbau. Die Notwendigkeit zur 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 von Zunahmen bei der Resistenzentwicklung bei Acker-Fuchsschwanz erhält der Bayerische Pflanzenschutzdienst jährlich etwa 30 bis 40 Samenproben zur Untersuchung auf Herbizidresistenz. Die Ergebnisse eines seit 2004 standardisierten Untersuchungsverfahrens liefern wertvolle Informationen für die Entwicklung eines standort- bzw. betriebsspezifischen Herbizidmanagements zur Vermeidung oder den möglichen Umgang mit

resistenten Acker-Fuchsschwanzpopulationen. Für die Fachberatung dienen die Informationen zur Weiterentwicklung der guten fachlichen Praxis bei der Unkrautbekämpfung im Ackerbau.

Material und Methoden

Die Herbizidresistenz von Verdachtsproben aus der Anbaupraxis und von systematischen Monitoringproben wurde in einem Biotest unter kontrollierten Umweltbedingungen in der Klimakammer und im Gewächshaus untersucht. Die Samenproben wurden mit einem Saugluft-Stufensichter (Fab. Pelz, Typ 2) aufbereitet. Anschließend wurde die Keimfähigkeit nach ISTA-Methode ermittelt (ISTA, 2015). Die Aussaat erfolgte flächig mit einem Mikrolöffel auf Pflanztopfträgerplatten (10 Töpfe mit 4,5 cm Durchmesser). Die Saatstärke wurde so eingestellt, dass nach der Korngröße und Keimfähigkeit der jeweiligen Herkünfte ein relativ gleichmäßiger Pflanzenbestand im Vergleich aller im Test befindlichen Prüfherkünfte erreicht wurde. Als Substrat wurde ein natürlicher Mineralboden vom Standort Freising verwendet (Parabraunerde aus Lösslehm, 2,8 % OS, pH 7,2), der im Verhältnis 3:1 mit einen Torf-Kultursubstrat (tonhaltiges Torfsubstrat, Typ Höfter Humaton Standard, 80 % organische Substanz, pH 5,8, nährstoffangereichert) aufgemischt wurde. 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 Bewässerung 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 70.000 Lux (Lampen Typ Phillips® MT400LE/U, Weißlicht mit tageslichtähnlichem Vollspektrum, 400 µmol PAR/m^2*s) geregelt. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde auf konstant 85 % gehalten.

Die Applikation erfolgte je nach zu prüfenden Herbizid unmittelbar nach der Einsaat und Befeuchtung im Vorauflaufverfahren (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® (Pyroxsulam + Florasulam) wurde die in Bayern praxisübliche Aufwandmenge als Standarddosis berücksichtigt. Das in Getreide nicht selektive Graminizid Focus Ultra® (Cycloxydim) wurde als Indikator für ACCase-Wirkortresistenz verwendet. Eine ähnliche Information hinsichtlich ALS-Wirkortresistenz liefert die Anwendung von Kelvin OD® (Nicosulfuron), da das Maisherbizid nicht mit einem Safener ausgestattet ist. 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 signifikaten Unterschieden unterzogen.

Tab. 1 Im Resistenztest in 2018 eingesetzte Herbizide.

Tab. 1 *Herbicides used in 2018 in the resistance test.*

Präparat	**Wirkstoff**	**Standarddosis**	**Prüfkonzentrationen (% Standarddosis)**			**Applikationstermin**
Handelsname	**a.i.**	**g/ha**	**50**	**100**	**200**	**BBCH**
Cadou SC	Flufenacet	250,00	☑	☑	-	00
Lentipur 700	Chlortoluron	2100,00	☑	☑	☑	10-11
Attribut	Propoxycarbazone	53,07	☑	☑	☑	10-11
Atlantis OD	Mesosulfuron + Iodosulfuron	9,72 + 1,86	☑	☑	☑	12
Axial 50	Pinoxaden	60,00	-	☑	☑	12
Broadway + FHS*	Pyroxsulam + Florasulam	15,03 + 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

Nach der Herbizidapplikation wurden die Pflanzen für eine Wirkungsperiode von in der Regel 21 Tagen in ein Gewächshaus verlagert. Die Lufttemperatur wurde auf 20 °C am Tag und 10 °C in der Nacht reguliert. Die Feuchtigkeit in der Raumluft bewegte sich in einem Bereich von 50-95 % rLF. In Ergänzung zur natürlichen Lichtintensität wurde Kunstlicht mit einer Stärke von 5000 bis 8000 Lux nach Bedarf zugeschaltet. Nach Abschluss der Wirkungsperiode wurde die Herbizidwirkung in % Wirkungsgrad im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bonitiert und die Sprossfrischmasse durch Wägung bestimmt.

Für die Bewertung der Herbizidsensitivität der Prüfherkünfte wurde eine Resistenzklassifikation verwendet (CLARKE et al., 1994). Das Bewertungssystem beruht auf der Ermittlung von fünf Resistenzklassen. Diese ergeben sich aus dem Wirkungsunterschied zwischen einer im jeweiligen Versuch mit geprüften sensitiven und einer resistenten Vergleichsherkunft. Hierdurch können die Auswirkungen von Umwelteinflüssen bei der Versuchsdurchführung auf die Resistenzbewertung verringert werden. Für die Wirkungseinstufung wurden primär die Frischmasseergebnisse aus Behandlungen mit der Standarddosis verwendet. Bei einem Wirkungsergebnis in der Stufe 1 liegt die Herbizidwirkung gegenüber der jeweiligen Prüfherkunft 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 resistenten Vergleichsherkunft eingeteilt. Im Untersuchungszeitraum von 2004 bis 2018 wurden 533 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). Dabei besteht ein erheblicher Unterschied zwischen Sword® (Clodinafop) und Axial 50® (Pinoxaden) gegenüber den in Getreide nicht-selektiven Focus Ultra® (Cycloxydim). In der Gruppe der ALS-Inhibitoren tritt eine deutliche Abstufung hinsichtlich der Resistenzbelastung in der Reihenfolge

von Lexus® (Flupyrsulfuron) > Attribut® (Propoxycarbazone) > Atlantis OD® (Mesosulfuron + Iodosulfuron) > Broadway® (Pyroxsulam + 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 Acker-Fuchsschwanzbekämpfung im Maisanbau, in das Prüfset aufgenommen. Das einzige, aktuell im Prüfset vorhandene Präparat aus der Gruppe der PSII-Inhibitoren, Lentipur 700® (Chlortoluron), weist eine 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. Für das Herbizid Cadou SC® (Flufenacet) aus der Gruppe der Zellwachstumshemmer (K3) wurde bisher keine Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz in Bayern nachgewiesen (Tab. 2).

Tab. 2 Resistenzhäufigkeit im Vergleich der aktuell untersuchten Herbizide im Mittel der Untersuchungsjahrgänge 2004 bis 2018 (n = 533 Herkünfte).

Tab. 2 *Rate of herbicide resistance in case of current evaluated herbicides averaged over tests conducted 2004 - 2018 (n = 533 biotypes).*

Präparat (Handelsname)	HRAC (Code)	Wirkstoff (a.i.)	Anteil resistenter Herkünfte (%)
Sword	A	Clodinafop	14,8
Axial 50	A	Pinoxaden	16,0
Focus Ultra	A	Cycloxydim	2,0
Atlantis OD	B	Mesosulfuron + Iodosulfuron	7,0
Attribut	B	Propoxycarbazone	10,7
Broadway + FHS*	B	Pyroxsulam + Florasulam	5,0
Kelvin OD	B	Nicosulfuron	1,1
Lentipur 700	C2	Chlortoluron	6,5
Cadou SC	K3	Flufenacet	0,0

*) präparatespezifischer Formulierungshilfsstoff; HRAC = Herbicide Resistance Action Committee

In Bezug auf die jeweilige Wirkmechanismusgruppe sind im Verlauf des gesamten Untersuchungszeitraums ACCase-Inhibitoren (HRAC: A), mit einer Resistenzhäufigkeit von 51 %, eindeutig am stärksten betroffen (Tab. 3). Bei einem Anteil von 39 % 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 bodenaktiven Herbiziden aus der Gruppe der Photosystem-II-Inhibitoren (HRAC: C2; Wirkstoffe: Chlortoluron) und der Zellwachstumshemmer (HRAC: K3; Wirkstoffe: Flufenacet und Pendimethalin) sind mit einer Häufigkeit von 7 % und 2 % nur nachrangig von Herbizidresistenz betroffen. 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.

Tab. 3 Häufigkeit der Herbizidresistenz je nach Wirkmechanismusgruppe in Untersuchungszeitraum.

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

Herbizid-Wirkmechanismus	HRAC-Code	Anteil resistenter Herkünfte (%)
ACCase-Inhibitoren	A	51
ALS-Inhibitoren	B	39
Photosystem-II-Inhibitoren	C2	7
Zellwachstumshemmer	K3	2

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

Fälle von Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz verteilen sich relativ gleichmäßig in den bayerischen Ackerbaugebieten, wenngleich eine gewisse Konzentration im historischen Acker-Fuchsschwanzgebiet im westlichen Franken und Schwaben und in der Region Coburg festgestellt werden kann (Daten nicht dargestellt). In den Untersuchungen bestätigte sich bei 46 % der Proben ein Resistenzverdacht mit Wirkungsergebnissen in den relevanten Klassen 3-5. Ab dem Untersuchungsjahrgang 2008 nahm der Anteil an Herkünften mit Resistenz gegenüber ACCase-Inhibitoren deutlich zu (Abb. 1). Im Vergleich der Resistenz gegenüber verschiedenen Wirkgruppen hat die Resistenz gegenüber ACCase-Inhibitoren (HRAC: A) nach wie vor die größte Bedeutung, gefolgt von Resistenzen gegenüber ALS-Inhibitoren (HRAC: B) und mit deutlichen Abstand gegenüber PSII-Inhibitoren (HRAC: C2). Resistenzen gegenüber Zellwachstumshemmern (K3) auf dem Niveau der Klassen 3-5 konnte bisher nicht festgestellt werden. Herbizidresistenz gegenüber einem einzigen Wirkmechanismus wurde bei 53 % der positiv geprüften Herkünfte festgestellt. Hierbei handelte es sich vorwiegend um Resistenz gegen ACCase-Inhibitoren (39 %), während der Anteil an ALS-Resistenzen (23 %) in der jüngeren Untersuchungsperiode allerdings zunimmt. Resistenzen gegen Photosystem-Inhibitoren (C2) und Zellwachstumshemmern (K3) sind mit einem Anteil von jeweils 5 % dagegen relativ nachrangig. Resistenz gegen zwei verschiedene Wirkungsgruppen (Mode of Action, MOA) tritt bei 74 % der resistenten Biotypen auf. Kreuzresistenz gegen drei MOA kommt noch in 35 % der Resistenzfälle vor, während eine Kreuzresistenz gegen alle vier in der Anwendung befindlichen MOA nur in 2 % der Fälle auftritt.

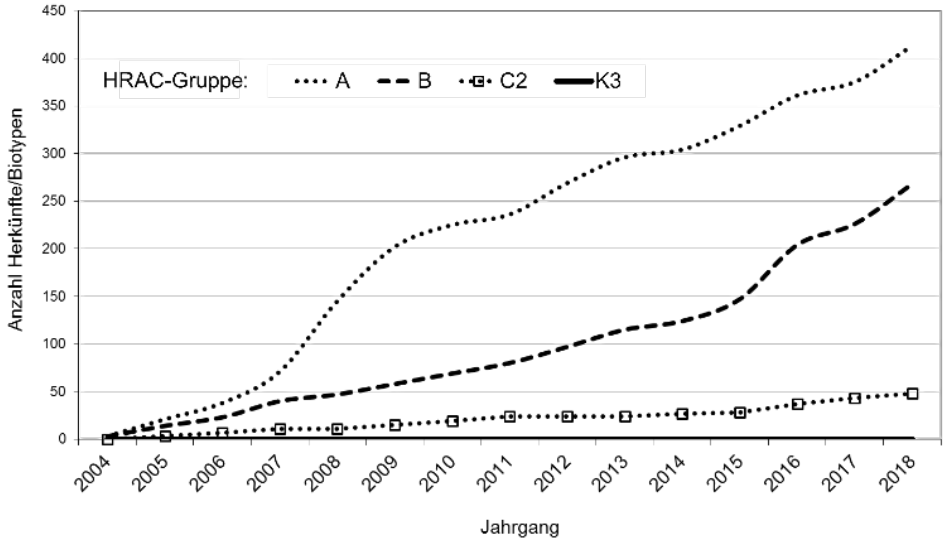


Abb. 1 Entwicklung der Herbizidresistenz je nach Wirkmechanismus (HRAC-Gruppe).

Fig. 1 *Development of herbicide resistance by mode of action (HRAC group).*

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, 2018). Bei 43 % der geprüften Herkünfte konnte jeweils eine Wirkortresistenz gegenüber ACCase- oder ALS-Inhibitoren nachgewiesen werden. Bei 7 % der Herkünfte handelte es sich um multiple Wirkortresistenz gegen ACCase- und ALS-Inhibitoren. Im Fall von ACCase-Wirkortresistenz dominierte die Mutation der der Position Ile-1781 (36 % der geprüften Herkünfte). Bei ALS-Wirkortresistenz handelte es sich mit 39 % der Fälle vorwiegend um eine Mutation an der Position Trp-574 (Abb. 2).

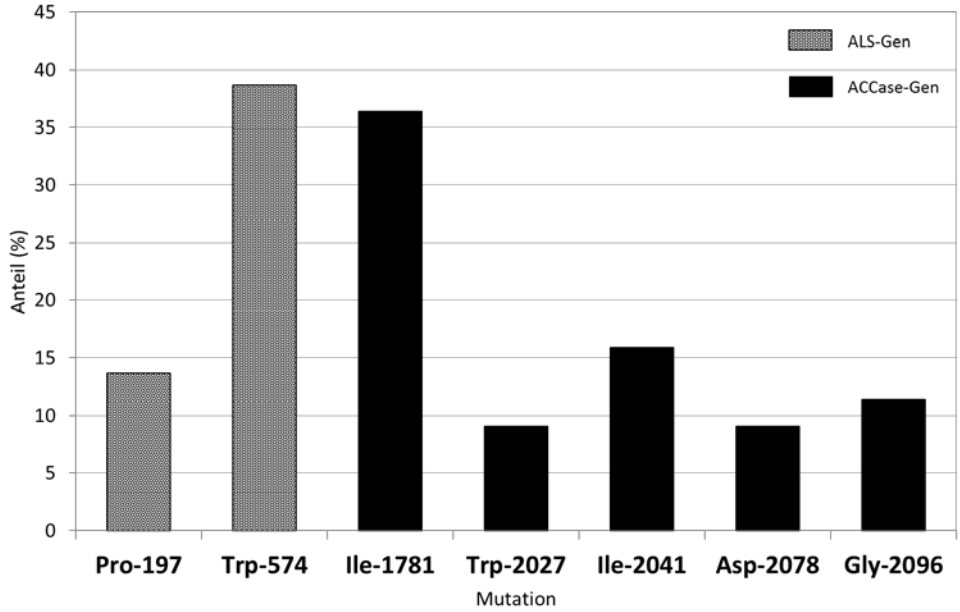


Abb. 2 Wirkortresistenz bei Acker-Fuchsschwanz in Bayern – Anteil unterschiedlicher Mutationen.

Fig. 2 *Target site resistance of blackgrass in Bavaria – Percentage of different mutations.*

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). Ein hohes Risiko besteht für Axial 50 (Pinoxaden), da dieses Herbizid für die Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz in der Gerste unverzichtbar ist. 16 % der im gesamten Untersuchungszeitraum von 2004 bis 2018 untersuchten Acker-Fuchsschwanz-Proben hatten eine deutliche bis sehr hohe Resistenz (Klasse 3-5) gegenüber Pinoxaden. Im jüngeren Untersuchungszeitraum von 2015 bis 2018 lag der Anteil an Pinoxaden-Resistenzen bereits regelmäßig bei etwa 50 %. 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 von Biotypen und Populationen mit entsprechenden Resistenzeigenschaften. Dieser Selektionsdruck gegenüber ALS-Herbiziden betrifft inzwischen auch das im Maisanbau wichtige Herbizid 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 uneffektiv geworden (Fenoxaprop-P, Clodinafop). 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, 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, 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, S. THYSSEN, 2012: Herbizidresistenz bei *Alopecurus myosuroides* Huds. in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **434**, 128-132.

GEHRING, K., T. FESTNER, S. THYSSEN, 2016: Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **452**, 412-417.

GEHRING, K., T. FESTNER, S. THYSSEN, 2018: Stand und Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (Alopecurus myosuroides) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **458**, 113-120.

GEHRING, K., S. THYSSEN, 2014: Herbizideinsatz gegen schwer bekämpfbaren, herbizidresistenten Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Winterweizen (*Triticum aestivum* L.). Julius-Kühn-Archiv **443**, 311-319.

IDENTXX, 2018: Molekulargenetische Untersuchung zur Wirkortresistenz bei Acker-Fuchsschwanz. Unveröffentlicht.

ISTA, 2015: International Rules for Seed Testing 2015. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.

UNISTAT LIMITED, 2015: User's Guide, Version 6.5. London, UK, 1244 p.

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, D.M. WOLBER, 2017: Integriertes Unkrautmanagement zur Vermeidung von Herbizidresistenz. Journal für Kulturpflanzen, **69(4)**, 146–149.

Sektion 7: Alternativen im Unkrautmanagement
Session 7: Alternatives in weed management

Controlling arable weeds with natural substances as bio-based herbicides

Bekämpfung von Ackerunkräutern mit bio-basierten Herbiziden aus Naturstoffen

Sabine Andert*, Bärbel Gerowitt

University of Rostock, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Crop Health, Satower Straße 48, 18051 Rostock, Germany
*Korrespondierende Autorin, sabine.andert@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.061

Abstract

Today farmers manage arable weeds with chemical tools or mechanical tillage practices. While the heavy reliance on synthetic herbicides in conventional arable farming is under discussion, the environmentally driven trend towards reduced tillage as a climate-smart agricultural practice becomes more prominent. These trends demand for alternative control methods of weeds.

This greenhouse study investigates the control of 21 arable weeds with four natural substances. The experimental setup compared an untreated control with four natural substances (acetic, citric and pelargonic acid and magnesium chloride), and glyphosate was used as the common active ingredient for stubble and pre-sowing herbicide applications. The level of necrotisation (0-100%) was used to assess the efficacy of herbicide treatment.

The efficacy differs substantially among the bio-based herbicides. For all natural substances, pelargonic acid has the highest mean efficacy for controlling the weeds tested in this experiment. For most weeds, however, the efficacy of natural substances is much lower compared to glyphosate.

Nevertheless, the results indicate that natural substances as bio-based herbicides have the potential to offer an increased target specificity and rapid degradation in the soil. We found a high efficacy of pelargonic acid for controlling *Brassica napus*.

Keywords: Biocontrol, glyphosate, greenhouse experiment, herbicide efficacy

Zusammenfassung

Verbreitete Unkrautbekämpfungspraktiken sind intensive, wendende Bodenbearbeitung und der Einsatz chemisch-synthetischer Herbizide. Während die starke Abhängigkeit von synthetischen Herbiziden im konventionellen Ackerbau diskutiert wird, verstärkt sich gleichzeitig der Trend zur reduzierten Bodenbearbeitung als klimaschonende landwirtschaftliche Praxis. Diese Entwicklungen erfordern alternative Unkrautbekämpfungsmethoden.

Die vorliegende Gewächshausstudie untersucht die Bekämpfung von 21 Ackerunkräutern und -ungräsern mit Bioherbiziden (Essig-, Zitronen- und Pelargonsäure sowie Magnesiumchlorid). Es werden vier natürliche Säuren und der Wirkstoff Glyphosat sowie eine Variante ohne Unkrautkontrolle verglichen. Zur Bewertung der Bekämpfung der Unkräuter und Ungräser dient der Grad der Nekrotisierung (0-100 %).

Die Effizienz der natürlichen Säuren unterscheidet sich deutlich in der Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern, die höchste Wirkung wurde für Pelargonsäure ermittelt. Überwiegend gilt jedoch, dass die Wirksamkeit der natürlichen Säuren im Vergleich zu Glyphosat deutlich geringer ist.

Dennoch deuten die Ergebnisse darauf hin, dass natürliche Säuren potentiell geeignet sind, spezifische Unkräuter bereits kurze Zeit nach der Applikation ausreichend zu bekämpfen. Es wurde eine hohe Wirksamkeit von Pelargonsäure zur Kontrolle von Ausfallraps nachgewiesen.

Stichwörter: Biologische Bekämpfung, Gewächshausversuch, Glyphosat, Herbizideffizienz

Introduction

In arable farming, weeds require control. While the level of control needed is under discussion (LECHENET et al., 2017), complete renunciation of control of weed is certainly not rational. Currently,

the common weed control management practices in arable farming rely to a high extent on the use of synthetic herbicides (SONAE et al., 2012; ANDERT et al.; 2018). While the intensive use of synthetic herbicides in the last decades greatly increased crop productivity, the accompanying environmental and ecological impacts are striking (STOATE et al., 2009; NIEMANN et al., 2015). Hence, chemical weed control with herbicides is under pressure (JABRAN, 2018; BECKIE, 2019). At the same time the management practice of intensive inversion tillage (ploughing), which has been common for centuries in arable farming, is under criticism, too. The environmentally driven trend towards reduced tillage started more than 20 years ago (PIMENTEL et al., 1995), and is now becoming more popular (LEYS et al., 2007; KNAPEN et al., 2008). As non-inversion tillage represents a climate-smart agricultural practice (TULLBERG et al., 2007), this trend is likely to continue.

Either used alone or in association with other plant protection methods, bio-based control products represent new technologies. Biocontrol agents can be categorized into four groups: macro-organisms (e.g. predators, parasitoid insects, and nematodes), micro-organisms (e.g. bacteria, fungi, and viruses), chemical mediators (e.g. pheromones) and natural substances (originated from plant or animal). Among these four categories, the last three belong to plant protection products, which fall under the 1107/2009/CEE European regulation (VILLAVERDE et al., 2014). Micro-organisms, macro-organisms, and natural substances are the most investigated biocontrol agents for weed control (ZIMDAHL, 2011; HINZ et al., 2014). Bioherbicide products are adapted from natural substances already existing in the environment, so they are expected to be more environment-friendly (CORDEAU, 2016). The half-life of bioherbicides is usually shorter than chemicals (DUKE et al., 2000).

Worldwide, thirteen bioherbicides derived from micro-organisms or natural molecules are currently available on the market (CORDEAU, 2016). In 2015, the fatty acid, pelargonic acid, was formulated and authorized as a plant protection product (under the trade name Beloukha®) to be placed on the European agriculture market. Pelargonic acid can be used in grapevine to kill suckers and control weeds, and in potatoes for plants desiccation. Fatty acids have a wide range of bioherbicide activities that can disturb cell membranes and result in the loss of cellular functioning (SAVAGE and ZORNER, 1995; LEDERER et al., 2004). While some bio-based herbicides have shown promising result, few have achieved long-term commercial success (CORDEAU, 2016) – this author thinks this is due to the inconsistent performance under field conditions.

The present study contributes to improve the state of the art for alternative weed control technologies in arable farming. Glyphosate as the most frequently used active ingredient for stubble and pre-sowing weed and volunteer management is currently discussed controversially among the scientific and public communities (BENBROOK, 2016). Henceforth the German government and other EU countries expressed their motivation to stop the use of glyphosate from the end of 2023 (FEDERAL GOVERNMENT OF GERMANY, 2019). Because shifts back to intensive tillage needs to be avoided, the stubble cultivation should be more focused as a tool of Integrated Weed Management (IWM), and innovations for pre-crop management of volunteer crops and weeds are urgently required (ANDERT et al., 2018).

This study investigates the control of 21 arable weeds with four natural substances to assess the efficacy of bio-based herbicides for stubble and pre-sowing weed management.

Material and Methods

Experimental setup

A pot experiment under controlled greenhouse conditions was conducted at the Crop Health group, University of Rostock. The experiment was repeated twice in spring and summer 2019. The weeds were germinated in one big pot per species and later separated in single pots (9x9 cm) (one weed per pot). The soil used in the pots was a mix of quartz, compost and field soil (each 1/3). Treatments were eight times repeated per herbicide and weed species.

The experimental setup included an untreated control and four natural substances and glyphosate as the common active ingredient for stubble and pre-sowing weed management (Tab. 1). The dose rates of acetic- and citric acid are determined according to previous studies (ELMORE et al., 1985; ABOUZIENA et al., 2009; RAHAYUNINGSIH and SUPRIADI, 2016). Magnesium chloride, pelargonic acid (Beloukha®) and glyphosate (Roundup Ultra®) are applicated according to manufacturers´ recommendation.

Tab. 1 Treatment active ingredients, active ingredient content (g/L or g/kg) and dose rate (L/ha).

Tab. 1 *Eingesetzte Wirkstoffe, Wirkstoffgehalt (g/l, g/kg) sowie zugelassene Aufwandmenge (l/ha, kg/ha).*

Treatment	Active ingredients	Active ingredient content (g/L) or concentration (%)	Dose rate (L/ha)
UC	Untreated control		
MgCl2	Magnesium chloride	100%	300
CA	Citric acid	10%	31.35
AA	Acetic acid	30%	97.5
PA	Pelargonic acid	680 g/L	16.0
GLY	Glyphosate	360 g/L	3.0

Weed species

The study included 21 arable weed species (Tab. 2).

Tab. 2 Investigated monocotyledonous and dicotyledonous weeds species (EPPO-code given in brackets, EPPO 2019).

Tab. 2 *Untersuchte monokotyle- und dikotyle Arten (EPPO-Kodierung in Klammern, EPPO 2019).*

Weeds species	
Monocotyledon	**Dicotyledon**
Echinochloa crus-galli (ECHCG)	*Brassica napus* (BRSNN),
Poa annua (POAAN)	*Stellaria media* (STEME)
Alopecurus myosuroides (ALOMY)	*Galium aparine* (GALAP)
Apera spica-venti (APESV)	*Veronica persica* (VERPE)
	Anchusa arvensis (LYCAR)
	Chenopodium album (CHEAL)
	Viola arvensis (VIOAR)
	Solanum nigrum (SOLNI)
	Myosotis arvensis (MYOAR)
	Thlaspi arvense (THLAR)
	Capsella bursa-pastoris (CAPBP)
	Descurainia sophia (DESSO)
	Tripleurospermum inodorum (MARTIN)
	Sonchus arvensis (SONAR)
	Ranunculus repens (RANRE)
	Rumex crispus (RUMCR)
	*Cirsium arvens*e (CIRAR)

Application

Weed species were applied with the substances at the seedling stage (2- beginning of 4 leaf stage) in a stationary application system. All substances were applied with 267 liter water per hectare using a pressure of 2.1 bar and a speed of 4 kilometres per hour. Flat jet nozzles were used (size 03).

Assessment

The level of necrotisation (0-100%) was assessed at 1, 7, 14 and 21 days after application. A value of 0% necrotisation corresponds to a vital weed, 100% plant necrotisation is equivalent to a completely dead weed. We interpreted the level of necrotisation as the efficacy of the treatment.

Results

Efficacy of natural substances

Overall, the level of necrotisation differed substantially between the active ingredients (Fig. 1). For all natural substances, pelargonic acid had the highest mean efficacy against the weeds tested in this experiment (Fig. 1a-1d). The efficacy of magnesium chloride, citric acid and acetic acid was much lower than the efficacy of pelargonic acid, except for acetic acid 14d after application (Fig. 1c). For each assessment, the efficacy of magnesium chloride and citric acid was quite similar, around 10%.

The level of necrotisation of the weeds treated with glyphosate increased according to the number of days after application. In contrast, the level of necrotisation decreased for the pelargonic acid treatment seven days after application. Accordingly, the efficacy 7 and 14 days after application was lower than the first and third day after application.

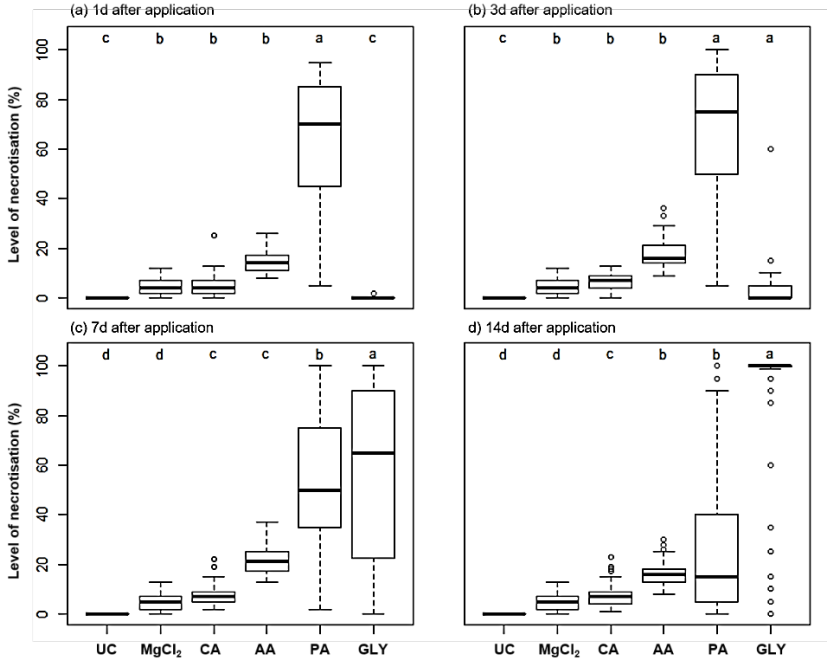


Fig. 1 Efficacy (mean of all species) of the different herbicide treatments on all investigated weeds (a) 1 day after application, (b) 3 days after application, (c) 7 days after application and (d) 14 days after application. Herbicide treatments: UC (Untreated control), MgCl2 (Magnesium chloride), CA (Citric acid), AA (Acetic acid), PA (Pelargonic acid) and GLY (Glyphosate). Different letters represent significant differences ($p < 0.05$) between the different herbicide treatments.

Abb. 1 *Wirkungen der Herbizide (a) 1 Tag nach Applikation, (b) 3 Tage nach Applikation, (c) 7 Tage nach Applikation und (d) 14 Tage nach Applikation. Versuchsglieder: UC (Unbehandelte Kontrolle), MgCl2 (Magnesiumchlorid), CA (Zitronensäure), AA (Essigsäure), PA (Pelargonsäure) und GLY (Glyphosat). Unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede (p <0,05) zwischen den Versuchsgliedern.*

Differences between weed species

In addition to the mean efficacy for all weed species, we analysed the efficacy separately for the tested weed species. Table 3, Figure 2 and Figure 3 illustrate the level of necrotisation for the herbicide treatments that showed the highest efficacy: Acetic acid (AA), pelargonic acid (PA) and glyphosate (GLY).

Overall, the efficacy of the three-herbicide treatments (Tab. 3, Fig. 2 and 3) differed among the weed species. For acetic acid, the level of necrotisation assessed 14 days after treatment varied between 10-28% (Tab. 3). The highest efficacy of acetic citric acid was observed against *Echinochloa crus-galli* (ECHCG), *Ranunculus repens* (RANRE), *Brassica napus* (BRSNN), *Stellaria media* (STEME) and *Sonchus arvense* (SONAR).

Tab. 3 Mean efficacy of acetic acid (AA) against all investigated weeds 14 days after application. Different letters represent significant differences (p <0.05) between the weeds.

Tab. 3 *Mittlere Wirkungen des Versuchsgliedes Essigsäure 14 Tage nach der Applikation. Unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede (p <0,05) zwischen den Arten.*

Species	Efficacy of acetic acid (%)	Species	Efficacy of acetic acid (%)
SONAR	27.5^{a}	APESV	15.5^{de}
STEME	24.8^{a}	VERPE	14.8^{def}
BRSNN	24.8^{a}	RUMCR	14.5^{defg}
ECGCG	20.3^{ab}	THLAR	14.3^{defg}
RANRE	20.8^{ab}	CAPBP	13.8^{efgh}
GALAP	19.5^{abc}	POAAN	12.3^{fgh}
VIOAR	18.3^{bcd}	DESSO	11.5^{gh}
CHEAL	16.8^{bcde}	MYOAR	11.3^{gh}
ALOMY	15.8^{cde}	CIRAR	11.0^{gh}
SOLNI	16.0^{de}	MATIN	10.3^{h}
LYCAR	15.8^{de}		

The efficacy of pelargonic acid (Fig. 2) assessed 14 days after treatment differed between the weed species from over 90% efficacy against *Brassica napus* (BRSNN) to 3% efficacy against *Matricaria inodora* (MATIN). There were some weeds with an efficacy of pelargonic acid between 50-75%, namely *Stellaria media* (STEME), *Galium aparine* (GALAP) and the perennial weeds *Sonchus arvense* (SONAR) and *Ranunculus repens* (RANRE). The efficacy of pelargonic acid varies between 25-50% against *Veronica persica* (VERPE), *Anchusa arvensis* (LYCAR), *Chenopodium album* (CHEAL), *Echinochloa crus-galli* (ECHCG) and *Rumex crispus* (RUMCR). For all other investigated weed species, however, the efficacy of pelargonic acid was <20%.

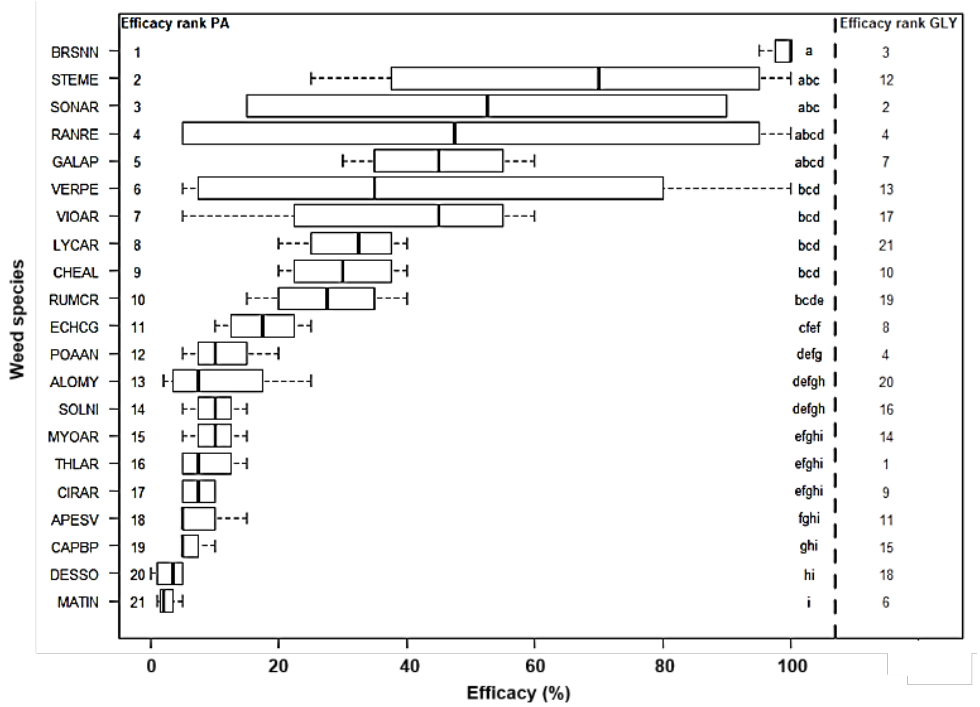


Fig. 2 Efficacy (%) and rank (1-21) of pelargonic acid (PA) against all investigated weeds 14 days after application compared to efficacy rank of glyphosate (GLY). Different letters represent significant differences ($p < 0.05$) between the weeds (Kruskal-Wallis Test).

Abb. 2 *Wirkungen des Versuchsgliedes Pelargonsäure (PA) 14 Tage nach der Applikation. Hinter den Boxen der jeweilige Rank der Effizienz des Versuchsgliedes Glyphosat (GLY). Unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Arten (Kruskal-Wallis Test).*

The efficacy of glyphosate (Fig. 3) was much higher compared to acetic acid (Tab. 3) and pelargonic acid (Fig. 2). The level of necrotisation were >95%, except for *Anchusa arvensis* (LYCAR), *Alopecurus* myosuroides (ALOMY), *Rumex crispus* (RUMCR), *Descurainia sophia* (DESSO), *Viola arvense* (VIOAR) and *Solanum nigrum* (SOLNI).

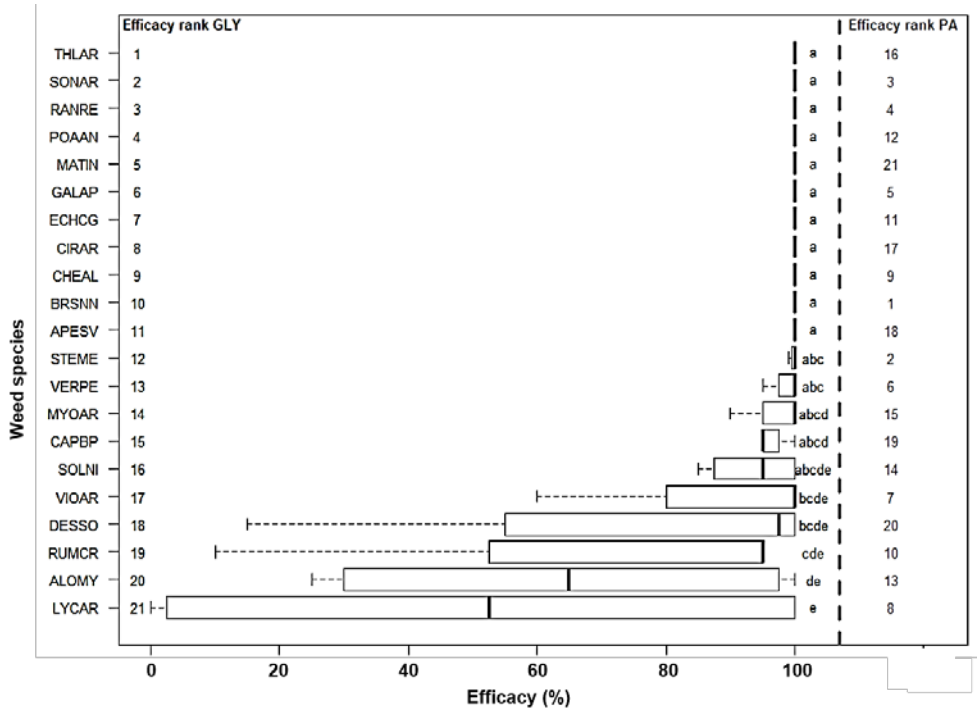


Fig. 3 Efficacy (%) and rank (1-21) of glyphosate (GLY) against all investigated weeds 14 days after application compared to efficacy rank of pelargonic acid (PA). Different letters represent significant differences ($p < 0.05$) between the weeds (Kruskal-Wallis Test).

Abb. 3 *Wirkungen des Versuchsgliedes Glyphosate (GLY) 14 Tage nach der Applikation. Hinter den Boxen der jeweilige Rank der Effizienz des Versuchsgliedes Pelargonsäure (PA). Unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede (p <0,05) zwischen den Arten (Kruskal-Wallis Test).*

Discussion

This study analysed the efficacy of natural substances for controlling arable weeds. Compared to glyphosate, the efficacy of natural substances in our experiment was much lower for most weed species investigated. The limitations and large differences among the studied weed species are probably mainly due to the contact effect of the natural substances (acetic, citric and pelargonic acid and magnesium chloride). Contact herbicides kill the parts of the weeds that they can physically reached by the active ingredients. In contrast, systemic herbicides, in this case glyphosate, are absorbed by the plant foliage and translocated to other parts of the weeds. For pelargonic acid, most weeds even developed new shoots and began to recover 7 days after application. The natural substances are not translocated systemically in the plants and hence, cannot provide long-term control for most species.

Natural substances as bio-based herbicides nevertheless offer (i) an increased target specificity and (ii) rapid degradation (Cordeau et al., 2016).

(i) Our results indicate a high efficacy for controlling *Brassica napus* (BRSNN) using pelargonic acid under greenhouse conditions. Pelargonic acid has actually been launched on the European market and has been registered for use in arable farming (potatoes) and perennial crops (hops, wine). Further use registrations, e.g. for controlling volunteer oilseed rape on the stubble would allow farmers to replace the use of glyphosate under this use conditions to some extent. Beside glyphosate, selective herbicides (except of Starane XL®/ Pyrat XL® for weed management of

Calystegia sepium) are not registered as plant protection products for use on stubbles (FEDERAL OFFICE OF CONSUMER PROTECTION AND FOOD SAFETY, 2019).

(ii) Our results further indicate a reasonable high efficacy of pelargonic acid to control weeds three days after application. For volatile weather conditions or work bottlenecks, a short-term, but rapid destruction of weeds with pelargonic acid could be useful in arable farming.

Though bio-based herbicides are currently not registered for weed management in arable crops, they may serve as an additional tool in integrated weed management (CORDEAU et al., 2016). The ban of glyphosate requires further research on bio-based herbicides. Detailed knowledge on plant control mechanisms is necessary (RADHAKRISHNAN et al., 2018). Moreover, details on technical application (water temperature, additives and the effect of weather conditions during/after application) require more investigations to ensure their suitability for on-farm use.

Acknowledgements

This project has received funding from Belchim Crop Protection Germany. We sincerely thank our technicians and students of the group Crop Health for their engagement and support in the experimental work.

References

ABOUZIENA, H.F.H., A.A.M. OMAR, S.D. SHARMA, M. SINGH, 2009: Efficacy Comparison of Some New Natural-Product Herbicides for Weed Control at Two Growth Stages. Weed technology **23**, 431–437.

ANDERT, S., J. BÜRGER, J.E MUTZ, B. GEROWITT, 2018: Patterns of pre-crop glyphosate use and in-crop selective herbicide intensities in Northern Germany. European Journal of Agronomy **97**, 20–27.

BECKIE, H.J., M.B. ASHWORTH, K.C. FLOWER, 2017: Herbicide Resistance Management: Recent Developments and Trends. Plants **8**, 1-13.

CORDEAU, S., M. TRIOLET, S. WAYMAN, C. STEINBERG, J.P. GUILLEMIN, 2016: Bioherbicides: Dead in the water? A review of the existing products for integrated weed management. Crop Protection **87**, 44–49.

ELMORE, C.L., A. WESLEY, W. DOUGLAS, 1985: Weed control in ground covers. Hg. v. Cooperative Extension University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Berkeley, California 94720.

EPPO, 2019: EPPO Global Database. https://gd.eppo.int/.

FEDERAL GOVERNMENT OF GERMANY, 2019: Aktionsprogramm Insektenschutz der Bundesregierung. https://www.bmu.de/-fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/aktionsprogramm_insektenschutz_kabinettversion_bf.pdf

FEDERAL OFFICE OF CONSUMERPROTECTION AND FOOD SAFETY (2019): BVL, 2019 https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/-ListeAnwendg.jsp?ts=1574864210388. Last used: 27/11/19.

JABRAN, K., K. MAHMOOD, B. MELANDER, A.A. BAJWA, P. KUDSK, 2018: Weed Dynamics and Management in Wheat. Advances in Agronomy **145**, 97-166.

KNAPEN, A., J. POESEN, G. GOVERS, S. DE BAETS, 2008: The effect of conservation tillage on run off erosivity and soil erodibility during concentrated flow. Hydrological Processes **22**, 1497–1508.

LECHENET, M., F. DESSAINT, G. PY, D. MAKOWSKI, N. MUNIER-JOLAIN, 2017: Reducing pesticide use while preserving crop productivity and profitability on arable farms. Nature Plants **3**, 1-6.

LEYS, A., G. GOVERS, K. GILLIJNS, J. POESEN, 2007: Conservation tillage on loamy soils: explaining the variability in interrill runoff and erosion reduction. European Journal of Soil Science **58**, 1425–1436.

NIEMANN, L., C. SIEKE, R. PFEIL, R. SOLECKI, 2015: A critical review of glyphosate findings in human urine samples and comparison with the exposure of operators and consumers. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit **10**, 3–12.

OERKE, E.C., 2006: Crop losses to pests. Journal of Agricultural Science **144**, 31-43.

PIMENTEL, D., C. HARVEY, P. RESOSUDARMO, K. SINCLAIR, D. KURZ, M. MCNAIR, S. CRIST, L. SHPRITZ, L. FITTON, R. SAFFOURI, R. BLAIR, 1995: Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science **267**, 1117–1123.

RADHAKRISHNAN, R., A.A. ALQARAWI, E.F. ABD ALLAH, 2018: Bioherbicides: Current knowledge on weed control mechanism. Ecotoxicology and Environmental Safety **158**, 131-138.

RAHAYUNINGSIH, S., S. SUPRIADI, 2016: Herbicidal efficacy of acetic acid and citric acid base on braod leaf weeds of medicidal crops fields. Buletin Penelitian Tanaman Rempah dan Obat **25**, 137-143.

SOANE, B.D., B.C. BALL, J. ARVIDSSON, G. BASCH, F. MORENO, J. ROGER-ESTRADE, 2012: Notill in northern, western and south-western Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment. Soil and Tillage Research **118**, 66–87.

STOATE, C., A. BALDI, P. BEJA, N.D. BOATMAN, I. HERZON, A. VAN DOORN, G.R. DE SNOO, L. RAKOSY, C. RAMWELL, 2009: Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe - a review. Journal of Environmental Management **91**, 22-46.

TULLBERG, J.N., D.F. YULE, D. MCGARRY, 2007: Controlled traffic farming—From research to adoption in Australia. Soil and Tillage Research **97**, 272–281.

Pelargonic acid for weed control in onions: factors affecting selectivity

Unkrautbekämpfung mit Pelargonsäure in Zwiebeln: Faktoren, die die Verträglichkeit bestimmen

Jürgen Krauss*, Marco Eigenmann, Martina Keller

Extension Gemüsebau, Agroscope, Müller-Thurgau-Strasse 29, 8820 Wädenswil, Switzerland
*Korrespondierender Autor, juergen.krauss@agroscope.admin.ch

DOI 10.5073/jka.2020.464.062

Abstract

In onions (*Allium cepa*) few herbicides are registered. Due to their erect leaf and plant structure, onions retain less herbicide after spraying than broadleaved weeds. Further, onion plants have a thicker plant cuticle. These differences allow a selective use of pelargonic acid in onions. The main aim of this study was to determine the selective dose at different crop growth stages.

Five field trials were carried out. Three pelargonic acid containing products (1 SL- and 2 EC-formulations) were applied with a logarithmic sprayer. Dose range was 0 to 56 kg active substance (a.s.) ha^{-1}. The growth stage varied between BBCH 10 and 16. Selectivity was rated visually.

The products were selective at 7.2 and 8.3 kg a.s. ha^{-1} (BBCH 10-11), 6.1 and 8.9 kg a.s. ha^{-1} (BBCH 11-12), 8.5 and 20.7 kg a.s. ha^{-1} (BBCH 13) and 6.3 and 9.0 kg a.s. ha^{-1} (BBCH 14-16) for the SL- and EC-products respectively. Selectivity depended on growth stage and weather conditions. Important for selectivity is an intact cuticle, a rain-free, light-intense period before application.

Pelargonic acid could become a component for sustainable weed control in onions. Due to its foliar activity, small weeds need to be targeted and several passes are required.

Keywords: Ammonium nonanoate, Liliaceae, logsprayer, nonanoic acid, pelargonic acid, selectivity trial

Zusammenfassung

In Zwiebeln (*Allium cepa*) sind nur wenige Herbizide bewilligt. Aufgrund ihrer aufrecht stehenden Blätter und aufrechten Pflanzenarchitektur bleibt an den Zwiebelpflanzen nach der Applikation weniger Herbizid haften als an breitblättrigen Unkräutern. Außerdem haben sie eine dickere Cuticula. Diese Unterschiede machen einen selektiven Einsatz von Pelargonsäure in Zwiebeln möglich. Das Hauptziel dieser Arbeit war, verträgliche Aufwandmengen für unterschiedliche Wachstumsstadien zu bestimmen.

In 5 Feldversuchen wurden 3 Pelargonsäure-haltige Produkte (1 SL- und 2 EC-Formulierungen) mit einem Logsprayer appliziert. Zwischen 0 und 56 kg Aktivsubstanz (a.s.) ha^{-1} wurden appliziert. Die Zwiebelstadien reichten von BBCH 10 bis 16. Die Verträglichkeit wurde visuell bonitiert.

Die Produkte waren verträglich mit jeweils 7.2 und 8.3 ka a.s. ha^{-1} (BBCH 10-11), 6.1 und 8.9 ka a.s. ha^{-1} (BBCH 11-12), 8.5 und 20.7 ka a.s. ha^{-1} (BBCH 13) sowie mit 6.3 und 9.0 kg a.s. ha^{-1} (BBCH 14-16) für die SL- bzw. die EC-Formulierungen. Die Verträglichkeit hing vom Kulturstadium und den Wetterbedingungen ab. Wichtig für einen selektiven Einsatz in Zwiebeln ist eine intakte Wachsschicht, was eine regenfreie, lichtintensive Periode vor der Applikation bedingt.

Pelargonsäure könnte eine wirksame Komponente für eine nachhaltige Unkrautbekämpfung in Zwiebeln werden. Aufgrund der reinen Blattwirkung müssen kleine Unkräuter behandelt werden und es sind mehrere Applikationen notwendig.

Stichwörter: Ammoniumnonanoat, Liliaceae, Logsprayer, Nonansäure, Pelargonsäure, Verträglichkeitsversuch

Introduction

Onion (*Allium cepa*) is an important vegetable crop worldwide. Onions are sown in rows, are weak competitors and cover the soil barely even at advanced crop stages. Therefore, effective weed control is of main importance in this crop (Vogel, 1991; Theiler et al., 2004). In addition, onions react sensitive to foliar active herbicides targeting broadleaved weeds. This makes chemical weed control very challenging. To avoid crop damage, the crop plants have to be as erect as possible and their plant cuticle needs to be intact and robust (Kreiselmaier et al., 2019).

Generally, only few active substances (a.s.) are available for use in onions. For example in Switzerland, aclonifen, bromoxynil, clopyralid, diquat, pendimethalin, prosulfocarb, pyridate and several grass herbicides are registered for use in onions (Blw, 2019).

Pelargonic acid or nonanoic acid has a sole contact action, is not considered as a selective active substance and is rapidly degraded in soil (DT50 < 2 days) (STRABLEGG-LEITNER, 2017). It can be formulated as salt e. g. as ammonium nonanoate (SL-formulation) or as acid (EC-formulation). Against broadleaved weeds it is effective on young plant stages. Its activity against monocotyledonous weeds is limited (WEBBER and SHREFLER, 2006; CRMARIC et al., 2019). Onions have an erect plant and leaf architecture and their plant cuticle is well developed, if weather and growth conditions are favorable (BOUMA, 2008). Both characteristics allow a selective use of the unselective pelargonic acid in onions. In the US the pelargonic acid containing product Scythe for example is labeled for use in onions. However, the labeled use is restricted to general weed control for seedbed or site preparation, PRE-emergence application, directed and shielded or spot application and as a harvest aid and for desiccation (ANONYMOUS, undated). JOHNSON and DAVIS (2014), and JOHNSON and LUO (2018) tested pelargonic acid and ammonium nonanoate in field trials without shielding the transplanted winter onion plants. Selectivity and efficacy were assessed in the same trials. Both products were selective at the tested doses. However, the effect on onion yield was inconsistent due to difficulties in timing application regarding weed size and weather conditions in the winter season (JOHNSON and DAVIS, 2014; JOHNSON and LUO, 2018).

We were interested in the selective dose of 3 different pelargonic acid containing products (1 SL- and 2 EC-formulations) at different growth stages of onions cropped under standard Swiss conditions treated under varying weather conditions.

Materials and Methods

Two field trials were carried out in 2018 and 3 in 2019 in Northern Switzerland. In each year, trials were carried out in different growth stages of the crop (Tab. 1).

Tab. 1 Description and details of the 5 field trials carried out in onions. Cloudiness: 0/8 blue sky, 8/8 cloudy (no blue sky at all).

Tab. 1 *Übersicht über die 5 in Zwiebeln durchgeführten Feldversuche. Cloudiness: 0/8 blauer Himmer, 8/8 bewölkt (kein Blau am Himmel sichtbar).*

trial	application details						visual ratings
	growth stage (BBCH)	date	year	temperature [°C]	cloudiness [x/8]	rel. humidity [%]	date
1	10-11	25 May	2018	26	0/8	31	28 May
2	11	4 June	2019	31	0/8	43	5 June, 19 June
3	11-12	27 March	2019	7	0/8	57	28 March, 3 April
4	13	25 May	2018	26	0/8	31	28 May
5	14-16	27 March	2019	11	0/8	47	28 March, 3 April

H1 (EC, 680 gl^{-1} pelargonic acid), H2 (SL, 187 g l^{-1} pelargonic acid formulated as salt (ammonium nonoat)), and H3 (formulation not declared most likely an EC, 699 gl^{-1}) were applied with a logsprayer (nozzle spacing: 0.25 m, nozzle type: IDK 120 02 Lechler; pressure: 1.7 bar, velocity: 3.6 kmh^{-1}, boom height: 0.25 m). Thereafter we refer to ammonium nonanoate also as pelargonic acid. Spray amount was 400 l ha^{-1}. H3 was tested only in 2019. Trial 1 and 4 were treated at the same day in 2018, trial 3 and 5 at the same day in 2019. Plot dimensions were 1.5 m by 15 m. One plot corresponded to one application with the logsprayer. So in each plot a continuous range from a high amount to no herbicide applied was implemented. In 2018, initial concentration was 80 l ha^{-1} H1 (54.4 kg a.s. ha^{-1}) and 300 l ha^{-1} H2 (56.1 kg a.s. ha^{-1}). In 2019, initial concentration of H2 was reduced to 200 l ha^{-1} (37.4 kg a.s. ha^{-1}). The initial concentration for the other 2 products were 80 l ha^{-1} H1 (54.4 kg a.s. ha^{-1}) and 80 l ha^{-1} H3 (55.9 kg a.s. ha^{-1}) in 2019. Two replicates per trial were installed in 2018 and 3 replicates per trial in 2019. Visual selectivity ratings were carried out 3 days after application in 2018 and 1 and 7 days after application in trial 3 and 5, and 1 and 15 days after application in trial 2 in 2019. The rating approach was conservative i.e. when visible damages

(distinct necrosis) were observed, the dose was not considered selective, even though the crop plants could recover from these effects. Based on the ratings in the field, the selective dose was calculated. Weather data was obtained from the closest weather stations (agrometeo, station Laufen Uhwiesen and station Lupfig) (Tab. 2).

Tab. 2 Description of the weather the week before the applications took place. For interpretability of the tables, the growth stage at application is shown again.

***Tab. 2**. Übersicht über das Wetter der Woche vor den Applikationen. Für die Lesbarkeit der Tabellen ist das BBCH-Stadium am Tag der Applikation ebenfalls aufgeführt.*

trial	---------- weather conditions 1 week before application ----------				
	growth stage (BBCH)	temperature [°C]	relative humidity [%]	consecutive days without rain [d]	global radiation [W m^{-2} d^{-1}]
1	10-11	16	77	> 7	205
2	11	16	76	5	261
3	11-12	7	63	4	147
4	13	16	77	> 7	205
5	14-16	7	63	4	147

Statistical analysis was carried out in R studio (R version 3.5.3, 2019-03-11). A standard ANOVA was carried out for each experiment and rating day separately. Tukey HSD test was used, if ANOVA revealed significant treatment differences. Model assumptions were checked by diagnostic plots. For selectivity considerations, the minimum selective dose was determined. This is the dose, which was safe for the crop across all observations.

Results

For all tested products and growth stages, a selective dose could be determined (Tab. 3). Only once (1 from 8 ratings) a significant difference between the products could be observed (H2 < H1 & H3). Means over all trial means (first rating) were 6.85, 11.78 and 10.70 kg pelargonic acid ha^{-1} for H2, H1 and H3, respectively. H1 and H3 were more selective than H2.

Tab. 3 Average selective dose (active substance in kg a.s. ha^{-1}) 1 day after application (trial 2, 3 and 5) and 3 days after application (trial 1 and 4) for the 3 pelargonic acid containing products. P-Value: Non significant (n.s.), p-value < 0,05 (*).

***Tab. 3** Mittelwerte der verträglichen Aufwandmenge (Aktivsubstanz in kg a.s. ha^{-1}) 1 (Versuch 2, 3 und 5) und 3 Tage (Versuch 1 und 4) nach Applikation für die 3 pelargonsäurehaltigen Produkte. P-Wert: Non signifikant (n.s.), p-Wert < 0.05 (*).*

trial	BBCH	year	selective dose [kg a.s. ha^{-1}]			
			H1	H2	H3	p-value
1	10-11	2018	8.30	7.22	-	n.s.
2	11	2019	16.07	-	13.99	n.s.
3	11-12	2019	8.95	6.08	8.80	*
4	13	2018	20.01	8.46	-	n.s.
5	14-16	2019	8.59	6.31	9.31	n.s.

No clear tendency between selectivity and crop growth stage could be found in the trials. In the growth stages "10-11", "11-12" and "14-16" (trial 1, 3 and 5) about 8 kg pelargonic acid ha^{-1} were selective (averaged over the factor herbicide). For the former, weather conditions before and at application were favorable, but the growth stage was rather early. For the latter 2, weather conditions were rather cold with lower average radiation (Tab. 1 and 2). Considerable higher amounts of pelargonic acid were safe for the crop at the growth stages "11" (14.82 kg a.s. ha^{-1}) and "13" (14.24 kg a.s. ha^{-1}) (trial 2, 4). Weather conditions before and at application were favorable for both field trials with these crop stages. For the former, temperature was very high during application and average radiation before application was generally higher.

Ratings 1 day after application represented generally the highest observable damage; 7 and 15 days after application the crop plants had recovered considerably in trial 2, 3 and 5 (Fig. 1).

For H2, H1 and H3, the minimum selective dose across all observations (first rating) was 4.39, 6.67 and 8.27 kg a.s. ha^{-1} respectively – which corresponds to 23.50, 9.81 and 11.83 l ha^{-1} product.

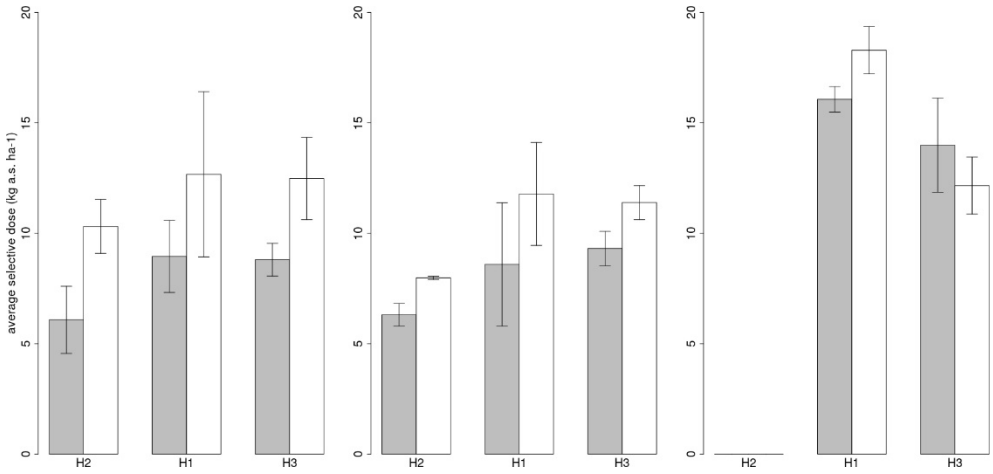


Fig. 1 Average selective dose (a.s. kg ha^{-1}) and standard deviation in trial 3 (BBCH 11-12) [left], trial 5 (BBCH 14-16) [middle] and trial 2 (BBCH 11) [right] for H2, H1 and H3. In trial 2, H2 was not tested. Grey bars: first rating 1 day after application (1 DAA) and white bars 7 DAA for trial 3 & 5 and 15 DAA for trial 2.

***Abb. 1** Durchschnittliche verträgliche Aufwandmenge (a.s. kg ha^{-1}) mit Standardabweichung für den Versuch 3 (BBCH 11-12) [links], den Versuch 5 (BBCH 14-16) [Mitte] und den Versuch 2 (BBCH 11) [rechts] für H2, H1 und H3. H2 wurde im Versuch 2 nicht geprüft. Graue Säulen stellen die erste Bonitur 1 Tag nach Applikation (1 DAA) und die weissen Säulen 7 DAA für den Versuch 3 & 5 und 15 DAA für den Versuch 2 dar.*

Discussion

In trial 1 and 3 to 5, winter onions were treated. Whereas in trial 2 summer onions were sprayed. The winter onions were grown for spring onion production (sold with the green leaves), thus very little crop damage was acceptable. In contrast, summer onions tend to be more susceptible to herbicides than winter onions due to their young leaves and their plant cuticle tends to be less robust.

The average selective doses determined in our field trials, correspond to the lower doses tested by Johnson and Davis (2014), and Johnson and Luo (2018). In their field trials, no thinning was observed and foliar necrosis was transient. Currently none of the tested products is registered for use in onions in Switzerland. H2 is registered as pesticide in ornamentals in Switzerland. H1 is registered for use in Switzerland in orchards, vineyards, potatoes (desiccation), ornamentals and vegetable fallows with 8-16 l ha^{-1} (BLW, 2019). The determined selective dose in onions for H1 in this study was around 10 l ha^{-1}. In previous experiments we could show that, with this dose an efficacy of about 70% could be reached on young weeds (< 5 cm) (Crmaric et al., 2018; unpublished data). Therefore, small weeds need to be targeted and several passes might be required to successfully control weeds in onions with pelargonic acid. This corresponds to the current weed control strategy in onions, which consists already of several applications with low doses targeting germinating weeds (BBCH 10) with synthetic foliar active herbicides such as bromoxynil (Kreiselmeier et al., 2019).

The effect of weather conditions around application and the effect of growth stage were difficult to tackle. In leaflets and newsletters from extension services, the application of foliar active herbicides is described as risky on very young growth stages (<BBCH 11) and on older crop stages (>BBCH 14-15), except for the hook stage (Laber, 2014; Anonymous, 2015; common experience onion growers). After a rainy period, they recommend to wait several, sunny days before applying foliar active

herbicides targeting broadleaved weeds (LABER, 2014). In addition, stressed crop stands should not be treated. Based on our experience, the same rules apply for the selective application of pelargonic acid in onions. However, more trials have to be carried out to refine these rules and then to validate them.

Society in Western Europe is very skeptical about synthetic pesticides. For example, in Switzerland 2 public initiatives are on the way, which aim at strongly limiting the use of (synthetic) pesticides (ANONYMOUS, 2019). Natural product-based herbicides such as pelargonic acid have a positive environmental profile and are better perceived by the public (STRABLEGG-LEITNER, 2017). Currently, no pelargonic acid containing product is registered for use in onions in Switzerland (BLW, 2019). Nevertheless, such products could become an important component of sustainable weed management in onions and other selected crops in the future.

Acknowledgements

We would like to thank the involved farmers for providing the areas for the field trials and taking care of the other necessary plant protection and cultural measures.

References

ANONYMOUS, unknown year: label SCYTHE. Gowan Company, Yuma, Arizona, US.

ANONYMOUS, 2015: Pflanzenschutz- und Anbauservice (PAS), Gemüsebau für Rheinland-Pfalz, PAS 24.09.2015.

ANONYMOUS, 2019: Bundeskanzlei, Schweizerische Eidgenossenschaft, Volksinitiativen [Administration of Switzerland, Initiatives]. https://www.bk.admin.ch/ch/d/pore/vi/vis_1_3_1_3.html (visited 09.10.2019).

BLW – Bundesamt für Landwirtschaft, 2019: Pflanzenschutzmittelverzeichnis. https://www.psm.admin.ch (visited 09.10.2019).

BOUMA, E., 2008: Wetter und Pflanzenschutz [Weather and plant protection]. Roodbont Verla, Zutphen, the Netherlands, 31.

CRMARIC, I., M. KELLER, J. KRAUSS, N. DELABAYS, 2018: Efficacy of natural fatty acid based herbicides on mixed weed stands. 28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig, Germany. Julius-Kühn-Archiv **458**, 327-332.

CRMARIC, I., J. KRAUSS, N. DELABAYS, M. KELLER, 2019: Pflanzenschutz aus der Natur ist gefragt [plant protection from nature is in demand]. Der Gemüsebau / Le Maraîcher, **2/2019,** 27.

JOHNSON, W.C., J.W. DAVIS, 2014: Pelargonic acid for weed control in organic Vidalia® sweet onion production. HortTechnology **24**, 696-701.

JOHNSON, W.C., X. LUO, 2018: Cool-Season weed control using Ammonium Nonanoate and cultivation in organic Vidalia® sweet onion production. Weed Technol **32**, 90-94.

KREISELMAIER, J., I. KOCH, J. ZIEGLER, 2019: Pflanzenschutzempfehlungen Rheinland-Pfalz – Zwiebel [Plant protection in onions advices]. Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) - Rheinpfalz, Germany. Available at www.hortigate.de.

LABER, H., 2014: Lauchgewächse – Alliaceae. In: Gemüsebau (book), H. Laber and G. Lattauschke (editors). Ulmer, 406-439.

STRABLEGG-LEITNER, R., 2017: Beloukha – Nachhaltige Unkrautkontrolle unter sich verschärfenden Rahmenbedingungen, Österreichische Pflanzenschutztage.

THEILER, R., H. BUSER, O. VIDALLI, 2004: Zwiebeln (*Allium cepa* L.) Sorten, Anbau, Lagerung [Onions, varieties, Cropping System, Storage]. AGRARForschung **11**, 504-509.

VOGEL, G., 1996: Handbuch des speziellen Gemüsebaus [handbook for Vegetable Production]. Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart, Germany, 719.

WEBBER C.L., J.W. SHREFLER, 2006: Pelargonic acid weed control parameters. 103rd Annual International Conference of the American Society for Horticultural Science, New Orleans, Louisiana, US. HortScience **41**, 103.

Wirkungsvergleich Heißwasser und Herbizid – Schweizer Bahnen wollen ab 2025 weitgehend auf Herbizideinsatz verzichten

Hot water versus herbicides – Swiss railways renounce herbicide use by 2025

Christian Bohren[1]*, Gunter Adolph[2], Lukas Tanner[2]

[1]Agroscope, Malherbologie grandes cultures et viticulture, Route de Duillier 50, CP 1012, 1260 Nyon, Schweiz
[2]SBB AG / Infrastruktur - Sicherheit, Qualität, Umwelt, Hilfikerstrasse 3, 3000 Bern 65, Schweiz
*Korrespondierender Autor, christian.bohren@agroscope.admin.ch

DOI 10.5073/jka.2020.464.063

Zusammenfassung

Die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB, CFF, FFS) verwendeten bis Anfangs der 1990er Jahre Atrazin, um die Vegetation am Gleis zu kontrollieren. Das Herbizid wurde großflächig und undifferenziert versprüht, was zu erheblicher Belastung von Grund- und Oberflächenwasser mit Herbizidrückständen führte. Mitte der 1990er Jahre war das Atrazin gänzlich von Glyphosat abgelöst worden. Kleine Teams gehen noch heute mit der Rückenspritze die Zugstrecken ab und applizieren das Herbizid mit der Rückenspritze. Auf Grund der aktuell weltweiten Bedenken gegen den Einsatz von Herbiziden und Pflanzenschutzmitteln allgemein haben sich die SBB zum Ziel gesetzt, Alternativen für die Vegetationskontrolle im Gleisbereich zu fördern und zu entwickeln. 2018 wurden erste positive Erfahrungen mit der Applikation von Heißwasser gemacht. Daraufhin bauten die SBB 2019 den Prototypen eines Heißwasserspritzzuges. Im Rangierbahnhof Basel bei Muttenz wurden die Effekte Heißwasserbehandlungen mit denen der Glyphosat Applikation und einer Kontrolle unbehandelt verglichen. Agroscope hat mit Vegetationsaufnahmen das Potential der Heißwasserapplikation aufgezeigt.

Stichwörter: Eisenbahn, Heißwasser, Unkrautbekämpfung

Abstract

Swiss railways (SBB, CFF, FFS) used atrazin up until the end of the 1980s along railway tracks for controlling the vegetation. The herbicide was sprayed in large scales and indiscriminate use. Glyphosate replaced atrazine as main herbicide from the early 1990s until today. Small crews walking along tracks apply the herbicide as single plant treatment with knapsack sprayers. Because of increasing discredit of glyphosate in public, Swiss railways decided to search for alternatives to herbicides. A tight goal was defined: within three years, a train running with 40 km/h on track must be able to apply hot water in sufficient quantities for killing the vegetation growing in the ballast and on the sidewalks. In 2018, first attempts were made for applying hot water on a railway tracks out of service. In spring 2019, a prototype of the spray train did its first steps – around 200 km – on open tracks spraying hot water day and night. The technique of the spray train is explained in this paper. Agroscope assessed the effects of hot water treatment compared with glyphosate application and "untreated" on four tracks in the Basel freight yard. The effects on vegetation of four treatments were compared and are presented.

Keywords: Hot water, railway, weed control

Einleitung

Die Vegetation im Gleisbereich beeinflusst seit Beginn des Eisenbahnzeitalters die Qualität des Fahrens auf Schienen. Wurzeln und anderes Pflanzenmaterial schwächt die Belastbarkeit des Schotters in welchem die Schienen liegen. Pflanzenbewuchs auf dem Gehweg entlang der Schienen bildet zudem ein erhebliches Sicherheitsrisiko für Streckenkontrolleure und alle anderen Personen, die sich entlang der Gleise bewegen müssen. Seit den 1950er Jahren wurden zur Kontrolle der Vegetation im Gleisbereich hauptsächlich Herbizide eingesetzt.

Bis zum Beginn der 1990er Jahre haben die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) und alle Privatbahnen Atrazin zur Kontrolle der Vegetation im Gleisbereich verwendet. Für das Jahr 1985 wurde ein Verbrauch von 13.456 Kilogramm Wirkstoff angegeben. Das Bodenherbizid wurde mittels Spritzzug großflächig und undifferenziert versprüht, eine digitale Unkrauterkennung war damals unbekannt. In der Folge konnten Spuren von Atrazin und seinen Metaboliten in vielen ober- und unterirdischen Wasserläufen, sogar in Mineralwasserflaschen nachgewiesen werden. Wissenschaftliche Studien hatten ergeben, dass ein großer Teil der Herbizidspuren in

Trinkwasserfassungen von der Anwendung an Bahngeleisen stammten. Die Verwendung von Atrazin an Bahngeleisen endete 1992 mit dem Verbot des Wirkstoffs.

Ab 1989 wurde das Bodenherbizid durch das weniger mobile und ökotoxikologisch weniger problematische Glyphosat ersetzt. Der Verbrauch lag 1989 bei ca. 1.000 kg und stieg Mitte der 1990er Jahre bis ca. 6.000 kg an, als das Atrazin gänzlich durch Glyphosat ersetzt wurde. Für das Jahr 2018 wurde ein Glyphosatverbrauch von ca. 2.200 kg Wirkstoff ausgewiesen. Da Glyphosat nicht bei jedem Wetter ausgebracht werden konnte und die Zugfrequenzen auf allen Linien massiv erhöht worden waren, fiel die Applikation vom Gleis auch aus fahrplantechnischen Gründen weg. Deshalb hatten sich die SBB entschieden, die Glyphosatapplikation an Drittfirmen auszulagern. Diese bringen bis heute das Herbizid mit der Rückenspritze zu Fuß punktgenau aus.

Auf Grund der aktuell weltweiten Bedenken gegen den Einsatz von Herbiziden und Pflanzenschutzmitteln allgemein haben sich die SBB zum Ziel gesetzt, Alternativen für die Vegetationskontrolle im Gleisbereich zu fördern und zu entwickeln.

Die SBB wollen bis 2025 die Vegetation an Strecken und in Bahnhöfen herbizidfrei kontrollieren können. Dazu untersuchen sie gleich mehrere Methoden. Im Bereich von baulichen Maßnahmen werden unter anderem Sickerbetonriegel als Barrieren für die Vegetation im Bankettbereich getestet. Zudem sollen in Randbereichen autonome, mobile Roboter die Vegetation regulieren. Im Fokus steht auch «Elektroherbizid», eine Vegetationskontrolle mittels Hochspannung von Gleich- oder Wechselstrom, welcher durch die Pflanze geleitet wird. Darüber hinaus werden Pflanzenmischungen getestet, die an geeigneten Stellen gezielt ausgesät werden und durch ihre Dichte unerwünschte Pflanzen verdrängen und durch ihren niedrigen Wuchs den Anforderungen an Sicherheit, Unterhalt und Umwelt genügen müssen. Auch sogenannte Bio-Herbizide sollen auf ihre sinnvolle Verwendung an Bahnanlagen untersucht werden. Die Verwendung von Heißwasser zur Vegetationskontrolle soll hier näher vorgestellt werden.

Das Heißwasserspritzfahrzeug

Warum sollte Heißwasser als Glyphosat-Ersatz geeignet sein? Entlang von Bahnstrecken ist im Gleisbereich häufig eine sporadische Vegetation zu finden. Systeme zur Pflanzenerkennung sind in der Lage bei auch bei mittleren Geschwindigkeiten bis rund 40 km/h Vorkommen von Pflanzen zu detektieren. Mit geeigneten auf Bahnwagen aufgebauten Steuersystemen, Ventilen und Düsen können dann diese Pflanzen punktgenau mit heißem Wasser bis 95 °C behandelt werden. Heißes Wasser transportiert ausschließlich Energie in Form von hoher Temperatur, synthetische Stoffe werden nicht benötigt und gelangen nicht in die Umwelt. Der Untergrund im Gleisbereich ist wasserdurchlässig. Die Hitze sollte deshalb auch ein Stück weit in den Bereich Schottersteine eindringen und den Wurzelbereich der Pflanzen treffen können. Das Wasser wird über die Lokomotive mit erneuerbarem Bahnstrom erhitzt. Durch die Logistik über den Schienenweg bestehen keine relevanten Gewichtseinschränkungen, was einerseits höhere Wassermengen pro Flächeneinheit oder andererseits längere Fahrwege ermöglicht.

Material und Methoden

Die SBB haben im Sommer 2018 erste Erfahrungen mit Heißwasserapplikation gemacht und darauf im Winter 2018/19 den Prototyp eines Heißwasserspritzfahrzeugs entwickelt. Die technischen Daten sind in Tabelle 1 dargestellt.

Die Spritzbreite von 4,6 m erlaubt den Großteil des enorm variablen Gleisbereichs abzudecken. Die seitlichen Gehwege liegen jedoch teilweise außerhalb der Reichweite des Versuchsfahrzeugs. Die Geschwindigkeit von 40 km/h erlaubt, das Spritzfahrzeug in der Nacht in den Fahrplan einzubauen und damit eine Heißwasserapplikation vom Gleis aus zu gewährleisten. Die Notwendigkeit der Spritzleistung von 60 l/s soll mit praktischen Erfahrungswerten bestätigt werden. Ziel ist es, so wenig Wasser wie nötig auszubringen. Die Pflanzendetektion ermöglicht punktgenaue Applikation, das heiße Wasser wird in isolierten Zisternenwagen mitgeführt. Das Wasser wird im Vorfeld eines

Spritzeinsatzes mittels Bahnstrom auf bis zu 95 °C erwärmt. Die 116 Düsen sind an zwei Flachwagen – je einer an der Spitze und am Ende des Zuges – angebracht. Bei einer angenommenen Vegetationsdichte von 4 % und einer Applikationsmenge von 10 l/m² beträgt der Wasserbedarf 1'300 l und der Energiebedarf 184 kWh pro Kilometer. Bei einer SBB-Netzlänge von 7.600 km entsteht somit ein voraussichtlicher Wasserbedarf von 22.000 m³ und ein Energiebedarf von 2,2 GWh.

Tab. 1 Technische Daten der SBB Heißwasserspritzfahrzeug.

Tab. 1 *Technical specification of the SBB Hot Water Spray Train.*

Spritzbreite	4,6 m	Heizleistung	0.5 MW
Geschwindigkeit	40 km/h	Energieträger	Bahnstrom
Wassertemperatur	95 °C	Pflanzendetektion	Ja (Tag und Nacht)
Spritzleistung	60 l/s	Wassertankvolumen	2 x 60 m³
Heißwasser-Leistung	20 MW	Anzahl Düsen	116 (1.5 Zoll)

Nach der Inbetriebsetzung des Prototyps im Mai 2019 wurden erste Testfahrten absolviert. Das Testprogramm umfasste Fahrten bei Nacht auf Strecken im schweizerischen Mittelland in der Gegend von Lenzburg bis Biel mit einer Länge von 175 Kilometern, welche zwei Mal wiederholt wurden. Zudem gab es Behandlungen tagsüber auf einer Linie in das Juragebirge hinein bis an die französische Grenze bei Les Verrières und Behandlungen im Rangierbahnhof Basel bei Muttenz. Diese beiden Strecken wurden drei Mal befahren. Insgesamt ergab sich eine mit Heißwasser behandelte Streckenlänge von etwa 200 km. Im Rangierbahnhof Basel gab es einen Vergleich der Behandlungsmethoden von Heißwasser, Glyphosat und «unbehandelt». In diesem Vergleichsversuch wurde die Wirkung der Behandlungen bonitiert.

Wirkungsvergleich im Rangierbahnhof Basel: Vorgehen

- Vier Gleise waren für den Versuch ausgewählt: Gleis A 4: Glyphosatapplikation, Gleis A 5 und Gleis A 10 Heißwasserbehandlung und Gleis A 11 unbehandelt.
- Entlang der vier ca. 700 m langen Gleise wurden je drei 10 m lange Beobachtungssektoren für die Vegetationsaufnahme bezeichnet, die die Gleisbereiche A (Mitte zwischen den Schienen), B (links und rechts neben den Schienen bis zum Schotterrand) und C (Gehweg rechts und links neben dem Schotter) enthielten.
- Auf den Beobachtungssektoren Schätzung des Prozentanteils der Bodenbedeckung mit abgestorbenem Pflanzenmaterial mit Ausnahme von Moosen und Laub sowie Schätzung des Prozentanteils der Bodenbedeckung mit lebenden Pflanzen.
- Aufnahme der Arten mittels Zählung der Individuen. Vorkommen einer Art > 50= Zahl der Individuen wurde geschätzt.
- Bei der Zählung wurden die Pflanzen in folgende Kategorien eingeteilt:
  < 2cm, 2-5 cm, 5-10 cm und > 10 cm je als gesunde Pflanze und als von der Behandlung angeschlagen, aber überlebend.
- Die Bonituren wurden 2019 in einem Zeitraum von 2-3 Wochen vor und nach den Behandlungen durchgeführt:

  15. Mai Vegetationsaufnahme
  24. Mai erste Heißwasserbehandlung (88 °C), auch Glyphosat
  13. Juni Vegetationsaufnahme
  01. Juli Vegetationsaufnahme
  02. Juli zweite Heißwasserbehandlung (89 °C)
  23. Juli Vegetationsaufnahme
  25. Sep. dritte Heißwasserbehandlung (82 °C)
  07. Okt. Vegetationsaufnahme

Ergebnisse

Tabelle 2 zeigt die 10 am häufigsten vorkommenden Arten und ihre Gesamtzahl in den bezeichneten Sektoren. Bei der Bonitur wurden hauptsächlich die Gattungsnamen notiert. Bei der letzten Aufnahme wurden sehr viele, sehr kleine Keimlinge gesehen und als «mikro Monokotyledonen und «mikro Dikotyledonen» zusammengefasst, aber nicht in der Tabelle 2 berücksichtigt. Nur in eindeutigen Fällen ist der Artname hinzugefügt. Eine exakte Bestimmung vor Ort wäre im dichten Zugverkehr zu zeitaufwändig gewesen.

Die Abbildung 1 zeigt zusammengefasst den Verlauf der Gesamtzahl der lebenden Pflanzen, ohne Berücksichtigung der Höhe, pro Gleis während der Beobachtungsperiode. Die angegebenen Pflanzenzahlen je Gleis setzen sich aus dem Durchschnitt der Summen aller Pflanzen aus den drei Beobachtungssektoren zusammen. Dargestellt sind die Ergebnisse in Prozent verglichen mit der zu Beginn erhobenen Pflanzenzahl. Der Verlauf der Kurven vom zweiten Datenpunkt nach der 1. Behandlung bis zum vierten Datenpunkt nach der 2. Behandlung ist auf Gleis A 4 (Glyphosat) und Gleis A 11 («unbehandelt») höher als derjenige auf den Gleisen A 5 und A 10, die mit Heißwasser behandelt wurden. Das bedeutet, dass mit Heißwasser die Gesamtzahl der lebenden Pflanzen niedriger gehalten werden konnte, als auf dem mit Glyphosat behandelten und auf dem unbehandelten Gleis. Der kräftige Anstieg der Pflanzenzahlen zum Abschluss (nach 3. Behandlung) auf allen Gleisen ist auf das massenweise Auftreten von sehr kleinen mono- und dikotylen Keimlingen im Oktober zurückzuführen.

Auf den Gleisen A 5 und A 10 reduziert sich die Bedeckung mit lebenden Pflanzen nach der zweiten Heißwasserbehandlung deutlich (Abb. 2), während sich die Grünbedeckung vor allem in Gleis A 11 «unbehandelt» in den Bereichen der Gehwege (C links und rechts) deutlich vermehrt. Tabelle 3 zeigt den Verlauf der Pflanzenzahlen während der Beobachtungsperiode 2019 auf den vier Gleisen des Basler Rangierbahnhofs von *Geranium robertianum* und *Conyza canadensis*.

Tab. 2 Liste der am 10 häufigsten vorkommenden Pflanzenarten auf den Beobachtungssektoren 2019 der Geleise A 4, A 5, A 10 und A 11 im Rangierbahnhof Basel (Anzahl = Summe der auf allen Beobachtungssektoren zu allen Zeitpunkten registrierten Individuen).

Tab. 2 *List of the 10 most frequent plant species found in the monitoring area 2019 of the tracks A 4, A 5, A 10 and A 11 of the Basel freight yard (number = total amount of plants registered at all dates in all observation sectors).*

Lat. Name	deutscher Name	Anzahl (angenähert)
Eragrostis sp.	(kleines) Liebesgras	3530
Arenaria sp.	Sandkraut	2180
Geranium robertianum	Stinkender Storchschnabel	1260
Gramineae spp.	Gräser allgemein	1230
Chaenorrhinum minus	Kleines Leinkraut	540
Conyza canadensis	Kanadisches Berufkraut	340
Senecio sp.	Greiskraut	340
Euphorbia prostrata (*E. maculata*)	Niederliegende Wolfsmilch	280
Lactuca serriola	Kompasslattich	230
Galium sp.	(weißes) Labkraut	170

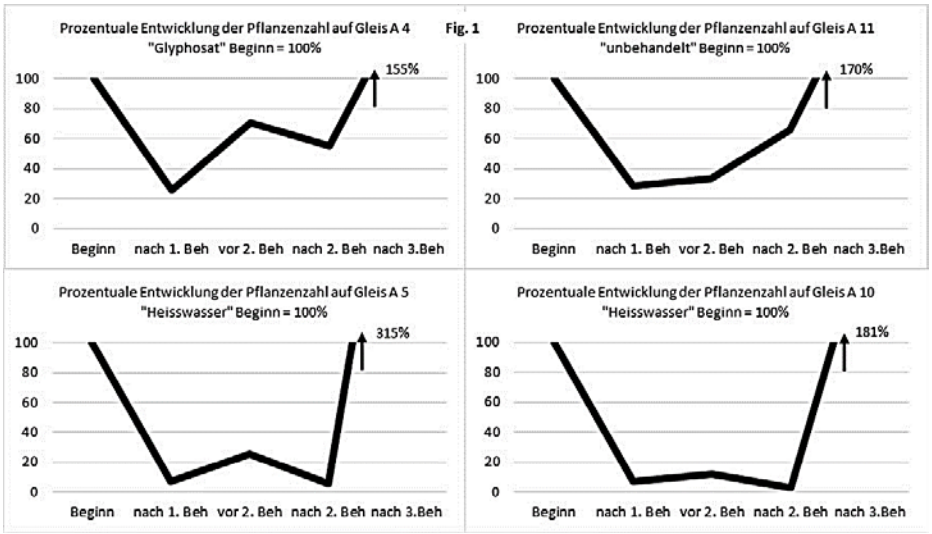


Abb. 1 Verlauf der Entwicklung der Anzahl grüner Pflanzen (Mittelwerte von drei Beobachtungssektoren) während der Beobachtungsperiode 2019 auf den Gleisen A 4 (Glyphosat), A 5 und A 10 (Heißwasserbehandlungen) sowie auf Gleis A 11 («unbehandelt») des Basler Rangierbahnhofs. 100 % = Beginn der Vegetationsaufnahmen.

Fig. 1 *Course of total number of green plants (means of three observation sectors) during the observation period 2019 on tracks A 4 (glyphosate), A 5 and A 10 (hot water) and A 11 (untreated) in the Basel freight yard (100% = beginning of observations).*

Tab. 3 Verlauf der Pflanzenzahlen (Mittel aus drei Beobachtungssektoren) von *Geranium robertianum* und *Conyza canadensis* auf vier Gleisen des Basler Rangierbahnhofs 2019.

Tab. 3 *Development of number of plants (mean of three observation sectors) of Geranium robertianum and Conyza canadensis on 4 tracks of the Basel freight yard in 2019.*

	Glyphosat Gleis A 4	**Heißwasser Gleis A 5**	**Heißwasser Gleis A 10**	**unbehandelt Gleis A 11**
Geranium robertianum				
Beginn	282	324	38	55
Nach 1. Behandlung *	231	29	9	54
Vor 2. Behandlung *	23	16	2	16
Nach 2. Behandlung *	76	2	0	5
Nach 3. Behandlung *	46	259	109	46
Conyza canadensis				
Beginn	0	0	0	38
Nach 1, Behandlung *	1	3	7	85
Vor 2. Behandlung *	1	0	3	79
Nach 2. Behandlung *	0	0	2	123
Nach 3. Behandlung *	1	0	2	119

* = Termin Heißwasserbehandlung

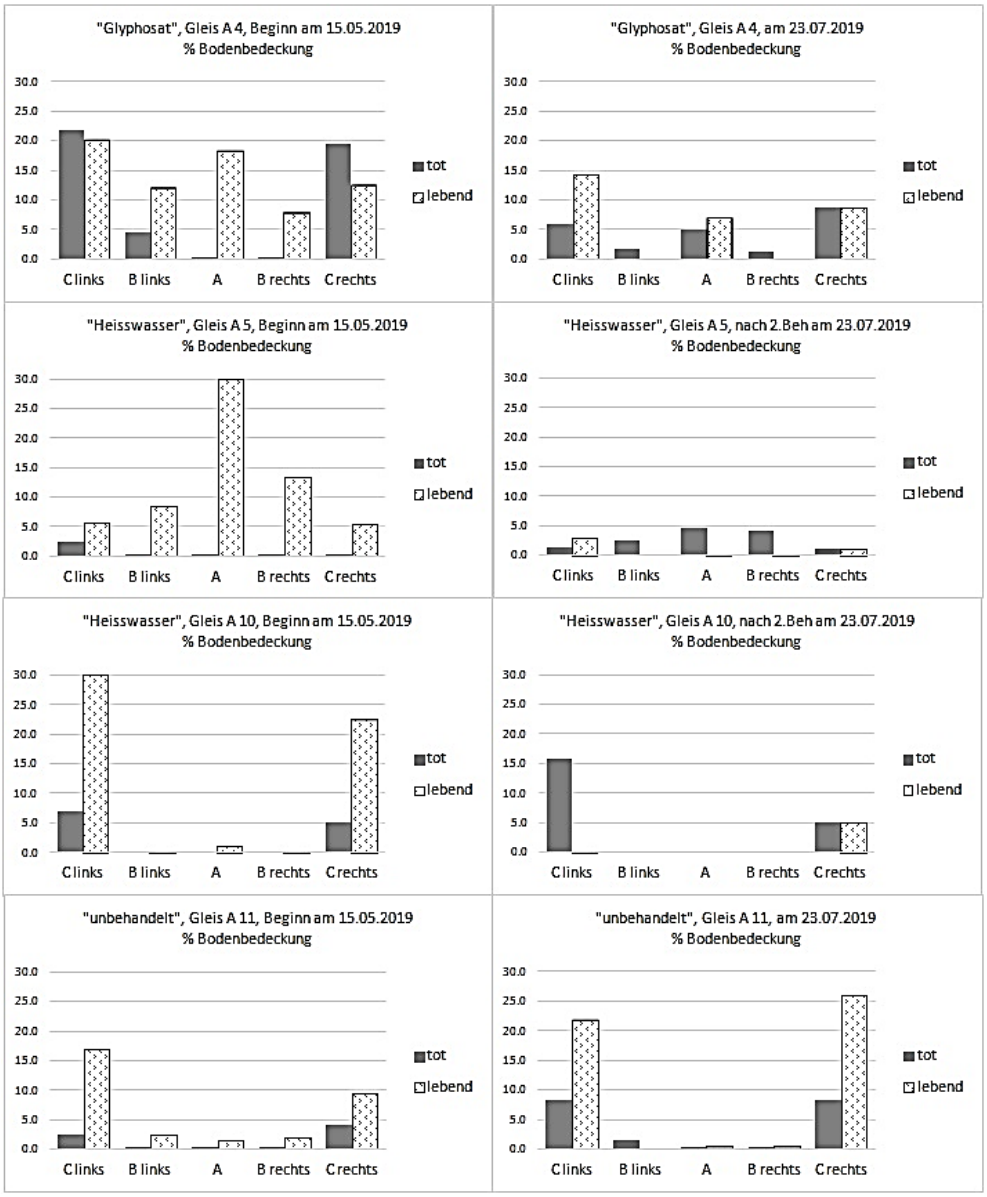


Abb. 2 Bodenbedeckung (%) mit totem und lebenden Pflanzenmaterial (Mittelwert von drei Beobachtungssektoren) auf den Gleisen A 4 (Glyphosat), A 5 und A 10 (Heißwasserbehandlungen) sowie auf Gleis A 11 («unbehandelt») des Basler Rangierbahnhofs zu Beginn der Vegetationsaufnahmen 2019 und nach der zweiten Heißwasserbehandlung aufgetragen nach Gleisbereichen (A = zwischen den Schienen, B = links und rechts der Schienen bis zum Schotterrand, C = Gehweg links und rechts der Gleise).

Fig. 2 *Ground cover (%) of living and dead plant material (mean of three observation sectors) on tracks A 4 (glyphosate), A 5 and A 10 (hot water) and A 11 (untreated) in the Basel freight yard at the beginning of the vegetation survey 2019 and after the second hot water treatment given according the following zones in track: A= between rails, B= (left/right) from rail to the end of sleepers and C= (left and right) sidewalks.*

Diskussion

Die ersten Pilotversuche mit dem Prototyp des SBB Heißwasserspritzfahrzeugs haben zumindest im Rangierbahnhof Basel vielversprechende Resultate gezeigt. An den Beispielen der Gesamtpflanzenzahl pro behandeltem Gleis (Abb. 1), der Bodenbedeckung von lebendem und totem Pflanzenmaterial (Abb. 2) oder der Beobachtung von einzelnen Pflanzenarten (Tab. 3) lässt sich die Wirkung der Heißwasserbehandlung beschreiben. Dies obwohl die Behandlungen im Sommer 2019 nicht ganz von technischen Kinderkrankheiten wie schwankende Wassertemperatur des neuen Versuchsfahrzeugs verschont worden waren.

Risiken und Nebenwirkungen der Heißwasserbehandlung sehen die SBB vor allem in der Gefährdung von Personen durch das heiße Wasser. Bahntechnikanlagen wie Heißläufer-Festbremsortungsanlagen können gestört oder ausgelöst werden. Es ist bekannt, dass Reptilien und Kleinlebewesen und deren Eiablagen durch Heißwasser getötet oder verletzt werden können. Unkrautbekämpfung ist immer ein Eingriff in die Natur mit unvermeidbaren Nebenwirkungen. Flora und Fauna entlang von Zugstrecken sind letztlich Sekundärelemente. Der Vorteil von Heißwasserbehandlungen liegt darin, dass keine synthetischen Stoffe ausgebracht werden und damit nicht mit einer schleichenden Vergiftung der Umwelt gerechnet werden muss. Eine vorausschauende Ökobilanz weist für die Heißwassermethode (Wasser mit Bahnstrom erhitzt) bei hohem Wirkungsgrad eine geringe Anzahl Umweltbelastungspunkte pro Flächeneinheit und Jahr, verglichen mit der Anwendung von Dampf (155 °C), Mikrowellen oder Abflammen aus.

Das erste Testjahr des Heißwasserspritzfahrzeugs hat gezeigt, dass die Methode gegen einjährige Kräuter und Gräser wirksam ist. Gegen zwei- und mehrjährige Pflanzenarten dürfte der Erfolg weniger einfach zu erreichen sein. Über das Eindringen des heißen Wassers in den Schotter hinein und damit über eine Wurzeleinwirkung ist bisher wenig bekannt. Zudem dürfte es im Fall von verholzenden Pflanzen wie beispielsweise dem Kompasslattich (*Lactuca serriola*) nicht einfach sein, überall mit heißem Wasser zum richtigen Zeitpunkt einzugreifen, bevor diese zu verholzen beginnen.

Die Versuche mit Heißwasserbehandlungen konnten dank finanzieller Unterstützung im Rahmen der Umwelttechnologieförderung durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und des Bundesamts für Verkehr (BAV) erfolgen.

Literatur

MÜLLER C., H. KUPPELWIESER , J.P. METTAUX, 2001: Vegetationskontrolle an Bahnanlagen. Informationsbroschüre SBB, Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Verkehr, Bern, 33 Seiten.

SBB, SCHEEDER, F., 2019: SBB testen Heißwasser-Unkrautspritzzug. Schweizer Eisenbahn-Revue **8-9** 2019, S. 408-409.

SBB UND UMWELT, 2006. Informationsbroschüre SBB BahnUmwelt Center, Bern, 16 Seiten.

TANNER, L., 2019: Heißwasserspritzfahrzeug Prototyp – Unterlagen zur SBB Pressekonferenz vom 28. Juni 2019 in Dänikon, 22 Seiten.

Unkrautbekämpfung durch Foliendämpfung im Freiland – Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung und Energieeinsparung

Foil stream treatment for weed control in open areas – ways to improve biological efficiency and reduce fuel consumption

Detlef Stieg[1*], Hans-Peter Söchting[2]

[1]Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig,
[2]Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig
*Korrespondierender Autor, detlef.stieg@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.064

Zusammenfassung

Das Foliendämpfen wird im JKI zur Inaktivierung von Unkrautsamen bei der Saatbettvorbereitung im Freiland verwendet. In der praktischen Umsetzung zeigte sich eine teilweise unzureichende Wirkung bei gleichzeitig hohem Energieaufwand. Durch begleitende Temperaturmessungen wurde versucht die thermisch-physikalischen Prozessabläufe im realen Freilandversuch zu identifizieren, um somit Ansatzpunkte zur biologischen Effizienzverbesserung und Energieeinsparung zu gewinnen. Auf Basis dieser Erkenntnisse und vorhandener Literatur wurden Möglichkeiten zur Effizienzverbesserung postuliert.

Unter Berücksichtigung dieser Postulate wurde ein weiterer Versuch durchgeführt. Dabei wurden zum Nachweis der Effektivität thermophile Samen und Samen wichtiger, im Gartenbau relevanter Unkrautarten auf einer zu dämpfenden Fläche ausgelegt. Die Samen wurden nach verschiedenen Dämpfzeiten entnommen und ihre Keimfähigkeit überprüft. Im Versuch konnte die Wirkung zusätzlicher thermischer Isolation und optimierter Prozessführung (*reduzierte Dämpfdauer*) gezeigt werden. Beim derzeitigen Stand der Optimierung liegt der erforderliche Energiebedarf bei realen Bedingungen und vollständiger biologischer Wirksamkeit bei ca. 17,2 kWh/m2. Eine weitere Reduzierung um ca. 24 % erscheint möglich.

Stichwörter: Foliendämpfen, thermische Unkrautbekämpfung

Abstract

Steam treatment (foil stream treatment) of soil to avoid the germination of weeds in open areas is a used application in JKI. The practical experience showed sometimes bad efficiency regarding weed control and high energy consumption. By accompanying the treatments with temperature measurements the thermodynamic physical processes should be identified in the real open area application to find practical ways to improve the biological and energy efficiency. Based on those results and literature, possibilities for improvement were postulated and realized in a further test. Additionally, thermophile seeds and horticultural important seeds were treated for different processing times and the germination capacity was controlled. The test showed the influence of additional thermal isolation and process control (time limit). In the current stage of optimization an energy consumption of 17.2 kWh/m^2 for real open area applications with full weed avoidance was reached. An additional 24% decrease in energy consumption seems possible.

Keywords: Foil stream treatment, thermal weed control

Einleitung

Nichtchemische Verfahren zur Unkrautbekämpfung gewinnen in allen Anwendungsbereichen an Bedeutung. Auch wenn das Dämpfen von Böden zur Unkrautbekämpfung im Feldbau allgemein weniger gebräuchlich ist, so stellt es bei speziellen Kulturen ein verbreitetes und anerkanntes Verfahren zur Saatbettvorbereitung (Hygienisierung) dar. Hierbei wird die Variante mit den geringsten Anforderungen an die Infrastruktur -dem Foliendämpfen- üblicherweise im Unter-Glas-Anbau genutzt. Dagegen werden im Freiland vor allem effizienzoptimierte, auch selbstfahrende Systeme mit mobilen Haubendämpfern eingesetzt. Auf Grund des hohen Investitionsbedarfs sind diese Systeme aber nicht für alle Anwendungsanforderungen geeignet. Im Julius Kühn-Institut wird das Foliendämpfen zur Inaktivierung von Unkrautsamen auf einzelnen Freilandflächen angewendet. Unabhängig von der Ausführung des Dämpfsystems beruht die Wirkungsweise dieses

Verfahrens auf der Schädigung des Pflanzen- bzw. Samenmaterials durch Erhitzung auf Temperaturen oberhalb von ca. 60 °C – 70 °C (GUDEHUS, 2005).

Das prägende Merkmal aller Dämpfmethoden ist die Verwendung von Wasserdampf als Wärmeträger. Genutzt wird hierbei die Eigenschaft des Dampfes, bei Kondensation eine erhebliche Wärmemenge frei zu setzten, die um ein Vielfaches über der des reinen Abkühlens von Wasser ohne Aggregatzustandsänderung liegt.

Ziel der Untersuchung

In der hier untersuchten Variante, dem „Foliendämpfen", wird eine luftdichte und temperaturfeste Kunststofffolie (PVC) über der zu behandelnden Fläche installiert, so dass sich bei Einleitung des Wasserdampfes unter der Folie ein heißer Gasraum ausbildet, der dafür sorgt, dass der eingeleitete Wasserdampf über der Behandlungsfläche zirkulieren und somit die gesamte Behandlungsfläche mit Wasserdampf durchdrungen werden kann. Von großer Bedeutung für die Wirksamkeit des Verfahrens ist ein hoher Anteil offener Poren im Bodenvolumen zur Erzielung eines möglichst geringen Penetrationswiderstands und damit einem Kondensieren möglichst dicht am eventuell vorhandene Unkrautsamen (GUDEHUS, 2005). Auf Grund von Zielkonflikten und Freilandbedingungen lässt sich dieser Optimalzustand real nur bedingt erreichen, was im Einzelfall zu erheblichen Kostensteigerungen bei gleichzeitiger Wirkungsminderung des Behandlungserfolges führen kann.

Ziel dieser Untersuchungen war und ist es diese physikalischen Wirkungsparameter zu identifizieren, nachzuweisen und Möglichkeiten zur Optimierung zu finden. Hierzu lassen sich die Untersuchungen in zwei Phasen aufteilen. Die hier vorgestellte Arbeit bezieht sich auf die Untersuchung der zweiten Phase auf die im Abschnitt „Material und Methoden" näher eingegangen wird.

Erste Phase: Erhebung des Ist-Zustandes. Die Untersuchungen wurden hierbei nicht speziell angelegt, vielmehr wurde der Dämpfbetrieb mit Temperaturmessungen begleitet. Auf Basis der Messungen und unter Beachtung einschlägiger thermodynamisch/physikalischer Zusammenhänge wurde ein Postulat über die physikalischen Abläufe und Einflussmöglichkeiten zur Effektivitätsverbesserung und/oder zur Aufwandminimierung erstellt (STIEG, 2016).

Hiernach führte die geringe Wärmeisolation der Folie in Verbindung mit den geringen Außentemperaturen zu einer verstärkten Kondensation des Wasserdampfes an der inneren Folienoberfläche, was zur Folge hatte, dass die zur Bodenerwärmung zur Verfügung stehende Wärmemenge drastisch sank. Zudem sorgte das von der Folienoberfläche abtropfende Kondensat zu einer erheblichen Verminderung des offenen Porenvolumens des Zielbodens und im Extremfall zur Verschlämmung der Zielfläche. Hierdurch konnten die tiefer liegenden Bodenschichten nur noch mittels Wärmeleitung erwärmt werden. Eine einfache Erhöhung der Dämpfzeit zur Kompensation dieser Effekte und somit zur Erreichung der angestrebten Bodentemperatur in 8 cm Tiefe ist damit und in Übereinstimmung mit Angaben von GUDEHUS (2005) nicht problemlos möglich, da die hierfür benötigte zusätzliche Kondensatmenge die Bodenverschlämmung weiter fördert, der ablaufende Kondensatstrom erhebliche Wärmemengen der Behandlungsfläche (dem Behandlungsbodenvolumen) entzieht und die Bodenverschlämmung zum Druckanstieg im Gasraum führt. Hierdurch kann es dann vermehrt zum örtlichen Versagen der Folienabdichtung am Boden und zum Zusammenbruch des kontrollierten Dämpfprozesses kommen.

Material und Methoden

Bei der Untersuchung der zweiten Phase wurden die Einflussparameter optimiert und ebenfalls durch begleitende Temperaturmessungen dokumentiert. Zur Vergrößerung des offenen Porenvolumens in der oberen Bodenschicht wurde die Versuchsfläche einige Tage vor dem Dämpfen auf einer Tiefe von ca. 15 cm gepflügt. Zur besseren thermischen Isolation des Wasserdampfes von der Umgebungsluft wurde während des Dämpfens ein zusätzliches Vlies über der Dämpffolie ausgebreitet. Wie bei den Versuchen in Phase 1 wurden auf der Versuchsfläche von

ca. 5 m x 13 m Temperatursensoren (PT1000 und Thermoelemente Typ-K) in einer Tiefe von 8 cm installiert. Die hierbei gewonnenen Temperaturdaten wurden im Zeitraster von 5 min aufgezeichnet.

Um die Wirkung des Erhitzens auf die Keimfähigkeit von Unkrautsamen zu prüfen wurden Samenpakete von 21 im Gartenbau auftretenden wichtigen Unkräutern (Tab. 1) an verschiedenen Stellen im Dämpfbereich jeweils in unmittelbarer Nähe eines der ausgelegten Thermometer in 8 cm Tiefe platziert und zu verschiedenen Zeitpunkten entnommen. Die Samenpakete bestanden aus einem Teefilter, in den 50 Samen je Unkrautart eingelegt wurden und die dann in eine Hülle aus Kunststoff-Gaze gesteckt und in einem Drahtgestell eingeklemmt wurden. Diese Pakete wurden dann mit Hilfe von Schnüren zu unterschiedlichen Zeitpunkten während des laufenden Dämpfvorganges aus dem Dämpfbereich entnommen. Auf diese Weise wurden unterschiedliche Behandlungszeiträume oberhalb der angenommen Schädigungsgrenztemperatur von 60 °C realisiert.

Nach der Entnahme aus dem Dämpfbereich wurden die Unkrautsamen sofort aufbereitet, indem sie aus der Gaze entnommen und mitsamt dem Teefilter in Kunststoffbechern mit Aussaaterde ausgelegt wurden. Parallel dazu wurden neben den gedämpften Unkrautsamen auch ungedämpfte Samen der getesteten Arten als Kontrolle ausgelegt.

Im Anschluss wurden sämtliche Proben bei 20 °C, 14 Stunden Tageslicht sowie 10 Stunden Dunkelheit im Gewächshaus aufgestellt. Die Keimung der Unkrautsamen wurde über einen Zeitraum von vier Wochen beobachtet.

Unter den Unkrautarten waren mit *Digitaria sanguinalis* und *Datura stramon*ium auch zwei Arten, die aus Vorversuchen bekanntermaßen sehr unempfindlich gegen Hitzeeinflüsse sind. Beide Arten wurden nicht nur in den Gazepaketen, sondern zusätzlich auch auf der Dämpffläche direkt im Boden ausgelegt. Dafür wurden in zwei Bodentiefen (4 cm und 10 cm) vor und nach dem Dämpfdurchgang jeweils 100 Samen an markierten Stellen eingebracht. Nach der Einsaat (bzw. vor oder nach dem Dämpfvorgang) wurden die entsprechenden Stellen nicht weiter bearbeitet. Im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode wurde dann der Auflauf der Pflanzen an den betreffenden Stellen bonitiert.

Tab. 1 Im Rahmen des Versuches geprüfte Unkrautsamen.

Tab. 1 *In the experiment used weed seeds.*

Nr.	EPPO-Code	Wiss. Name	Deutscher Name	Keimfähigkeit der Kontrolle in %
1	AMAAL	*Amaranthus albus*	Weißer Amarant	48
2	AMARE	*Amaranthus retroflexus*	Zurückgebogener Amarant	82
3	ANCOF	*Anchusa officinalis*	Gemeine Ochsenzunge	98
4	AETCY	*Aethusa cynapium*	Hunds-Petersilie	76
5	LITAR	*Buglossoides arvense*	Acker-Steinsame	58
6	CAPBP	*Capsella bursa-pastoris*	Gemeines Hirtentäschel	86
7	CHEAL	*Chenopodium album*	Weißer Gänsefuß	58
8	DATST	*Datura stramonium*	Weißer Stechapfel	86
9	DIGSA	*Digitaria sanguinalis*	Blutrote Fingerhirse	98
10	ECHCG	*Echinochloa crus-galli*	Gemeine Hühnerhirse	88
11	GASPA	*Galinsoga parviflora*	Kleinblütiges Franzosenkraut	0
12	HYSNI	*Hyoscyamus niger*	Schwarzes Bilsenkraut	0
13	MERAN	*Mercurialis annua*	Einjähriges Bingelkraut	36
14	MYOAR	*Myosotis arvensis*	Acker-Vergissmeinnicht	58
15	PANCA	*Panicum capillare*	Haar-Hirse	4
16	POAAN	*Poa annua*	Einjährige Rispe	98
17	SENVU	*Senecio vulgaris*	Gemeines Kreuzkraut	76
18	PESGL	*Setaria glauca*	Fuchsrote Borstenhirse	88
19	SOLNI	*Solanum nigrum*	Schwarzer Nachtschatten	84
20	STEME	*Stellaria media*	Vogel Sternmiere	64
21	THLAR	*Thlaspi arvense*	Acker-Hellerkraut	78

Ergebnisse

Beim Versuch der Phase 2 herrschten folgende Wetterbedingungen: 8 °C - 12 °C Lufttemperatur, leichter Wind, trocken und sonnig. Das offene Porenvolumen lag im Bereich dessen was unter Idealbedingungen in einem Frühjahrstag (April) im Freiland in Deutschland bei einem lehmigen Sandboden zu erwarten ist.

Nach ca. 120 min Dämpfzeit wurde in 8 cm Tiefe eine mittlere Bodentemperatur von 65 °C erreicht (93 °C im Bereich des Dampfeinlasses).

Die Aufheizrate des Bodens nahm im zeitlichen Verlauf, vermutlich auf Grund des geringer werdenden Temperaturunterschiedes ab.

In 8 cm Bodentiefe und im Bereich um 60 °C ergaben sich so Aufheizraten zwischen 2,5 °K/10min und 3,4 °K/10min, während die Aufheizrate im Bereich des Dampfeinlasses bei 8,8 °K/10min lag. Die Grenztemperaturen wurden innerhalb von 95 – 115 min erreicht, im Dampfeinlassbereich bereits nach 45 min. Die höchste gemittelte Aufheizgeschwindigkeit (4 Messstellen mit Thermoelementen Typ-K in 8 cm Bodentiefe) liegt bei 0,9 °K/min und wird bei 21 °K Temperaturerhöhung nach ca. 45 min Dämpfzeit erreicht.

120 min nach Erreichen der 60 °C-Marke bzw. 155 min nach Beginn wurde die Dampfeinleitung beendet. Zu diesem Zeitpunkt lag die gemittelte Bodentemperatur bei 70,7 °C (+/- 3 °C). Das Temperaturmaximum der Bodentemperaturen stellte sich ca. 12 - 17 min nach Ende der Dampfeinleitung mit einer gemittelten Temperatur von 72,1 °C (-4/+2 °C) ein. Hierbei war die Versuchsfläche weiterhin abgedeckt.

Unregelmäßige Messungen der dem Dampferzeuger zugeführten Wassermenge über die Versuchsdauer deuten auf einen weitgehend linearen Wasserverbrauch bzw. gleichbleibende Wärmezufuhr hin. Der gemessene Wasserverbrauch und damit die Dampfmenge liegt bei ca. 22 l/m^2.

Die Oberflächentemperatur der Folie betrug ca. 91°C - 98 °C. Die Temperaturmessung mittels Infrarotthermometer auf der unebenen weiß-grauen Vliesoberfläche ergab Temperaturen zwischen 51 °C und 61 °C. Nach ca. 130 min Dämpfzeit wurde das kontrollierte Dämpfen dadurch erschwert, dass sich die Folie übermäßig aufblies und es auch hier verstärkt zum bereits beschriebenen Versagen der Folienabdichtung und damit zu größeren Undichtigkeiten und dem Entweichen des Wasserdampfes kam.

Im Verlauf der nach dem Dämpfen folgenden Vegetationsperiode zeigte die behandelte Fläche kein Auflaufen von Unkräutern. Auch aus den behandelten Proben der Samenpakete war bei keiner Unkrautart und unabhängig von der Behandlungsdauer eine Keimung zu verzeichnen, während die unbehandelten Kontrollvarianten fast alle sehr hohe Keimraten zeigten (Tab. 1).

Von den Samen der Unkräuter, die direkt in die Behandlungsfläche gelegt und so mitbehandelt wurden (*Datura stramonium*, *Digitaria sanguinalis*), lief in beiden Bodentiefen und von beiden Arten keine Pflanze auf. Bei den nach der Dämpfung ausgesäten Pflanzen lag die Keimfähigkeit bei *D. stramonium* bei 10 cm Tiefe bei 20 % und bei 4 cm Tiefe bei 43 %. *D. sanguinalis* lief bei 10 cm Tiefe nicht auf, bei 4 cm Tiefe liefen 15 % der ausgelegten Samen auf. Es zeigte sich, dass durch das Dämpfen ein vollständiger Bekämpfungserfolg gegenüber diesen beiden Arten erzielt wurde.

Obwohl der Wassersättigungsgrad und das offene Porenvolumen weit vom theoretischen Optimum entfernt sind, scheinen die Randbedingungen des Versuches nahe am real erreichbaren Optimum zu liegen, wenn von nicht idealem Boden, einem überschaubaren Vorbereitungsaufwand (einmaligem Pflügen auf 15 cm Tiefe) und von frühjährlichen (März-April) niederschlagsfreien Perioden von max. 3 - 4 Tagen und keinem Bodenfrost ausgegangen werden kann.

Die Variationen im (Boden-)Temperaturverlauf deuten sowohl auf den Einfluss kleinräumiger Unterschiede in der Durchdringungsfähigkeit des Bodens wie auch auf einen nicht homogen durchströmten Gasraum hin. Auch die zu erwartenden „Totwassergebiete“ in den Ecken des Gasraumes konnten im Anschluss des Versuches als Bereiche mit verschlämmter Bodenoberfläche

identifiziert werden. Hierzu passte auch die Beobachtung, dass im Bereich mit ausreichender Energiezufuhr (Einlassbereich der Dampfleitung) der Boden optisch und haptisch trocken erschien. Zudem belegen die Temperaturmessungen in diesem Bereich die zuvor beschriebene außergewöhnlich hohe Temperatur und Bodenerwärmungsrate, verglichen mit den übrigen Bereichen. Dies deutet darauf hin, dass es zu den im Postulat beschriebenen Vorgängen kommt, was bedeutet, dass der Wasserdampf im Eintrittsgebiet immer noch überhitzt ist und der zu Versuchsbeginn (im „kalten" Boden) auskondensierte Wasserdampf durch den ausreichenden Energienachschub im Verlauf des Versuches wieder verdampfen kann. Wodurch wiederum in diesem Bereich die Bodenporen offen, nicht mit Kondensat gefüllt und damit für den Wasserdampf gut durchdringbar bleiben.

Diskussion

Die in der Literatur (GUDEHUS, 2005) angegebene tiefenabhängige Zeitverzögerung der Temperaturreaktion von 22 cm/h konnte in der Größenordnung durch den Versuch in Phase 2 bestätigt werden. Hierbei kam es nach ca. 10 – 15 min zu einer ersten klaren Temperaturerhöhung von ca. 1 °K (+/-0,4) woraus sich eine „Durchdringungsgeschwindigkeit" von ca. 48 - 32 cm/h ergibt. Hierbei ist jedoch auf Grund der geringen Bodentiefe von 8 cm in Verbindung mit der rauen und porösen Oberfläche von einer erhöhten Ungenauigkeit auszugehen.

Die laut GUDEHUS (2005) erforderliche Mindesttemperatur von 60 °C – 70 °C zur Unkrautinaktivierung konnte bestätigt werden. Die im optimierten Versuch erreichte gemittelte Bodentemperatur betrug maximal ca. 72 °C, was zur vollständigen Inaktivierung auch hitzeunempfindlicher Unkrautsamen ausreichte.

Mit einer angenommenen Wassereintrittstemperatur von 8 °C, einer Dampfaustrittstemperatur von 200 °C (SEIFERT, 2010) und einem Wasserverbrauch von 1417 l ergab sich ein Wärmeenergieverbrauch von ca. 1118 kWh (CERBE und HOFFMANN, 1987) oder flächenbezogen von ca. 17,2 kWh/m^2. Mit der Annahme eines Dampferzeugerwirkungsgrades von maximal 92 % (GUDEHUS, 2005) würde sich hieraus ein Brennstoffbedarf als Heizöläquivalent von mind. 113 l oder flächenbezogen von 1,74 l/m^2 Heizöl EL ergeben.

Zur Abschätzung des zukünftigen Brennstoff-Einsparpotentials wird ebenfalls der Wasserverbrauch herangezogen. Hierzu wird davon ausgegangen, dass nach Erreichen der Grenztemperatur von 60 °C (Versuch 2019 nach 115 min) die Dampfeinleitung abgebrochen werden kann. Wie beschrieben würde das Temperaturniveau noch für einen längeren Zeitraum auf mindestens gleichem Niveau verbleiben. Es wird erwartet, dass durch die Verkürzung auf 74 % der Dampferzeugerlaufzeit der Energieverbrauch in gleicher Höhe auf ca. 12,7 kWh/m^2 bzw. der Heizölverbrauch auf ca. 1,29 l/m^2 reduziert werden könnte, ohne Wirkungseinbußen befürchten zu müssen. Dieser Annahme soll in einem zukünftigen Versuch nachgegangen werden.

Literatur

CERBE, G., H.J. HOFFMANN, 1987: Einführung in die Wärmelehre, 8. Auflage. Hanser Verlag 1987, München.

GUDEHUS, H.C., 2005: Dämpfen im Gartenbau. Osnabrücker Beiträge zum Gartenbau 6/2005. Fachhochschule Osnabrück, Osnabrück.

SEIFERT, M. 2010: Bodendämpfung – Dämpftechnik und Dämpfsysteme für ihren Einsatz. Produktpräsentation zu MSD-Dampfkesseln für Dämpfsysteme, MSD-GmbH 2010.

STIEG, D., 2016: Untersuchungen zum Energieeinsparpotential beim Flächendämpfen von Böden im Freiland durch optimierte Prozessführung. Julius-Kühn-Archiv **454**, 170.

Effects of cover crop in pure stands and in mixtures on weed control and performance of maize (*Zea mays*)

*Einfluss von Zwischenfruchtmischungen und -einzelsaaten auf Unkrautkontrolle in Mais (*Zea mays*) und dessen Ertrag*

Matthias Schumacher*, Alexandra Schappert, Roland Gerhards

Department of Weed Science, Institute of Phytomedicine (360), University of Hohenheim, Otto-Sander-Str. 5, 70599 Stuttgart
*Korrespondierender Autor, matthias.schumacher@uni-hohenheim.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.065

Abstract

Pure stands of cover crops (CC) and species mixtures raise increasing consideration in agricultural production systems due to the manifold services they provide to farmers. Their contribution to weed control is one of the most obvious services. However, especially allelochemicals can affect both weeds and crop plants. We examined the carry-over effects of CC stands, pure and in mixtures, on the subsequent maize crop in terms of crop establishment speed and weed pressure in 2018. Within a field trial, 10 different CC species, as well as particular mixtures of four species with either enhanced allelopathic potential, biomass production or emergence speed as well as a mixture with all 10 species were examined. The emergence pattern of the maize crop was more heterogeneous between the pure CC stands than across the mixtures. However, the time of emergence was slightly delayed in the latter in comparison to the pure CC stands. The single CC oat, mustard and flax were able to accelerate crop emergence significantly. Rye and vetch were the most effective treatments in the reduction of weed density and coverage in June 2018. However, total maize biomass did not differ considerably between the treatments. Although designed for different purposes the mixtures performed quite uniform in regard to weed control. Additional criteria besides weed control ability should therefore be considered to create appropriate multifunctional CC mixtures.

Keywords: Cover crops, diversity, integrated weed control, maize

Abstract

Zwischenfruchtreinsaaten und Mischungen werden in landwirtschaftlichen Produktionssystemen aufgrund ihrer vielfältigen Dienstleistungen, die sie für die Landwirte erbringen, zunehmend eingesetzt. Ihr Beitrag zur Unkrautbekämpfung ist eine der offensichtlichsten Dienstleistungen. Allelopathische Substanzen der Zwischenfrüchte (ZF) können jedoch nicht nur Unkräuter, sondern auch Kulturpflanzen negativ beeinflussen. Wir haben die Auswirkungen von reinen ZF-Beständen und -Mischungen auf die nachfolgende Maiskultur im Hinblick auf die Auflaufgeschwindigkeit der Kulturpflanzen und den Unkrautdruck im Jahr 2018 untersucht. Im Rahmen eines Feldversuchs wurden 10 verschiedene ZF-Arten sowie spezielle Mischungen von vier Arten mit erhöhtem (i) allelopathischem Potenzial, (ii) Biomasseproduktion oder (iii) Auflaufgeschwindigkeit sowie (iv) eine Mischung mit allen 10 Arten untersucht. Das Auflaufverhalten des Mais war zwischen den ZF-Reinbeständen heterogener als zwischen den Mischungen. Allerdings war das Auflaufverhalten von Mais in den Mischungsvarianten im Vergleich zu den reinen ZF-Beständen etwas verzögert. Die ZF Hafer, Senf und Lein in Reinsaat konnten das Auflaufen der Kulturpflanze deutlich beschleunigen. Roggen und Wicke reduzierten im Juni 2018 die Anzahl der Unkräuter und die Unkrautdeckung sehr effektiv. Die Gesamtbiomasse des Mais unterschied sich jedoch nicht wesentlich zwischen den Behandlungen. Obwohl die Mischungen für verschiedene Zwecke konzipiert waren, zeigten sie in Bezug auf die Unkrautbekämpfung eine recht einheitliche Wirkung. Neben der Fähigkeit zur Unkrautbekämpfung sollten zusätzliche Kriterien in Betracht gezogen werden, um geeignete vielseitige ZF-Mischungen herzustellen.

Keywords: Biodiversität, Integrierte Unkrautkontrolle, Mais, Zwischenfrüchte

Introduction

Utilizing cover crops in the crop rotation is an important tool for integrated weed management. Lately cover crop mixtures are deliberately composed to enhance positive services such as N-fixation, erosion reduction and weed control and to comply with EU regulations (EU regulation No 1307/2013).

Cover crops are able to suppress weeds through several mechanisms and over a quite long time-span. In autumn, they provide weed control via competition for light, space, nutrients and water (BLANCO-CANQUI et al., 2015) and by exudating allelopathic substances into the environment (GFELLER et al., 2018). In spring, before sowing the main crop, the remaining plants are usually terminated chemically or mechanically. Plant residues can be incorporated into the soil or remain on the soil surface (CREAMER et al., 1996). In case of the latter, they constitute a physical barrier that new weeds need to penetrate (TEADALE and MOHLER, 1993). Additionally, also plant residues are able to release the remaining allelochemicals (TABAGLIO et al., 2013). After sowing the next main crop, these phytotoxic substances can still affect the weeds.

However, this might also negatively impact crop performance. Carry-over effects, like residual activities of herbicides, might inhibit crop emergence or affect the crop development. This potent nature of allelochemicals makes them ambivalent in terms of crop production.

The aim of this study was to determine if carry-over effects of single sown cover crops and mixtures are present after termination by measuring (i) the performance of the following maize crop and (ii) the resulting weed pressure.

Materials and Methods

The experiment was established on the research station "Ihinger Hof" of the University of Hohenheim (Latitude / Longitude: 48.744273° / 8.928766°). The long-term mean of temperature in this area is 8.4 °C with a mean precipitation of 738 mm. The cover crop treatments (Tab. 1) were sown on 28th August 2017 with a rotary hoe and sowing machine combination. Beside the CC, no additional weed control was applied. The control treatment was a weedy fallow with no cover crops. The experiment consisted of two adjacent field trials, both with a completely randomized block design with four repetitions and a plot size of 27 m^2 (3 m x 9 m). One field trial contained the single sown cover crops and the other trial the cover crop mixtures. Cover crops were either terminated by frost during winter or by mulching in spring and the soil was tilled afterwards with a rotary harrow on 2nd of May 2018. The maize crop was sown the same day with a seeding density of 92,300 seeds*ha^{-1} and a row distance of 0.75 m. Plots were not treated with crop protection measures (including additional weed control measures) and received mineral nitrogen fertilizer with a rate of 170 kg*ha^{-1} on the 9th May 2018.

Tab. 1 Cover crop treatments with their corresponding seeding densities and mixture compositions. Percentage of single cover crops in the mixture represent proportions (seed weight) of the respective single sown cover crops.

Tab. 1 *Zwischenfruchtbehandlungen mit ihren jeweiligen Saatstärken und Zusammensetzung der einzelnen Mischungen. Prozentangaben der einzelnen Zwischenfrüchte in den Mischungen entsprechen den jeweiligen Anteilen an den entsprechenden Reinsaaten.*

Cover crop treatment	**Latin name**	**Mixture composition**	**Seeding density [kg*ha^{-1}]**
Control	-	-	-
Mustard	*Sinapis alba L.*	-	25
Oilseed radish	*Raphanus sativus L.*	-	25
Phacelia	*Phacelia tanacetifolia BENTH*	-	14
Rye	*Secale cereale L.*	-	100
Vetch	*Vicia sativa L.*	-	120
Oat	*Avena strigosa SCHREB.*	-	100
Ramtil	*Guizotia abyssinica (L.F.) CASS.*	-	10
Buckwheat	*Fagopyrum esculentum MOENCH*	-	85
Red fescue	*Festuca rubra L.*	-	35
Flax	*Linum usitatissimum L.*	-	35
Allelo-Mixture		Oilseed radish (12%), rye (30%), buckwheat (35%), flax (23%)	71
Biomass-Mixture		Mustard (25%), phacelia (15%), rye (30%), buckwheat (30%)	64
Cover-Mixture		Mustard (30%), phacelia (20%), vetch (30%), buckwheat (20%)	63
NKIT-Mixture		Oat (25%), ramtil (30%), red fescue (15%), flax (30%)	44
Complete-Mixture		Mustard, Oilseed radish, phacelia, rye, vetch, oat, ramtil, buckwheat, red fescue, flax (all 10%)	55

Crop emergence was measured daily for three weeks after sowing of maize. To calculate crop emergence the emerged coleoptiles of the maize seeds were counted two times per plot on a row length of one meter. The mean of both values per plot was used for later analysis. An emergence rate of 7-8 maize plants per meter represents full emergence of the crop. Crop cover was estimated three times per plot on 15th of June 2018 with an estimation frame of 0.1 m^2. Crop biomass was assessed on 27th of June 2018 by harvesting one square meter above ground biomass of the maize plants of each plot.

Weed densities and cover were estimated three times per plot with an estimation frame of 0.1 m^2 on 15th of June 2018.

Data was analysed with the statistical software R (Version 3.4.4, R core team 2018). Weed densities, weed cover and crop cover were analyzed with the standard analysis of variance (ANOVA) and means were compared with a Tukey test ($p \leq 0.05$).

Results

Maize grown after the cover crop treatments flax, mustard and oat showed a faster emergence than the no cover crop control and the other cover crop treatments (Fig. 1). Maize emergence in all cover crop mixture treatments was delayed until 20 days after sowing, but full emergence was reached after 3-4 more days. Maize emergence after single sown cover crops started 9 days after sowing.

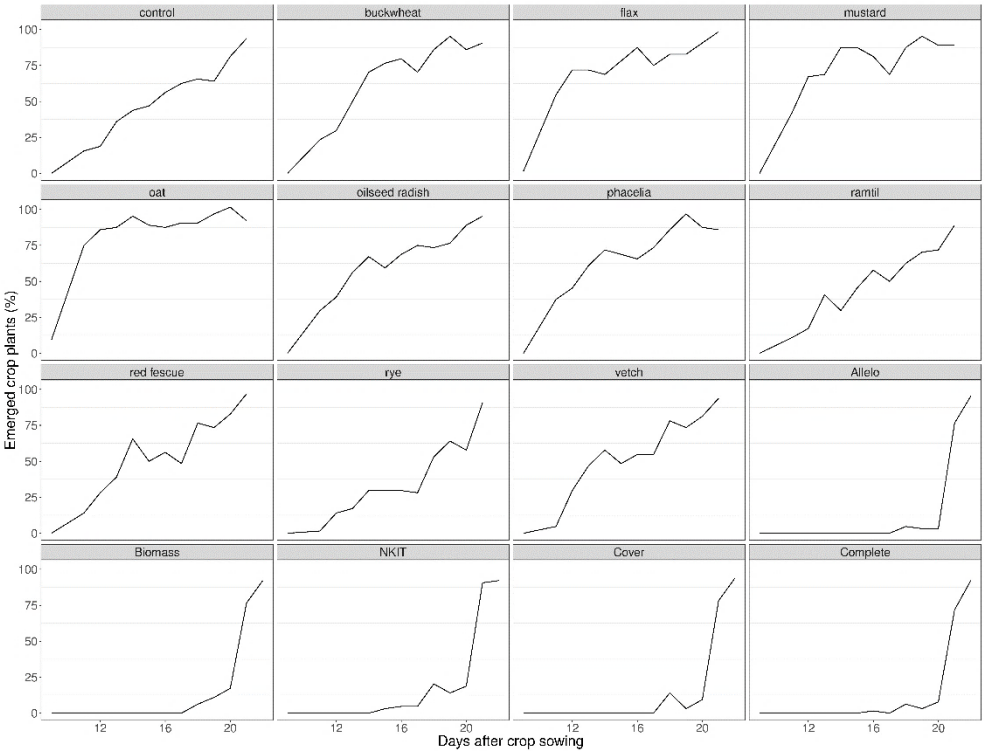


Fig. 1 Emergence of maize crop plants (%) sown after the respective cover crop treatments from 9 days after crop sowing (DAS) to 22 DAS. For cover crop mixture composition see Table 1.

Abb. 1 *Auflauf der Maispflanzen (%) nach Aussaat in die jeweiligen Zwischenfruchtbehandlungen von 9 Tagen nach Aussaat bis 22 Tagen nach Aussaat. Die Zusammensetzung der Zwischenfruchtmischungen ist in Tabelle 1 gegeben.*

Soil cover of maize was significantly higher after growing oat (71.9%). All other cover crop treatments did not differ from the control (Tab. 2). Total maize biomass (data not shown) between all treatments was not significantly different from the control in June. Weed densities and weed cover were smallest after growing rye or vetch, while the treatments NKIT and mustard showed an increase in these parameters compared to the control. The weed community in the two trials was dominated by *Chenopodium album*, *Stellaria media*, *Matricaria chamomilla* and volunteer wheat.

Tab. 2 Weed density (plants*m^{-2}) and weed soil cover (%) as well as crop soil cover (%) 45 days after sowing (corresponds to BBCH 30/31 of the maize plants). Differing letters within each column represent significant differences according to Tukey-test (p≤0.05). Small letters denote differences among the single sown cover crops and capital letters among the cover crop mixtures.

Tab. 2 *Unkrautdichte (Pflanzen*m^{-2}) und -bodenbedeckung (%), sowie Kulturpflanzendeckung (%) 45 Tage nach Aussaat des Mais (entspricht BBCH Stadium 30/31). Sich unterscheidende Buchstaben innerhalb einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede auf Grundlage des t-Test (p≤0,05) zwischen den Behandlungen an. Großbuchstaben zeigen Unterschiede zwischen den Zwischenfruchtmischungen an und kleine Buchstaben zwischen den Reinsaaten.*

Cover crop treatment	Weeds		Crop
	Density (plants*m-2)	Soil cover (%)	Soil cover (%)
Control	90.0 abAB	41.0 abcAB	40.0 bcA
Mustard	113.8 a	47.6 a	48.1 bc
Oilseed radish	88.8 ab	43.8 ab	36.9 c
Phacelia	92.5 ab	41.3 abc	55.0 b
Rye	50.0 c	19.9 c	37.5 c
Vetch	70.0 bc	24.0 bc	38.8 c
Oat	88.8 ab	47.8 a	71.9 a
Ramtil	92.5 ab	39.3 abc	34.4 c
Buckwheat	70.0 bc	36.4 abc	36.9 c
Red fescue	76.3 abc	44.4 ab	38.1 c
Flax	73.5 bc	36.7 abc	47.5 bc
Allelo-Mixture	91.3 AB	29.1 B	38.8 A
Biomass-Mixture	80.0 AB	30.5 AB	38.8 A
Cover-Mixture	73.8 AB	28.6 B	31.9 A
NKIT-Mixture	118.8 A	46.7 A	41.3 A
Complete-Mixture	93.8 AB	38.0 AB	40.0 A

Discussion

Among the single sown cover crops especially oat showed long-term positive effects on maize by accelerating emergence and facilitating growth, which was indicated by a higher soil cover of the crop. However, weeds were not negatively affected by oat. Other oat species like *Avena fatua* and *Avena sativa* are known to produce the allelochemical Scopoletin along with other potential allelochemicals (FAY and DUKE, 1977, BELZ, 2007). If xenobiotics are taken up by plants in low concentrations they can invoke growth stimulation (hormesis) (BELZ, 2007). This effect was also observed for oat by NARVAL (2002) and might explain the positive effects on the maize plant emergence and development. Flax and mustard also exhibited stimulating effects on the crop emergence, but later no positive effects on weeds or crop plants were determined. Rye also belongs to the family of Poaceae and is known to produce benzoxazinoids. The degradation products of benzoxazinoids can exert quite long-lasting phytotoxic effects (BELZ, 2007). This might explain the slow emergence and low soil cover of the crop plants and the significant reduction of weed density and weed soil cover. The effects of allelochemicals are highly dependent on weather conditions, agronomic measures and amount of biomass, that actually contains allelochemicals (BELZ, 2007).

The cover crop mixtures showed no significant differences compared to the control in terms of weed control and crop facilitation. Emergence of the maize crop was even delayed in comparison to the single sown cover crops. This effect might be attributed to a more compacted soil, that was probably present at the location of the mixture trial, in opposition to the soil structure in the single sown cover crop trial. However, maize plants were able to compensate the delay in emergence until June. Cover crop mixtures provided no facilitation for the maize plants and showed no effects on the weeds. As cover crop mixtures are not solely composed to provide weed control, other aspects like N-fixation (HARTWIG and AMMON, 2002) or control of pests (FOURIE et al., 2016) might positively influence the following crop.

References

BELZ, R.G., 2007: Allelopathy in crop/weed interactions—an update. Pest Manag. Sci. **63**, 308–326.

BLANCO-CANQUI, H., T.M. SHAVER, J.L. LINDQUIST, C.A. SHAPIRO, R.W. ELMORE, C.A. FRANCIS, G.W. HERGERT, 2015: Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. Agron. J. **107**, 2449–2474.

CREAMER, N.G., M.A. BENNETT, B.R. STINNER, J. CARDINA, E.E. REGNIER,1996: Mechanisms of weed suppression in cover crop-based production systems. HortScience **31**, 410–413.

European Parliament of the Council. Regulation (EU) No 1307/2013 of the European Parliament of the Council of 17 December 2013: Establishing Rules for Direct Payments to Farmers under Support Schemes within the Framework of the Common Agricultural Policy and Repealing Council Regulation (EC) No 637/2008 and Council Regulation (EC) No 73/2009.63; European Parliament of the Council: Brussels, Belgium

FAY, P.K., W.B. DUKE, 1977: An assessment of allelopathic potential in *Avena* germplasm. Weed Sci **25**, 224–228

FOURIE, H., P. AHUJA, J. LAMMERS, M. DANEEL, 2016: Brassicacea-based management strategies as an alternative to combat nematode pests: A synopsis. Crop Prot. **80**, 21–41.

GFELLER, A., J.M. HERRERA, F. TSCHUY, J. WIRTH,2018: Explanations for *Amaranthus retroflexus* growth suppression by cover crops. Crop Prot. **104**, 11–20.

HARTWIG, N.L.; H.U. AMMON, 2002: Cover crops and living mulches. Weed Sci. **50**, 688–699.

NARVAL, S.S., 2002: Crop allelopathy for weed management in sustainable agriculture. In: M.J.R. ROGER, N. PEDROL : Allelopathy. From molecules to ecosystems. Enfield, NH: Science Publishers.

TABAGLIO, V., A. MAROCCO, M. SCHULZ, 2013: Allelopathic cover crop of rye for integrated weed control in sustainable agroecosystems. Ital. J. Agron. **8**, e5.

TEASDALE, J.R., C.L. MOHLER, 1993: Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. Agron. J. **85**, 673–680.

Electrical weed control in sugar beet - A comparison of pre-emergence methods

Elektrische Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben - Ein Vergleich von Vorauflauf-Behandlungen

Maximilian Koch[1*], Anastasia Hermann[2], Benjamin Ergas[1], Peter Risser[3]

[1]Zasso GmbH, Aachen, Germany
[2]Universität Hohenheim, Stuttgart, Germany
[3]Südzucker AG, Geschäftsbereich Landwirtschaft, Versuchsgut Kirschgartshausen, Mannheim, Germany
*Corresponding author, maximilian.koch@zasso.com

DOI 10.5073/jka.2020.464.066

Abstract

Competition between sugar beet and weeds can result in tremendous yield losses, which were confined by the use of chemical herbicides in the past. In view to address soil conservation, a reducing number of available chemical herbicides, the need to prevent weed resistances and exacting food security standards, new management approaches must be implemented into modern crop protection. In this context, electrical weed control for pre-emergence in sugar beet, cultivated in mulch sowing to prevent erosion and to improve water infiltration after heavy rainfall, was integrated in chemical and mechanical weed control strategies. A randomized complete block field trial design with three times replicated plots and eight variants was applied, whereby individual plots (100 m length in total) were separated in 50 m, with and without glyphosate as pre-sowing application. The Zasso Electroherb™ was applied with 3 and 5 km h-1 speed and 72 kW nominal electrical power in a 3 m area application.

Weed infestation after the pre-emergence weed control, mainly volunteer grain and dicotyledonous weed plants, with glyphosate averaged densities of 5 to 23 plants 10 m^{-2}, whereas without glyphosate application 5 to 97 plants 10 m^{-2} were counted, respectively. Weed control efficiency indicated that the weed community was controlled best by Electroherb™, leaving in the plots without glyphosate application significantly lower weed numbers (of 5 to 11 plants 10 m^{-2}) behind. Mechanical harrowing on the other side showed here minor efficiency in reducing the volunteer grain weed; averaging weed densities of 72 plants 10 m^{-2}. Results on sugar beet yields and quality are pending but will be included in the data set for comprehensive conclusions. Our results indicate that the integration of electrical weed control methods into existing strategies can reduce the use of synthetic-chemical herbicides and can also make a significant contribution to the prevention of ongoing and future herbicide resistances.

Keywords: Electroherb, electrical weed control, alternatives in weed control, pre-emergence weed control in sugar beet, innovations in sugar beet cultivation

Zusammenfassung

Im Zuckerrübenanbau können schon geringe Unkrautdichten zu enormen Ertragseinbußen führen. Diese wurden in der Vergangenheit durch den Einsatz von chemischen Herbiziden effektiv begrenzt. Mit Blick auf den zunehmenden Wegfall verfügbarer chemischer Wirkstoffe, wachsender Unkrautresistenzen, einen nachhaltigeren Bodenschutz und die Einhaltung anspruchsvollerer Ernährungssicherungsstandards müssen neue Managementansätze für einen moderneren Pflanzenschutz umgesetzt werden. Aus diesem Grund wurde die elektrische Unkrautbekämpfung im Vorauflauf in der Zuckerrübe, im Mulchsaatverfahren angebaut, in chemische und mechanische Unkrautbekämpfungsstrategien integriert. Es wurde ein randomisiertes Blockfeldversuchsdesign mit dreimal replizierten Versuchsplots und acht Varianten angewendet, wobei einzelne Plots (100 m Länge) jeweils in 50 m getrennt, mit und ohne Glyphosat als Vorsaatanwendung behandelt wurden. Das Electroherb™ der Firma Zasso wurde mit 3 und 5 km h^{-1} Fahrgeschwindigkeit und 72 kW elektrischer Nennleistung in einer 3 m Flächenbehandlung angewendet.

Der Unkrautdichte nach der Vorauflauf-Applikation setzte sich hauptsächlich aus Ausfallgetreide und zweikeimblättrigen Unkrautpflanzen zusammen und betrug 5 bis 23 Pflanzen 10 m^{-2}, während ohne Glyphosatanwendung 5 bis 97 Pflanzen 10 m^{-2} gezählt wurden. Der Vergleich der Wirkungsgrade zeigte, dass die Verunkrautung am besten mit der Electroherb™ Technologie kontrolliert wurde, so dass in den Parzellen ohne Glyphosatanwendung deutlich geringere Unkrautzahlen (von 5 bis 11 Pflanzen 10 m^{-2}) vor dem Auflaufen der Zuckerrüben zurückblieben. Mechanisches Eggen auf der anderen Seite zeigte eine geringe Effizienz bei der Reduzierung von Ausfallgetreide; die durchschnittliche Unkrautdichte betrug hier 72 Pflanzen 10 m^{-2}. Die Ergebnisse zum Zuckerrübenertrag und -qualität werden in den Datensatz integriert und erlauben so umfassende Schlussfolgerungen zur Wirtschaftlichkeit des Electroherb™ Verfahrens zu schlussfolgern. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Integration von elektrischen Unkrautbekämpfungsmethoden in bestehende

Strategien den Einsatz von synthetisch-chemischen Herbiziden reduzieren kann und auch einen wesentlichen Beitrag zur Vermeidung von Herbizidresistenzen leisten kann.

Stichwörter: Electroherb, elektrische Unkrautbekämpfung, Alternative Unkrautbekämpfung, Vorauflauf Unkrautbekämpfung bei Zuckerrüben, Innovationen im Zuckerrübenanbau

Introduction

The Electroherb™ technology is based on a systemic electrical flow through the plants' vascular system causing severe cell destruction and finally wilting as mode of action. The physical contact with high-voltage electrodes touching weed plants enables the electric current to operate only at the time of application without residues and genetical selectivity. The minimum energy threshold for a lethal effect is related to the energy transferred to a single plant in dependence of the number and stability of vascular bundles to be damaged, the electrical resistance of the plant and the soil, the contact time and the electrode power output. Furthermore, the efficiency of electro-physical plant treatment in the field depends, in specific, on the plant species, the morphology, the growth stage and the population density. The damage in the subterrestrial plant parts, such as extensive root systems, is of great importance for sustainable plant control. The damage to the root system is more severe under dry than under moist soil conditions, as the electric current can reach deeper root sections before being dissipated into the soil.

Limitations of Electroherb™ technology for primary applications were identified at high plant densities and at high lignifying plants, as well as multi-stem species (such as grasses) due to a great and dense root system and aboveground shielding effects which impede electrode contact. Combinations of processing methods for, e.g., desiccation approaches using Electroherb™ and chemical agents together, as well as direct substitution of chemical herbicides for established field preparation managements, e.g., in sugar beet cultivation, can provide farmers with efficient alternatives for weed control. An early implementation of the Electroherb™ technology in existing herbicide management and cultivation strategies appears to offer a successful advantage when complied wisely into agricultural practice.

In general, weed control in sugar beet is cost and time expensive. Average costs often exceeding 300 € ha-1 and thus account for over 20% of the total cultivation costs (LFL, 2019). Due to the high sensitivity of the sugar beet plants in the early stages of growth (< 8 leaf-stage), weed competition must be excluded in total in order to avoid yield losses. In the past, several approaches were undertaken to control weed beet and bolter populations in sugar beet cultivation with electrical power (DIPROSE et al., 1980; DIPROSE et al., 1985) and electrical weeding has proven efficacy. Legal restrictions on synthetic-chemical herbicide usage (loss of approval), increasing herbicide resistances and a more sustainable usage of pesticides (Directive 2009/128/EC), now, promoting alternative and more innovative methods for effective weed control. The application of the Electroherb™ technology as a non-chemical weed control in sugar beet have driven a series of tests in a field trial at the experimental farm Kirschgartshausen by Südzucker AG together with Zasso GmbH in 2019.

Material and Methods

The experimental trial in Kirschgartshausen comprised of two pre-emergence treatments 3 and 7 days after sowing (Tab. 1), with a mechanical (variant 2; Harrow) and three electrical treatments (variant 6 to 8; with 3 and 5 km h-1; 72 kW over 3 m application width), each in plots which were treated with and without glyphosate after field preparation and 25 days before sowing, to control elder weed plants on the site. The weed densities on 10 m2 were counted 18 days after sowing.

Tab. 1 Comparison of weed control strategies in sugar beet with focus on pre-emergence mechanical and electrical methods; here the "XPower", a prototype series of Electroherb™, was used. Glyphosate application on one half of the trial area took place 25 days before sowing (25.02.2019).

Tab. 1 *Vergleich verschiedener Unkrautregulierungsmaßnahmen im Zuckerrübenanbau. Der Fokus liegt hier auf der Vorauflaufbehandlung mit einem mechanischen und elektrischen Verfahren. Der Glyphosateinsatz erfolgte auf einer Teilfläche 25 Tage vor der Aussaat (25.02.2019).*

Variant	Pre-emergence 1	Pre-emergence 2	Weeds per 10 m² * with Glyphosate pre-sowing	without
1	-	-	23[a]	97[a]
2	-	-	14[a]	72[a]
3	-	-	17[a]	54[a]
4	-	-	13[a]	88[a]
Mean ± standard deviation			17 ± 5	78 ± 19
5	Harrow 5 km/h	Harrow 4 km/h	21[a]	72[a]
6	X-Power 3 km/h	-	16[a]	5[b]
7	-	X-Power 3 km/h	6[a]	7[b]
8	X-Power 5 km/h	-	5[b]	11[b]
Date	*25 March 19*	*29 March 19*	*9 April 19*	
Days after sowing	*3*	*7*	*18*	

** Mean across 3 replicated strips (n = 6 plots); comparisons within columns followed by different letters are significant at the 0.05 probability level (Tukey-Test)*

Results and Discussion

Outlined in Table 1, average weed densities (n=6) in a 10 m^2 area of variant 1 to 4 (no pre-emergence treatment) without glyphosate accounted for 78 ± 19 plants, 18 days after sowing. With glyphosate application before sowing, weed densities were reduced to 17 ± 5 plants 10 m^{-2}. Here, main weed species comprised of *Chenopodium album, Aethusa cynapium, Galium aparine* and *Fallopia convolvulus* L.; but also default cereal, default oilrape, and remnants of greening crops were present. The mechanical pre-emergence treatment (variant 5) showed comparable weed densities to the treatments without pre-emergence treatment, either with or without glyphosate application. In comparison, pre-emergence treatments treated with Electroherb™ (variant 6 to 8) showed significantly lower weed densities, especially in the treatments without glyphosate pre-application. In variant 6, with glyphosate application, in average 16 weed plants 10 m^{-2} were counted. This finding seems to be related to a new emerging weed population between day 3 and day 18 after sowing, especially in the area of this variant. Any significant differences between pre-emergence treatment 1 (3 days after sowing) and pre-emergence treatment 2 (7 days after sowing) were detected in weed control. However, reduced growth vitality on emerging sugar beet plants due to the rollover with the tractor even with wide tyres and low pressure under 1 bar were detected. This was more severe in pre-emergence treatment 2, with more developed seedlings. Therefore, a technical solution could be to use dual tires with sugar beet rows in between guided by RTK GPS, which will be implemented in field trials in 2020. The gained results from this well-documented field trial in sugar beet indicated that electrical weeding could have positive benefits on future weed management in sugar beet cultivation, offering additional non-chemical methods to the growers.

Overall, the effectiveness of this technology beyond the agricultural sector, e.g., in urban and home implementation presents an excellent opportunity to provide supplementary method to contentious plant protection and pest management practices.

References

DIPROSE, M.F., F.A. BENSON, R. HACKAM, 1980: Electrothermal control of weed beet and bolting sugar beet. Weed Research **20**, 311-322.

DIPROSE, M.F., R. FLETCHER, P.C. LONGDEN, M.J. CHAMPION, 1985: Use of electricity to control bolters in sugar beet (*Beta vulgaris* L.): a comparison of the electrothermal with chemical and mechanical cutting methods. Weed Research **25**, 53-60.

LFL, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur. Online: https://www.stmelf.bayern.de/idb/zuckerruebe.html (10.10.2019).

Sektion 8: Gewässerschutz
Session 8: Water protection

Strategien zum Herbizideinsatz in Winterraps in wassersensiblen Gebieten

Strategy for use of herbicides in regions of water conservation

Bernhard Werner[1*], Lisa Köhler[2], Goßwinth Warnecke-Busch[2], Dirk Michael Wolber[2]

[1]Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Hannover, Wunstorfer Landstraße 11, 30453 Hannover,
[2]Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Wunstorfer Landstraße 9, 30453 Hannover
*Korrespondierender Autor, bernhard.werner@lwk-niedersachsen.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.067

Zusammenfassung

In Niedersachsen lassen sich zunehmend Abbauprodukte einiger Rapsherbizide im Grundwasser nachweisen. Dabei handelt es sich vorrangig um nicht relevante Metabolite. Um den Wirkstoffeintrag in wassersensiblen Gebieten zu reduzieren, werden in Feldversuchen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen verschiedene Herbizidstrategien geprüft. Aufgrund neuerer Zulassungen der letzten Jahre besteht inzwischen die Möglichkeit, auch im Winterraps Unkräuter gezielt im Nachauflauf zu bekämpfen, bei gleichzeitigem Verzicht auf den Wirkstoff Metazachlor.

Mit dem ausschließlichen Einsatz von Herbiziden im Nachauflauf ist eine gezielte Unkrautbekämpfung unter Berücksichtigung von Schadensschwellen möglich. Zusätzlich wird eine Wirkstoffrotation empfohlen. Verfahren zur mechanischen Unkrautbekämpfung in Winterraps werden aktuell auf ihre Praktikabilität geprüft.

Stichwörter: Herbizid, Unkrautbekämpfung, Wasserschutz, Winterraps

Abstract

In Lower-Saxony an increasing number of degradation products from herbicides that are used for weed control in winter oil seed rape can be found in the groundwater. These are predominantly non relevant metabolic intermediates. To decrease the input of active ingredients to groundwater in endangered zones field trials for different herbicides strategies were carried out by the Agricultural Chamber Lower Saxony. As a result of new admissions for crop protection products it is possible to control weeds in oil seed rape after sproud without using Metazachlor-products.

After rising of the plants it is possible to use selective herbicides for controlling the weeds while paying attention to the damage threshold of the weeds. Additionally it is recommended to change active substances in the used products. The practicality of mechanical weed control is currently examined.

Keywords: Herbicide, water conservation, weed control, winter oilseed rape

Einleitung

Der Einsatz von Herbiziden gehört zu den Standardmaßnahmen im Winterraps, obwohl der Winterraps über ein hohes Potential zur Unkrautunterdrückung verfügt. Gründe sind einerseits die Ausbreitung von sogenannten Problemunkräutern, also im Raps schwer bekämpfbare Unkrautarten (Broschewitz et al., 1998; Sieberhein et al., 2001; Goerke et al., 2008) und andererseits gibt es eine hohe Behandlungsquote im Vorauflauf, da lange Zeit nur wenige wirksame Nachauflaufherbizide, die Voraussetzung für eine gezielte Bekämpfung sind, zur Verfügung standen.

Infolge intensiver Herbizideinsätze im Raps in den letzten Jahrzehnten finden sich in Niedersachsen zunehmend Wirkstoffe bzw. deren Metabolite im Grundwasser. Dabei handelt es sich in der Regel um nicht relevante Metabolite von Metazachlor, Dimethachlor oder auch Dimethenamid (Jankowski und Roskam, 2015).

Um zukünftig die Ausbringung dieser Wirkstoffe auf Böden in wassersensiblen Gebieten zu vermeiden, führt die Landwirtschaftskammer Niedersachsen seit mehreren Jahren in einem

intensiven Versuchsprogramm Feldversuche durch, in denen Behandlungsalternativen zu den genannten Wirkstoffen getestet werden. Die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse mündet in gezielten Beratungsempfehlungen und in Vereinbarungen landwirtschaftlicher Betriebe mit Wasserversorgern, z. B. zur Reduktion der auszubringenden Metazachlormengen oder sogar zu einem kompletten Verzicht auf diesen Wirkstoff. Konzepte zur Wirkstoffrotation in Rapsfruchtfolgen wurden von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen erarbeitet. Ebenfalls zeigen diese Versuche Möglichkeiten der gezielten Unkrautbekämpfung im reinen Nachauflaufverfahren auf. Diese sind Grundvoraussetzung für die gezielte Anwendung von Schadensschwellen. Entsprechende Konzepte werden den Landwirten in Absprache mit den örtlichen Wasserversorgern angeboten. Ebenfalls bestehen in Niedersachsen gemeinsame Bestrebungen der Landwirtschaftskammer und einiger Wasserversorger, die mechanische Unkrautbekämpfung auch im Raps in wassersensiblen Gebieten zu etablieren.

Material und Methoden

Für die Beurteilung verschiedener Herbizidstrategien bezüglich ihrer Eignung in Wasserschutzgebieten wurden 28 Feldversuche aus 2 verschiedenen Versuchsserien der Landwirtschaftskammer Niedersachsen aus den Jahren 2015/16 bis 2018/19 ausgewertet und zusammengefasst. Serie 1 ist das Gemeinschaftsprogramm (GMP) Wasserschutz und Serie 2 beinhaltet orientierende Mittelprüfungen (OMP) zur Wirkungsbeurteilung des Herbizides Belkar. Die Anlage der Versuche in Streulage erfolgte als randomisierte Blockanlage mit jeweils 4 Wiederholungen. Die Bonitur erfolgte nach der EPPO-Richtline PP 1/49(2). Eine Beerntung der Versuche wurde vereinzelt durchgeführt. Zur Anwendung kamen Vor- und Nachauflaufherbizide, Spritzfolgen und Tankmischungen. Die in die Auswertung einbezogenen Herbizide und Wirkstoffgehalte zeigt Tabelle 1.

Tab. 1 Übersicht der geprüften Herbizide mit Wirkstoffkonzentrationen.

Tab. 1 *Tested herbicides and their active ingredients.*

Handels- Bezeichnung	1. Wirkstoff (g/l)		2. Wirkstoff (g/l)		3. Wirkstoff (g/)	
Belkar	Picloram	(48)	Halauxifen-methyl	(10)		
Butisan Gold	Metazachlor	(200)	Dimethenamid-P	(200)	Quinmerac	(100)
Colzor Uno	Dimethachlor	(500)				
Gamit 36 CS / AMT	Clomazone	(360)				
Fox	Bifenox	(480)				
Nimbus Komplett	Metazachlor	(200)	Dimethenamid-P	(200)	Clomazone	(40)
Quantum	Pethoxamid	(600)				
Runway	Aminopyralid	(40)	Clopyralid	(240)	Picloram	(80)
Stomp Aqua	Pendimethalin	(455)				
Synero 30 SL / Runway VA	Aminopyralid	(30)				
Tanaris	Quinmerac	(167)	Dimethenamid-P	(333)		

Berechnet wurde die Wirksamkeit der Bekämpfungsverfahren auf der Basis ihrer mittleren Wirkungsgrade. Desweiteren werden die Spannweiten zwischen der minimalen und maximalen Wirkung dargestellt. Erfasst wurden alle dikotylen Unkrautarten. Eine Rangfolge wurde auf der Basis der relativen Häufigkeit ihres Auftretens bezogen auf die Gesamtheit aller Versuchsstandorte aufgestellt.

Ergebnisse

Die 28 in der Auswertung berücksichtigten Feldversuche wurden an den Bezirksstellen (AUR, BS, BRV, CLP, H, NI, NOM, UE) und beim Pflanzenschutzamt (PSA-P5) der Landwirtschaftskammer Niedersachsen angelegt. Zuerst wurde das Unkrautspektrum in den Versuchen geprüft, um ableiten zu können, welche Arten einen bekämpfungswürdigen Umfang hatten. Tabelle 2 zeigt die relative Häufigkeit (Stetigkeit) der bonitierten Arten. Die einzelnen Arten wurden teilweise zu Gruppen zusammengefasst. Die häufigsten Arten waren *Viola arvensis*, *Matricaria spp.*, *Stellaria media* und *Geranium spp.*, auch *Capsella bursa pastoris*, *Myosotis arvensis* und *Sisymbrium officinale* traten mit

einer Stetigkeit von 28,6 % relativ häufig auf. Berücksichtigt werden muss dabei, dass die Standorte für eine Wirkungsprüfung häufig aufgrund des Auftretens bestimmter Unkrautarten gezielt ausgesucht werden.

Tab. 2 Auftreten dikotyler Unkrautarten in 28 Feldversuchen (Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2016 bis 2019) und die relative Häufigkeit (%) ihres Auftretens.

Tab. 2 *List of weed species found in 28 field trails (Agricultural Chamber Lower Saxony 2016 – 2019) and their relative frequency of occurrence (%).*

Unkrautart	**relative Häufigkeit (%)**		**Unkrautart**	**relative Häufigkeit (%)**	
Viola arvensis	(VIOAR)	78,6	*Thlaspi arvense*	(THLAR)	10,7
Matricaria spp.	(MATSS)	64,3	*Chenopodium album*	(CHEAL)	7,1
Stellaria media	(STEME)	46,4	*Fumaria officinale*	(FUMOF)	7,1
Geranium spp.	(GERSS)	35,7	*Galium aparine*	(GALAP)	7,1
Capsella bursa-pastoris	(CAPBP)	28,6	*Mercurialis annua*	(MERAN)	7,1
Myosotis arvensis	(MYOAR)	28,6	*Aethusa cynapium L.*	(AETCY)	3,6
Sisymbrium officinale	(SSYOF)	28,6	*Aphanes arvensis*	(APHAR)	3,6
Veronica spp.	(VERSS)	17,9	*Centaurea cyanus*	(CENCY)	3,6
Papaver rhoeas	(PAPRH)	14,3	*Senecio vulgaris*	(SENVU)	3,6
Lamium spp.	(LAMSS)	10,7	*Trifolium alexandrinum*	(TRFAL)	3,6

Dieses dargestellte Unkrautspektrum stellt die Bewertungsbasis für die 2 verschiedenen Versuchsserien GMP Wasserschutz und OMP Belkar dar.

Schwerpunkt der Serie 1 – GMP Wasserschutz ist die Prüfung von Varianten ohne den Wirkstoff Metazachlor. Lediglich in den Varianten: Butisan Gold und Nimbus Komplett wurde eine reduzierte Menge von 500 g/ha Metazachlor appliziert, wobei die Variante: Butisan Gold in beiden Serien als gängiger Standard und Vergleichsmittel angewendet wurde.

Abbildung 1 und 2 zeigen für 10 Unkrautarten die Frühjahrsbonituren des GMP Wasserschutz von 2016 – 2019. Der metazachlorhaltige Standard Butisan Gold zeigt als Vorauflauf (VA)-Spritzung eine breite Wirkung mit Wirkungsschwächen bei *V. arvensis*, *S. officinale* und *P. rhoeas*. Die breiteste Wirkung der metazachlorfreien Varianten hat die Spritzfolge Quantum + Stomp Aqua (VA) mit Runway + Fox (NA), die beste Wirkung gegen *S. officinale* hat die clomazonehaltige Spritzfolge Gamit 36 AMT / Runway. Die reine Nachauflaufvariante Runway + Fox erreicht gegen alle geprüften Unkrautarten mittlere Wirkungsgrade von > 50 %, gegen 5 Unkrautarten sogar Wirkungsgrade > 90 %.

Ab 2018-2019 wurde das GMP Wasserschutz aufgrund verschiedener Neuzulassungen (z.B. Colzor Uno, Tanaris, Nimbus Komplett und Belkar) umgestellt. Dargestellt werden in Abb. 3 die Ergebnisse der Frühjahrsbonitur 2019, allerdings vorerst nur für 4 häufig auftretende Unkrautarten. Die beste Wirkung gegen *S. officinale* erzielen auch hier die clomazonehaltigen Varianten: Nimbus Komplett und Colzor Uno (VA) / Runway + Fox (NA). Die breiteste Wirkung zeigt ebenfalls die Kombination Colzor Uno (VA) / Runway + Fox (NA) gefolgt von der reinen Nachauflaufspritzfolge: Belakar + Runway VA (=Synero) / Belkar. Diese clomazone- und metazachlorfreie Nachauflaufvariante zeigt lediglich bei *S. officinale* schwankende Wirkungsgrade zwischen 49 und 85 %.

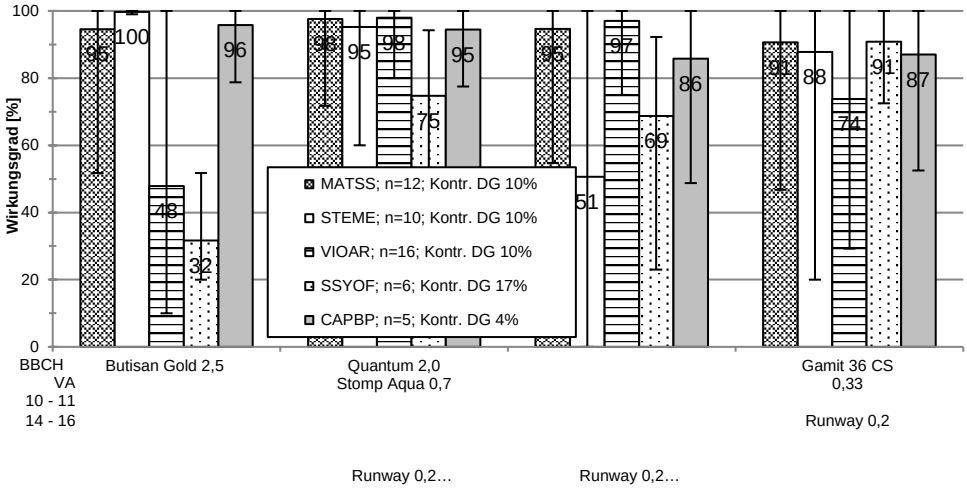


Abb. 1 Unkrautbekämpfung in Winterraps – GMP Wasserschutz 2016 – 2019 (Frühjahrsbonitur, n = 21).

Fig. 1 *Weed control in winter oilseed rape – GMP water conservation 2016 – 2019 (n = 21).*

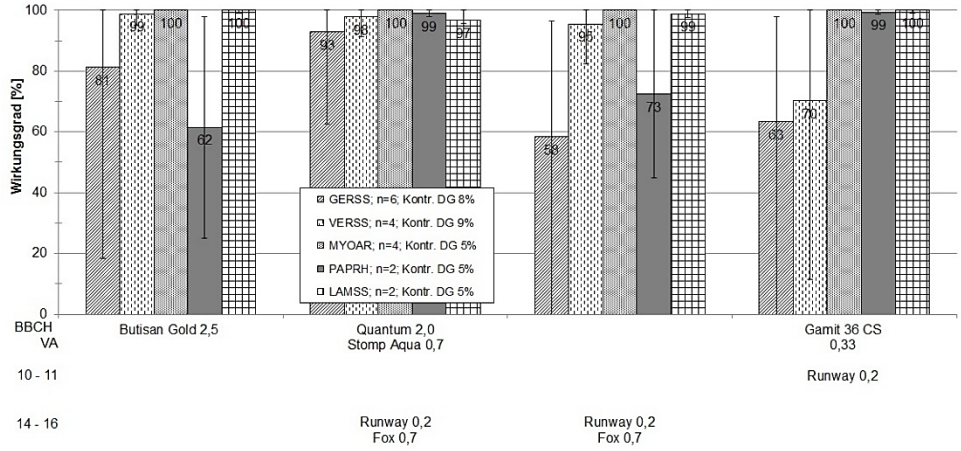


Abb. 2 Unkrautbekämpfung in Winterraps – GMP Wasserschutz 2016 – 2019 (Frühjahrsbonitur, n = 21).

Fig. 2 *Weed control in winter oilseed rape – GMP water conservation 2016 – 2019 (n = 21).*

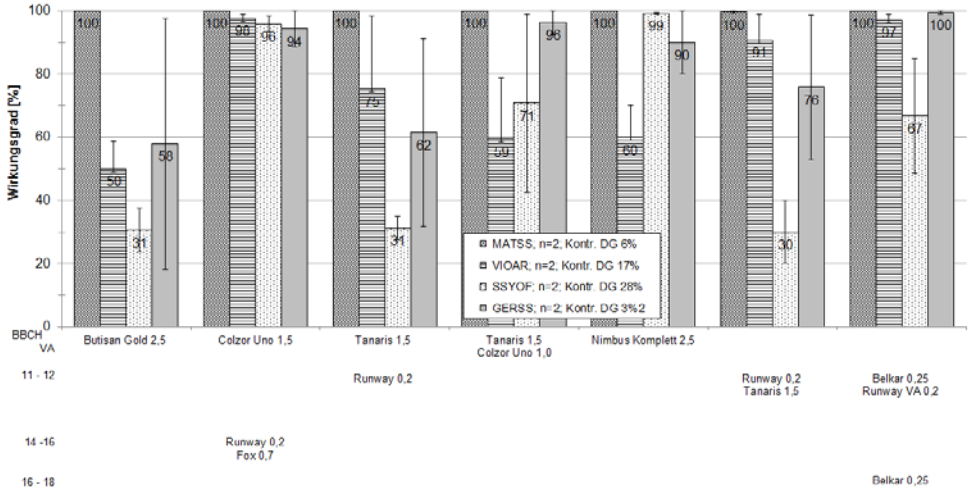


Abb. 3 Unkrautbekämpfung in Winterraps – GMP Wasserschutz 2019 (Frühjahrsbonitur, n = 4).

Fig. 3 *Weed control in winter oilseed rape – GMP water conservation 2019 (n = 4).*

Für die gezielte Anwendung von Herbiziden nach Bekämpfungsschwellen ist die Verfügbarkeit von wirksamen Nachauflaufverfahren von großer Bedeutung. Unter diesem Aspekt wurden 7 orientierende Mittelprüfungen zur Wirkungsbeurteilung von Belkar aus den Jahren 2017-2018 und 2018-2019 zusammengefasst (Abb. 4 und 5). Behandlungsvarianten mit Belkar werden mit dem Standard Butisan Gold (VA-Anwendung) verglichen, 10 Unkrautarten wurden in die Bewertung einbezogen.

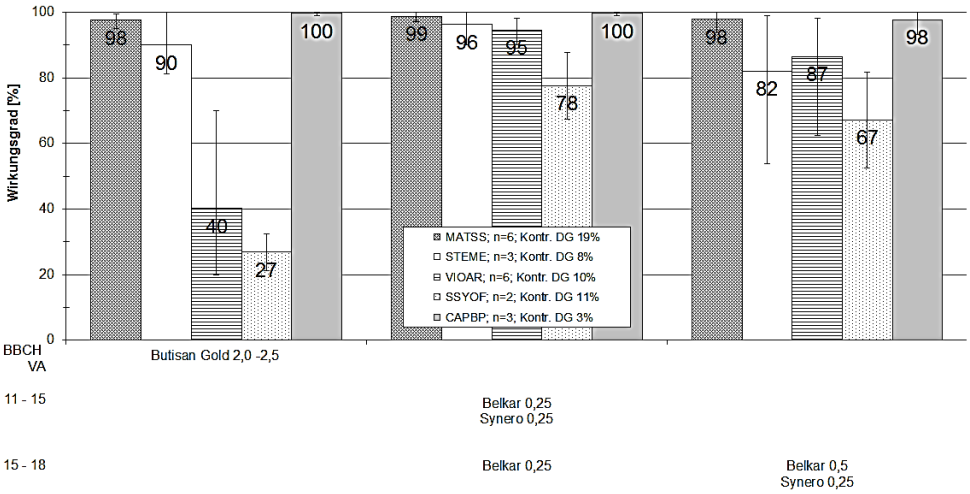


Abb. 4 Wirkungsbeurteilung des Herbizids Belkar in Winterraps 2018 - 2019 (Frühjahrsbonitur, n = 7).

Fig. 4 *Efficacy of the herbicide Belkar in winter oilseed rape 2018 - 2019 (n = 7).*

Der Standard Butisan Gold zeigt eine breite Wirkung mit Wirkungsschwächen bei *V. arvensis* und *S. officinale*. Die Anwendung von Belkar + Synero erzielt in beiden Varianten generell hohe Wirkungsgrade, wobei die größere Wirkungssicherheit in der Splittinganwendung: Belkar + Synero gefolgt von Belkar erzielt wird. Lediglich bei der Bekämpfung von *Veronica spp*. werden mit 69 % bzw. 60 % etwas schlechtere Wirkungsgrade erzielt als bei Butisan Gold.

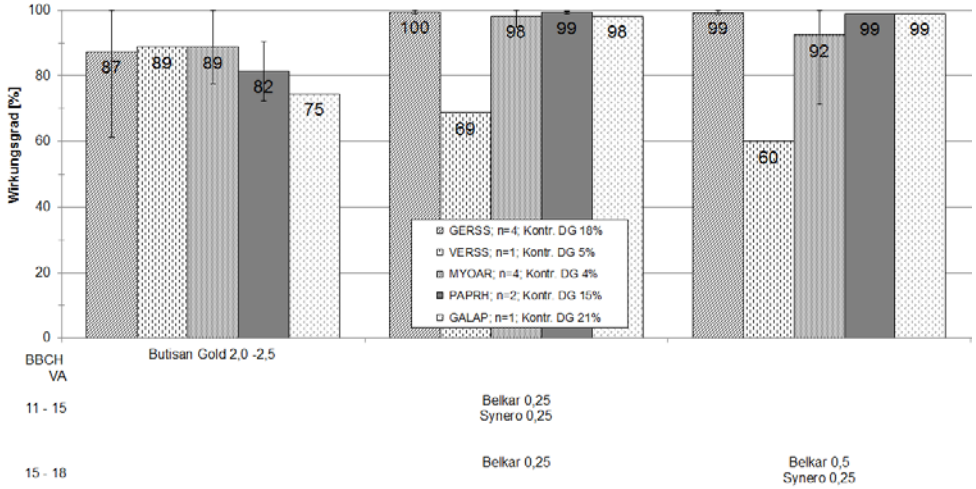


Abb. 5 Wirkungsbeurteilung des Herbizids Belkar in Winterraps 2018 - 2019 (Frühjahrsbonitur, n = 7).

Fig. 5 *Efficacy of the herbicide Belkar in winter oilseed rape 2018 - 2019 (n = 7).*

In Verbindung mit der Frage der gezielten Unkrautbekämpfung in Winterraps in wassersensiblen Gebieten wurde in den Jahren 2018 und 2019 auch die gezielte Anwendung von Schadensschwellen und der Einsatz mechanischer Verfahren zur Unkrautbekämpfung geprüft. Hier liegen aber noch keine belastbaren Daten vor.

Diskussion und Ausblick

Mögliche Belastungen des Grundwassers durch Abbauprodukte von Pflanzenschutzmitteln führen zu erheblichen Diskussionen bzw. Sorgen bei Wasserversorgungsunternehmen. In Niedersachsen und auch in anderen Bundesländern werden sowohl relevante als auch nicht relevante Metabolite und zum Teil auch Wirkstoffe im Grundwasser nachgewiesen. Insbesondere herbizide Wirkstoffe spielen hierbei eine bedeutende Rolle. Ein Zusammenhang zwischen der Anbauhäufigkeit bestimmter Kulturen, z. B. Mais, Zuckerrübe oder Raps und den Funden von bestimmten Wirkstoffmetaboliten wird dabei deutlich. Infolge intensiver Herbizidanwendungen in Raps in den letzten Jahrzehnten lassen sich in Niedersachsen im Grundwasser zunehmend Rückstände von Rapsherbiziden nachweisen. Dabei handelt es sich in der Regel um nicht relevante Metabolite der Wirkstoffe Metazachlor, Dimethachlor oder auch Dimethenamid (JANKOWSKI und ROSKAM, 2015), auch in anderen Bundesländern werden entsprechende Funde gemeldet (LANDSCHREIBER, 2019).

Verwunderlich ist prinzipiell die hohe Behandlungsintensität mit Herbiziden im Winterraps. Die Behandlungsindices sind in den letzten Jahren sogar leicht steigend (DACHBRODT-SAAYDEH et al., 2018) und bundesweit inzwischen etwas höher als im Winterweizen. Dabei verfügt der konkurrenzstarke Winterraps über ein hohes Unkrautunterdrückungspotential, ein wesentlicher Anteil der Unkrautbekämpfungsmaßnahmen ist in dieser Kultur unwirtschaftlich (DINGEBAUER, 1990; WAHMHOFF, 1990; MUNZEL et al., 1992; SCHRÖDER et al., 2008). Als Argument für eine Unkrautbekämpfung in Raps werden neben unkrautverursachter Ertragsverlust auch mögliche Erntebehinderungen angeführt, die durch sogenannte Problemunkräuter (BROSCHEWITZ et al., 1998; SIEBERHEIN et al., 2001; GOERKE et al., 2008) verursacht werden, die in ihrer Häufigkeit zunehmen. Das Auftreten einzelner Unkrautarten ist regional unterschiedlich (HANZLIK und GEROWITT, 2012) und hängt auch wesentlich von pflanzenbaulichen Faktoren wie z. B. der Bodenbearbeitung (WERNER, 1999; HANZLIK und GEROWITT, 2010; ENGGIST, 2019) ab.

Unbedingt sinnvoll ist daher im konkurrenzstarken Winterraps nur eine gezielte Anwendung von Herbiziden. Dafür werden aber geeignete Nachauflaufverfahren benötigt, die im Raps lange Zeit

nicht zur Verfügung standen. Dieses hat sich in den letzten Jahren geändert. WERNER (2014) weist in seinen Auswertungen auf wirksame Nachauflaufverfahren im Raps hin. Neuzulassungen der letzten Jahre wie z. B. Tanaris (BESSAI et al., 2016), Belkar (ZOTZ et al., 2018a) oder Korveta (ZOTZ et al., 2018b), der aktuelle Handelsname von Korveta ist Korvetto, erweitern hier die Möglichkeiten, sowohl Herbizidmaßnahmen ohne den Wirkstoff Metazachlor als auch Maßnahmen im Nachauflauf im Raps gezielt durchzuführen. Insbesondere die eigenen Versuche zeigen die gute Wirkung des neuen Herbizids Belkar und seine gute Anwendbarkeit für gezielte Nachauflaufverfahren auf.

Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen ist in vielen Wasserschutzgebieten des Bundeslandes in die Pflanzenschutzberatung eingebunden. In intensiven Diskussionen mit den verschiedenen Wasserversorgern wurden unterschiedliche Lösungsansätze zur Reduktion von Pflanzenschutzmittelanwendungen und zur Verminderung von Wirkstoffeinträgen in den Boden in Bereichen, die der Wassergewinnung dienen, erarbeitet. Bei der Unkrautbekämpfung im Raps steht auf Wunsch der Wasserversorger an erster Stelle die Reduktion bzw. der Verzicht auf den Wirkstoff Metazachlor. Eine Beschränkung der auszubringenden Wirkstoffmenge auf maximal 500 g/ha wurde breit in die Beratungsempfehlungen aufgenommen und lässt sich in der Praxis gut umsetzen. Ein kompletter Verzicht auf Metazachlor wird in Wassergewinnungsgebieten teilweise durch freiwillige Vereinbarungen der Kooperationslandwirte mit den Wasserversorgern erreicht. Landwirte bekommen dann in der Regel Ausgleichszahlungen für den Mehraufwand für alternative Bekämpfungsverfahren. Diese Verfahren wurden in umfangreichen Versuchen der Landwirtschaftskammer mehrjährig auf ihre Wirksamkeit und Praktikabilität geprüft. Wichtig ist es aber auch, dass bei einem gezielten Verzicht auf einen Wirkstoff dieser nicht durch nur einen anderen Wirkstoff substituiert wird, da dann zukünftig ein Nachweis des Substituenten im Grundwasser zu erwarten ist. Daher sollte immer eine Wirkstoffrotation durchgeführt werden, wie sie WOLBER (2019) für den Raps beschreibt.

Ein weiterer wichtiger Ansatz ist im Raps die gezielte Anwendung von Schadensschwellen um die auszubringende herbizide Wirkstoffmenge zu reduzieren. Mögliche Nachauflaufverfahren prüfte WERNER bereits 2014, die dort aufgezeigten Möglichkeiten werden durch zum Teil bereits oben genannte aktuelle Neuzulassungen erweitert. In den drei niedersächsischen Wasserschutzgebieten: Riesbachtal, Hohenholz und Grasdorf wird seit 2017/18 die Anwendung von Schadensschwellen propagiert und seit 2018/19 ebenfalls als freiwillige Vereinbarung angeboten. Die Vereinbarung beinhaltet die Unkrauterfassung durch einen Berater der Landwirtschaftskammer, die Berechnung möglicher wirtschaftlicher Schäden mit dem Schadensschwellenmodell nach WERNER und HEITEFUSS (1997) und eine damit verknüpfte konkrete Behandlungsempfehlung.

Ein dritter Ansatz zur Reduktion von Herbizidanwendungen im Raps in Wasserschutzgebieten ist die Anwendung mechanischer Verfahren. Zu diesem Thema liegen bisher wenige Erfahrungen vor. NILSSON et al. (2014) beschreibt die Anwendung der Reihenhacke gekoppelt mit einer Bandspritze im Sommerraps. Eine entsprechende Anwendung im Winterraps würde auch dort die Ausbringung der Herbizidmengen verringern. Erste Tastversuche wurden in den Jahren 2018/19 und 2019/20 durchgeführt bzw. angelegt. Belastbare Daten liegen zu diesem Thema noch nicht vor. Schwierigkeiten ergaben sich bisher entweder durch hohe Strohauflagen im Rapsbestand, schwierige Witterungsverhältnisse oder die nicht termingereichte Verfügbarkeit der entsprechenden Technik.

Schwerpunkt der Pflanzenschutzberatung in wassersensiblen Gebieten bleibt daher vorerst die Reduktion des Wirkstoffes Metazachlor unter Berücksichtigung eines regelmäßigen Wirkstoffwechsels (Wirkstoffrotation) im Raps und die Anwendung von Schadensschwellen, um die Herbizidausbringung im Raps auf das notwendige Maß zu reduzieren.

Literatur

BESSAI, J., H. BREMER, S. SCHLÄFER, A. SCHÖNHAMMER, H. VANTIEGHEM, 2016: Tanaris®, das neue Bodenherbizid im Winterraps für den Vor und Nachauflauf. Julius-Kühn-Archiv **452**, 318-326.

BROSCHEWITZ, B., D. AMELUNG, E. ERICHSEN, 1998: Zur Verbreitung und Bekämpfung von Problemunkräutern im Winterraps. J. Plant. Dis. Protect. Special Issue **XVI**, 645-648.

DACHBRODT-SAAYDEH, S., J. SELLMANN, J. STRASSEMEYER, J. SCHWARZ, B. KLOCKE, S. KRENGEL, H. KEHLENBECK, 2018: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz - Zwei-Jahresbericht 2015 und 2016 - Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2016. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut **194**, 129 S.

DINGEBAUER, G., 1990: Untersuchung zur tolerierbaren Verunkrautung in Winterrapskulturen. J. Plant. Dis. Protect. Special Issue **XII**, 315-328.

ENGGIST, A., 2019: Untersaaten als Herbizidersatz? LOP **7**, 35-41.

GOERKE, K., U. RICHTER, M. SCHULTE, B. GEROWITT, 2008: Regionale Unterschiede in der Rapsunkrautflora Deutschlands. Gesunde Pflanzen **60**, 151-158.

HANZLIK, K., B. GEROWITT, 2010: Verändern pfluglose Bodenbearbeitung und Frühsaaten die Unkrautvegetation im Winterraps? Gesunde Pflanzen **62**, 1-9.

HANZLIK, K., B. GEROWITT, 2012: Occurence and distribution of important weed species in German winter oilseed fields. J. Plant Dis. Protect. **119 (3)**, 107-120.

JANKOWSKI, A., A. ROSKAM, 2015: Themenbericht Pflanzenschutzmittel – Wirkstoffe und Metaboliten im Grundwasser. Hrsg: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz. Grundwasser Band **23**, 61 S.

LANDSCHREIBER, M., 2019: Ungräser im Raps effektiv bekämpfen. LOP **7**, 16-27.

MUNZEL, L., W. WAHMHOFF, R. HEITEFUSS, 1992: Überprüfung und Weiterentwicklung eines Schadensschwellenmodells zur gezielten Unkrautbekämpfung im Winterraps. J. Plant. Dis. Protect. Special Issue **XIII**, 205-214.

NILSSON, A.T.S., A. LUNDKVIST, T. VERWIJST, M. GILBERTSSON, P.-A. ALGERBO, D. HANSSON, A. ANDERSSON, P. STAHL, M. STENBERG, 2014: Integrated control of annual weeds by inter-row hoeing and intr-row herbicide treatment in spring oilseed rape. Julius-Kühn-Archiv **443**, 746-750.

SIEBERHEIN, K., R. DITTRICH, M. LUKOSZEK, 2001: Verunkrautung von Winterraps im Freistaat Sachsen und Versuchsergebnisse zur chemischen Unkrautbekämpfung in Winterraps. Gesunde Pflanzen **2**, 48-52.

SCHRÖDER, G., E. MEINELSCHMIDT, B. KRÜGER, E. BERGMANN, R. BALGHEIM, 2008: Neue Möglichkeiten bei der Unkrautbekämpfung in Winterraps – ein Beitrag zur Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in der landwirtschaftlichen Praxis. J. Plant. Dis. Protect. Special Issue **XXI**, 483-492.

WAMHOFF, W., 1990: Unkrautbekämpfung in Winterraps – Auswertung von Herbizidversuchen aus den Jahren 1971 bis 1988. J. Plant. Dis. Protect. Special Issue **XII**, 329-338.

WERNER, B., 1999: Vier Jahre bundesweite Gemeinschaftsversuche zur gezielten Unkrautbekämpfung im Winterraps mit dem Göttinger Schadensschwellenmodell. J. Plant. Dis. Protect. **106 (1)**, 33-45.

WERNER, B., 2014: Möglichkeiten der gezielten Nachauflaufbekämpfung von Unkräutern im Winterraps. Julius-Kühn-Archiv **443**, 662-670.

WERNER, B., R. HEITEFUSS, 1997: Möglichkeiten der überregionalen Anwendung des Göttinger Schadensschwellenmodells zur gezielten Unkrautbekämpfung im Winterraps. Nachrichtenblatt deutscher Pflanzenschutzdienst **49**, 191-200.

WOLBER, D., 2019: Rapsherbizide zur Saison 2019. Raps **3**, 24-35.

ZOTZ, A., U. BERNHARD, J. BONIN, 2018a: BELKAR™ – a new herbicide for the control of a wide range of broadleaf weeds in winter oilseed rape applied post-emergence in autumn. Julius-Kühn-Archiv **458**, 345-349.

ZOTZ, A., U. BERNHARD, J. BONIN, 2018b: KORVETA™ – a new herbicide for the control of a wide range of broadleaf weeds in winter oilseed rape applied in spring. Julius-Kühn-Archiv **458**, 359-362.

Verantwortungsvoller Umgang mit herbiziden Wirkstoffen hinsichtlich des Gewässerschutzes im Winterraps

Responsible handling with herbicides regarding water protection in winter rape

Katrin Ewert[1*], Christine Tümmler[2], Ewa Meinlschmidt[3], Elke Bergmann[4], Heiko Schmalstieg[5]
[1]Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum, Apoldaer Straße 4, 07774 Dornburg-Camburg
[2]Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Steinplatz 1, 15806 Zossen
[3]Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen
[4]Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg
[5]Pflanzenschutzamt Berlin, Mohriner Allee 137, 12347 Berlin
*Korrespondierende Autorin, katrin.ewert@tlllr.thueringen.de
DOI 10.5073/jka.2020.464.068

Zusammenfassung

Die bisher in der Praxis dominierende einmalige Herbizidanwendung im Vorauflauf entspricht nicht den Grundsätzen des Integrierten Pflanzenschutzes. Zu diesem Zeitpunkt lässt sich die schlagbezogene Unkrautsituation nicht abschätzen und Möglichkeiten einer Anpassung der Aufwandmengen der Herbizide sind sehr eingeschränkt. Aus diesem Grund wurde ein mehrstufiges integriertes Unkraut-Bekämpfungskonzept entwickelt, welches die zielgerichtete Anwendung der Nachauflaufherbizide stärker in den Fokus rückt. Mit diesem hier vorgestellten Konzept wird das Belastungsrisiko für Gewässer nach der Ausbringung von Herbiziden durch Wirkstoffaustrag und Abschwemmung reduziert. Es können eine Großzahl bedeutender Rapsunkräuter gut kontrolliert werden. Im Rahmen eines gemeinsamen Versuchsprogramms der Bundesländer Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen wurden auf 139 Standorten im Zeitraum von 2010 – 2019 Versuche zur Unkrautbekämpfung im Winterraps im Sinne des mehrstufigen integrierten Unkraut-Bekämpfungskonzeptes durchgeführt. Die Versuchsergebnisse belegen, dass auf einem Fünftel der Winterrapsfläche die Notwendigkeit bestand, die vollen Aufwandmengen zu applizieren. Die Prüfung der Wirksamkeit von Varianten mit reduzierten Metazachlormengen bzw. Metazachlor-freien Varianten stand im Vordergrund der Untersuchungen. Trotz der geltenden Begrenzung der Wirkstoffausbringung von maximal 1000 g/ha wurden Metazachlor und dessen Metaboliten (Metazachlorsulfonsäure und Metazachlorsäure) in den letzten Jahren in Grund- und Oberflächengewässern vermehrt nachgewiesen. Zum vorbeugenden Gewässerschutz wird deshalb eine Reduzierung der Metazachlormenge auf ≤ 500 g/ha empfohlen. Die geprüften Alternativen werden hier diskutiert und in das mehrstufige Bekämpfungskonzept integriert.

Stichwörter: Herbizidwirksamkeit, Integriertes Unkraut-Bekämpfungskonzept, Metazachlor, Nachauflaufbehandlungen

Abstract

The prevailing single treatment pre-emergence weed control application does not comply with the principles of the integrated pest management. At this early stage of herbicide application an analysis of the number and range of later emerging weeds is not manageable in the necessary way. That means possible adjustments or reductions of the registered and therefore normally used herbicide product amounts are highly limited. On this basis, a multi-step-application-scheme was elaborated which focusses mostly on the target-oriented application of post emergence herbicides. The concept of this scheme minimizes the risk of water pollution caused by herbicidal export or run-off while the major important weeds in the winter rape culture are sufficiently controlled.

As a part of the joint trial program of the federal states of Berlin, Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia (2010 to 2019) this application scheme was implemented in several weed control trials in winter rape on 139 sites. The results proof that the use of the full registered product amount was only necessary on 20% of the included winter rape fields where the efficacy of metazachlor- reduced respectively Metazachlor–free test variants were as a main trial question.

Despite the enacted application limit of 1000 g metazachlor and its metabolites per hectare there is still a major problem of a large number of findings of metazachlor sulphone acid and metazachlor acid in ground- and surface-water. Therefore, the reduction of the metazachlor application amount below 500 g per hectare is a strictly recommended precaution for water protection. Such (in the trials included) 500-g/ha- limited test-variants are discussed regarding their possible integration in the multi-step-application scheme in the article below.

Keywords: Herbicide efficacy, integrated control strategies, metazachlor, post-emergence

Einleitung

Auf den meisten Winterrapsflächen wird in der Praxis nach wie vor eine einmalige Routinebehandlung mit Herbiziden im Vorauflauf bzw. frühen Nachauflauf bevorzugt. Bekanntlich verfügen aber gut entwickelte, schnell den Boden bedeckende Rapsbestände über eine hohe Konkurrenzkraft, so dass Herbizidmaßnahmen erst bei stärkerer Verunkrautung wirtschaftlich sind (BALGHEIM, 1985; KÜST et al., 1988; WERNER und HEITEFUSS, 1996; SIEBERHEIN, 1998; DELIGIOS et al., 2018). Der Einsatz weniger Wirkstoffe über viele Jahre, insbesondere Metazachlor und Quinmerac, führte zum vermehrten Auftreten von kreuzblütigen Unkrautarten wie *Thlaspi arvense* (THLAR), *Capsella bursa-pastoris* (CAPBP) sowie *Sisymbrium officinale* (SSYOF), *Sisymbrium loeselii* (SSYLO), und *Sisymbrium altissimum* (SSYAL) (SCHRÖDER et al., 2008; FELL, 2011; HANZLIK et al., 2011). Ebenso haben Unkrautarten wie *Papaver rhoeas* (PAPRH), *Centaurea cyanus* (CENCY) und *Geranium spp.* (GERSS) zugenommen (GEHRING et al., 2012). Örtlich bereiten auch *Anthriscus caucalis* (ANRCA), *Conium maculatum* (COIMA) und *Anchusa officinalis* (ANCOF) Probleme bei der Unkrautbekämpfung.

Die verschärften Anwendungsbestimmungen bei Clomazone haben zu einer Zunahme des Einsatzes von Metazachlor-haltigen Präparaten (z. B. Butisan Gold, Butisan Kombi, Fuego, Fuego Top) geführt, welche auf über 90 % der Rapsanbaufläche zum Einsatz kommen. Mittlerweile werden im Beratungsgebiet Metazachlor und dessen nicht relevante Metaboliten Metazachlor-Sulfonsäure und Metazachlorsäure in Grund- und Oberflächengewässern nachgewiesen. Die für den Naturhaushalt unbedenklichen Konzentrationen von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen in Gewässern werden an einigen Standorten überschritten. Auch die ebenfalls zur Gruppe der Chloracetamide gehörenden Wirkstoffe Dimethenamid-P und Dimethachlor sowie der Wirkstoff Quinmerac wurden in den letzten Jahren gefunden. Infolge der Anwendungen von Kerb flo war in Sachsen der Wirkstoff Propyzamid in Oberflächengewässern nachweisbar (EWERT et al., 2019). Die Ursachen der aktuellen Belastung, insbesondere durch Abdrift oder Abschwemmung (Run-off) von Pflanzenschutzmitteln (PSM), sind vielfältig und wesentlich schwieriger zu kontrollieren (GEHRING, 2014; MANTZOS et al., 2016). Aus diesen Gründen ist ein Handlungsbedarf für einen sensiblen, auf den Gewässer- und Grundwasserschutz ausgerichteten Einsatz von PSM im Rapsanbau notwendig.

Im gemeinsamen Versuchsprogramm der Bundesländer Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen wurde ein besonderes Augenmerk auf die Prüfung Metazachlor-reduzierter und Metazachlor-freier Behandlungen gelegt. Aufgrund von Neuzulassungen von Rapsherbiziden stehen neue Möglichkeiten für eine gezielte Unkrautbekämpfung im Nachauflauf zur Verfügung. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Feldversuche von 2010 bis 2019 und die Strategien zur chemischen Unkrautbekämpfung im Raps im Sinne eines vorbeugenden Gewässerschutzes beschrieben.

Material und Methoden

Verbreitung der Unkrautarten auf den Versuchsstandorten

Um aus der Vielzahl der Herbizide die geeigneten Wirkstoffe gegen die am häufigsten auftretenden Unkrautarten auszuwählen, sind Aussagen über deren Stetigkeit notwendig. Hierfür wurden die unbehandelten Kontrollen von 139 Versuchen in Streulage sowie in Versuchsstationen der Bundesländer Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen von 2010 bis 2019 zur Unkrautbekämpfung in Winterraps herangezogen und alle vorkommenden dikotylen Unkrautarten sowie ihre Besatzstärke als Schätzungen der Deckungsgrade in Prozent erfasst. Ausgewertet wurde die Abschlussbonitur im Herbst, ca. zwei Monate nach der ersten Applikation. Die ermittelte Rangfolge der Unkräuter (Abb. 1) basiert auf der jeweils berechneten Stetigkeit nach Braun-Blanquet (1964). Diese gibt Auskunft über den prozentualen Anteil des Vorkommens einer Art bezogen auf die Gesamtheit der untersuchten Standorte.

Unkrautwirkung der verschiedenen Bekämpfungsstrategien

Im Rahmen eines gemeinsamen Versuchsprogramms der Bundesländer Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen wurden im genannten Zeitraum Herbizidvarianten im Winterraps geprüft, die der Validierung der seit 2006 konzipierten mehrstufigen Entscheidungshilfe dienen. Die Bekämpfungsempfehlungen dieses Konzeptes beruhen auf den drei Entscheidungsebenen Vorauflauf / früher Nachauflauf, Nachauflauf zu BBCH 12 – 18 und Nachauflauf Frühjahr nach Vegetationsbeginn. Weiterhin zielten die Versuche auf eine Reduzierung des hinsichtlich des Gewässerschutzes problematischen Wirkstoffs Metazachlor ab. In Einmalbehandlungen sowie Spritzfolgen wurde geprüft, ob reduzierte Aufwandmengen der Bodenherbizide zum Einsatzzeitpunkt Vorauflauf bzw. früher Nachauflauf (NAK) das jeweilige Unkrautartenspektrum ausreichend bekämpfen oder eine gezielte Folgebehandlung im Nachauflauf erforderlich ist.

Tab. 1 Aufwandmengen der Herbizide, Herbizidspritzfolgen und Tankmischungen (l bzw. kg/ha), die jeweiligen Wirkstoffmengen (g/ha) und die Applikationstermine (T1 – T5), Versuche 2010 – 2019.

Tab. 1 *Rates of herbicides, herbicide sequences and herbicide mixtures /L or kg/ha), active ingredients (g/ha) and application timings (T1 - T5); trials 2010 – 2019.*

Herbizid, Spritzfolge Tankmischung	**Wirkstoffmengen in g/ha**	**Aufwandmenge l/bzw. kg zu unterschiedlichen Applikations-Zeiten**				
		T1	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**
Butisan Gold	500 Metazachlor; 250 Quinmerac; 500 Dimethenamid-P					
Colzor Trio	564 - 752 Napropamid; 564 - 752 Dimethachlor; 90-120 Clomazone	3,0 - 4,0				
Butisan Kombi	250 - 300 Metazachlor; 250 - 300 Dimethenamid-P	1,25 - 1,5				
TM Butisan Kombi + Runway	300 Metazachlor; 300 Dimethenamid-P + 48 Clopyralid; 16 Picloram; 8 Aminopyralid		1,5 + 0,2			
SF Butisan Kombi / Milestone	250 Metazachlor; 250 Dimethen-amid-P / 750 Propyzamid; 8 Aminopyralid	1,25				1,5
SF Butisan Kombi / Runway + Fox	250 - 300 Metazachlor; 250 - 300 Dimethenamid-P /48 Clopyralid; 16 Picloram; 8 Aminopyralid + 240 Bifenox	1,25 - 1,5		0,2 + 0,5		
SF Fuego Top / Runway + Fox	499 - 563 Metazachlor; 166 - 188 Quinmerac / 48 Clopyralid; 16 Picloram; 8 Aminopyralid + 240 Bifenox	1,33 - 1,5		0,2 + 0,5		
SF Quantum / Runway + Fox	1200 Pethoxamid / 48 Clopyralid; 16 Picloram; 8 Aminopyralid + 240 Bifenox	2,0		0,2 + 0,5		
SF Belkar + Synero 30 SL / Belkar	2,5 Halauxifen-methyl; 12 Picloram + 7,5 Aminopyralid / 2,5 Halauxifen-methyl; 12 Picloram			0,25 + 0,25	0,25	

T1 BBCH 00 des Rapses; T2 BBCH 10 - 12 des Rapses; T3: BBCH 12 - 14 des Rapses;
T4: BBCH 16 - 18 des Rapses; T5: Vegetationsende Herbst

Die Versuche wurden auf 139 Standorten in Streulage sowie in Versuchsstationen als randomisierte Blockanlagen mit 3 bzw. 4 Wiederholungen angelegt. Die Parzellengrößen betrugen 20 bis 25 m². Die Wirkung auf Unkräuter wurde visuell als Reduzierung der Biomasse im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle geschätzt. Zur Bewertung der Unkrautwirkung wurden die Ergebnisse der Abschlussbonitur im Frühjahr herangezogen. Die Darstellung der Wirkungsgrade erfolgte im Netzdiagramm (Abb. 2) sowie mit Hilfe von Boxplots (Abb. 3-6). Der waagerechte Strich innerhalb des Boxplots markiert den Median. Die größten Ausreißer (Minimum) wurden als Kreuze (Min Outlier) gekennzeichnet. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die ausgewählten Herbizide, herbiziden Tankmischungen und Spritzfolgen.

Neben der Auswertung der Wirkungsgrade aus insgesamt 139 Versuchen der Jahre 2010 - 2019 erfolgte für die letzten 3 Jahre eine retrospektive Betrachtung, bei der beurteilt wurde, ob die Behandlungen aufgrund des Unkrautbesatzes tatsächlich gerechtfertigt waren. Die Standorte wurden nach den Unkrautdeckungsgraden in fünf Kategorien gegliedert. Hierfür wurden die Deckungsgrade der einzelnen Unkrautarten in den unbehandelten Kontrollen zum Zeitpunkt der letzten Herbstbonitur von 50 Standorten in den Jahren 2016 – 2019 herangezogen. Eingeschätzt wurde, dass bei einem Gesamtdeckungsgrad ≤ 5 % keine Bekämpfungsmaßnahme erforderlich ist. Ab 2016 wurde die Versuchsfrage umgestellt und die Nachauflaufbehandlung an dem Unkrautspektrum individuell angepasst bzw. auf die Nachauflaufanwendung komplett verzichtet.

Ergebnisse

Verbreitung der Unkrautarten auf den Versuchsstandorten

Die Abbildung 1 zeigt die Stetigkeit und die Besatzstärke (Deckungsgrad in %) der im Herbst bonitierten Unkrautarten in den unbehandelten Kontrollen auf 139 Versuchsstandorten im Durchschnitt der Jahre 2010 bis 2019. Den größten Anteil bilden Arten der Familien *Cruziferae*, *Compositae* und *Violaceae*. Auf vielen Standorten stellten diese Arten die Leitverunkrautung in unterschiedlicher Abundanz dar. Am häufigsten trat *Viola arvensis* (VIOAR) mit einer Stetigkeit von 61 % auf. Darauf folgten *Matricaria* spp. (MATSS) mit 55 %, *Stellaria media* (STEME) mit 33 % sowie *Capsella bursa pastoris* (CAPBP) und *Chenopodium album* (CHEAL) mit 33 % bzw. 32 %. Obwohl CHEAL im Winter abfriert, kann er bei spätem Beginn der Vegetationsruhe konkurrenzwirksam werden. Bei Rauke-Arten wie *Sisymbrium officinale* (SSYOF) lagen die Stetigkeiten bei 27 %, bei *Descurainia sophia* (DESSO) bei 11 %. Auf jeder vierten Versuchsfläche traten *Geranium* spp. (GERSS) auf. Gerade in den letzten Jahren konnte sich dieses Unkraut in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen weiter ausbreiten. GERSS verursachen zunehmend Bekämpfungsprobleme im Winterraps, so dass zum Teil die Bekämpfungsstrategie danach ausgerichtet werden muss.

Die höchsten Deckungsgrade wurden bei *Centaurea cyanus* (CENCY) mit 8 % und bei PAPRH mit 7 % ermittelt. Bei den anderen bonitierten Unkrautarten lagen die Deckungsgrade im Bereich von 2 bis 5 %.

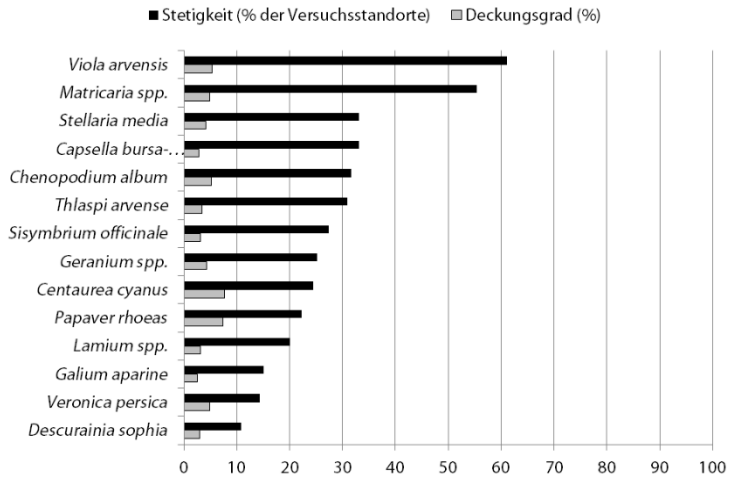


Abb. 1 Stetigkeit (%) und Deckungsgrad (%) dikotyler Unkrautarten an 139 Standorten in Winterraps in den Ländern Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen im Mittel der Jahre 2010-2019, Herbstbonitur.

Fig. 1 *Frequency (%) and weed cover (%) of broad-leaved weeds on 139 trial sites in the federal states Berlin, Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia, autumn assessment 2010-2019.*

Unkrautwirkung der verschiedenen Bekämpfungsstrategien

Für die Versuche wurden Flächen ausgewählt, die erfahrungsgemäß eine hohe Verunkrautung bzw. Problemunkräuter (z. B. SSYOF, PAPRH, CENCY oder GERSS) aufweisen, die durch eine gezielte Nachbehandlung kontrolliert werden können.

Die Tabelle 2 zeigt die retrospektive Entscheidung mit den Deckungsgraden der einzelnen Unkrautarten in den unbehandelten Kontrollen zum Zeitpunkt der letzten Herbstbonitur. Mit einer hellgrauen Schraffur sind Unkrautdeckungsgrade von < 5 %, mit mittelgrauer Schraffur Unkrautdeckungsgrade von 5 % bis <15 % sowie mit dunkelgrauer Schraffur Unkrautdeckungsgrade von >15 % dargestellt. Mit der retrospektiven Betrachtung der erreichten Deckungsgrade der bonitierten Unkrautarten lässt sich einschätzen, ob eine Herbizidapplikation tatsächlich erforderlich war.

Darüber hinaus kann abgeleitet werden, ob die vollen Aufwandmengen gerechtfertigt waren oder verringerte Aufwandmengen, eine Spritzfolge oder nur eine Nachauflaufbehandlung zu BBCH 12 – 16 genügt hätten. 10 von 50 Standorten (Kategorie 1: 20 %) wiesen einen so geringen Unkrautdruck auf, dass die Konkurrenzkraft des Rapsbestandes zur Unterdrückung ausreichte. Auf weiteren 11 Standorten (Kategorie 2: 22 %) mit einer geringen Unkrautdichte, vor allem mit Kruziferen, konnten reduzierte Aufwandmengen eines nach dem Wirkungsspektrum des Standortes ausgewählten Vorauflaufherbizides erfolgreich eingesetzt werden. Auf 9 Standorten (Kategorie 3: 18 %) mit verstärktem Auftreten von CENCY, PAPRH bzw. *Fumaria officinalis* (FUMOF) war auch eine Nachauflaufapplikation mit beispielsweise Runway bzw. Fox ausreichend. Eine Spritzfolge war auf 11 Standorten (Kategorie 4: 22 %) erforderlich, da aufgrund des Artenspektrums sowohl auf ein Vorauflaufherbizid als auch auf ein Nachauflaufherbizid zur Unkrautkontrolle nicht verzichtet werden konnte. Lediglich auf 9 Versuchsflächen (Kategorie 5: 18 %) mit stärkerem Auftreten von SSYOF bzw. DESSO, *Galium aparine* (GALAP) oder GERSS wurde zur Unkrautkontrolle die volle Aufwandmenge eines Vorauflaufherbizides eingesetzt. In die retrospektive Betrachtung wurden nicht die neuen Möglichkeiten der Nachauflaufbehandlung mit den Herbiziden Belkar und Gajus bzw. die Frühjahrsbehandlung mit Korvetto einbezogen, da diese Herbizide zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung 2016 – 2019 noch nicht zur Verfügung standen.

Tab. 2 Retrospektive Entscheidung über die Behandlungsnotwendigkeit auf den einzelnen 50 Standorten, Deckungsgrad (%), Herbstbonitur der Jahre 2016 – 2019.

Tab. 2 *Retrospective decision regarding the necessity for herbicide treatments on 50 trial sites, weed cover (%), autumn assessment in the years 2016 – 2019.*

Erntejahr	Bundesland	VIOAR	MATSS	STEME	CAPBP	THLAR	SSYOF	GERSS	CENCY	PAPRH	LAMSS	GALAP	VERSS	DESSO	FUMOF	Retroperspektive Entscheidung über die Behandlungsnotwendigkeit
2016	TH/3	2	2					2								Kategorie 1: Aufgrund der geringen Verunkrautung wäre keine Behandlung erforderlich gewesen
2016	BB/4		1						1					1		
2016	ST/1		2													
2017	TH/2							1			1				2	
2017	BB/1	2		1												
2018	TH/3														1	
2018	TH/4	1		1		1		1								
2018	BB/3	2	1													
2018	TH/6					2										
2019	TH/1		1				2	1				1				
2019	TH/4					1										
2016	ST/3	11	11		2		2			2						Kategorie 2: Die Anwendung eines reduzierten Herbizids im VA bzw. NAK hätte die Unkrautprobleme gelöst
2016	BB/5	9	6													
2016	BB/7	4	11		3											
2017	BB/3	3	3													
2017	BB/5	1	2	3												
2017	BB/6	2	2	3												
2017	ST/1		1	3		2										
2018	TH/2						1				1					
2018	TH/5	1				1	1			1	1					
2018	TH/5	1				1	1			1	1					
2016	TH/5	1		1					3		1				1	Kategorie 3: Eine Applikation zu BBCH 12 - 16 wäre ausreichend gewesen
2016	BB/2		2						4							
2017	BB/2	3													3	
2018	BB/1		1	3					2	35						
2018	BB/5	4	6						9	9						
2019	SN/1	3	2						6							
2019	SN/1	6	5						10							
2019	TH/2		6						3							
2019	TH/3	4							2							
2016	BB/1	18	7				2		4	1				2		Kategorie 4: Eine Spritzfolge hätte die Unkrautprobleme gelöst
2016	ST/2	4	12					3	3	2						
2016	TH/4					7		3		8			15			
2016	BB/3	3	16		2											
2016	BB/6	1	16	1	1											
2016	SN/2				5						5				7	
2017	TH/1		11	2					14				2			
2018	BB/2	2	7	7	2				4	5						
2018	ST/2	15			3	1	1									
2019	TH/5	1			1	1			1	1		1	3			
2019	TH/6			1		1	1	1	2	1	1		1			
2016	TH/1						5									Kategorie 5: Die volle Aufwandmenge wäre erforderlich gewesen
2016	SN/1		10		4	8										
2017	SN/1	3						26	5							
2017	BB/4											12				
2017	ST/1	5	4				3							3		
2018	SN/1	7						4								
2018	SN/2	6						4								
2018	BB/4	9	6			6										
2018	ST/1	14	9		7		9		4							

Unkrautdeckungsgrad <5% = hellgrau; Unkrautdeckungsgrad von 5% bis <15% = mittelgrau;
Unkrautdeckungsgrad >15% = dunkelgrau

Wirkung verschiedener Behandlungsvarianten hinsichtlich des integrierten Bekämpfungskonzepts

Die Abbildung 2 veranschaulicht die Wirkungsgrade ausgewählter Herbizidvarianten mit stufenweiser Erweiterung des Wirkstoffspektrums gegenüber einzelner Unkrautarten. Basis aller Varianten ist das Herbizid Butisan Kombi mit Aufwandmengen von 1,25 – 1,5 l/ha. Die Anwendung erfolgte im Vorauflauf. Eine Ausnahme bildet das Prüfglied Butisan Kombi + Runway (1,5 + 0,2 l/ha) mit Einsatz zu BBCH 12 – 14. Bereits mit der Soloanwendung werden sehr gute Wirkungsgrade gegen MATSS (96 %) und STEME (93 %) erzielt.

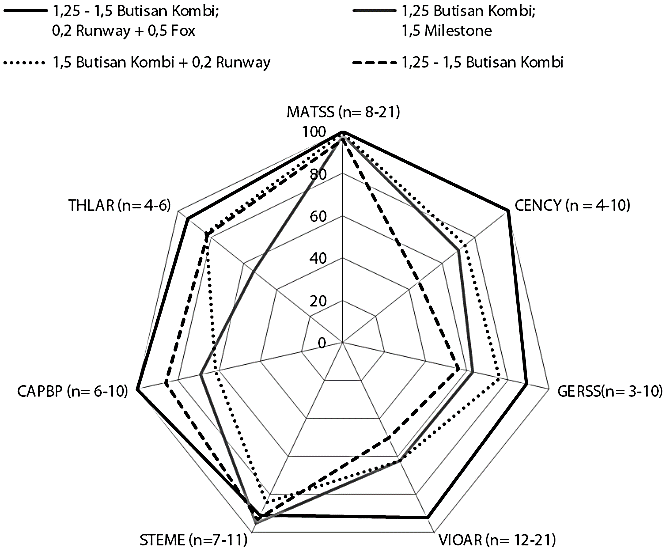


Abb. 2 Wirkung ausgewählter Herbizidvarianten auf dikotyle Unkrautarten durch Erweiterung des Wirkstoffspektrums.

Fig. 2 *Efficacy of selected herbicides against dicot weeds with a wider spectrum of active ingredients.*

Durch die Zugabe Aminopyralid-haltiger Herbizide wie Runway oder Milestone konnte besonders die Wirkung auf CENCY verbessert werden. Im Gegensatz dazu fällt die deutlich schlechtere Wirkung der spät applizierten Tankmischung gegen CAPBP im Vergleich zur Soloanwendung im Vorauflauf auf. Mit der Spritzfolge Butisan Kombi (1,25 – 1,5 l/ha) im Vorauflauf, gefolgt von Runway (0,2 l/ha) + Fox (0,5 l/ha) zu BBCH 14 ist eine Bekämpfung des gesamten ausgewiesenen Unkrautartenspektrums möglich. Durch den Wirkstoff Bifenox konnten die Wirkungslücken der Tankmischpartner gegen VIOAR und die kreuzblütigen Unkräuter geschlossen werden.

Abbildung 3 zeigt die Wirkung der ausgewählten Herbizidkombinationen bei Mischverunkrautung ohne kreuzblütige Unkräuter. Dafür wurden die Wirkungsgrade gegen MATSS, CENCY, GERSS, *Veronica* spp. (VERSS) und VIOAR zusammengefasst. Verglichen wurde die Bekämpfungsleistung bei einmaliger Applikation Metazachlor-haltiger Bodenherbizide in Kombination mit den Wirkstoffen Quinmerac und / oder Dimethenamid-P mit der um die Wirkstoffe Aminopyralid und Clopyralid erweiterten Tankmischung sowie Spritzfolgen, die neben den letztgenannten noch zusätzlich den Wirkstoff Bifenox enthalten. Mit Spritzfolgen eines Metazachlor-haltigen Vorauflaufherbizides mit reduzierter Aufwandmenge, gefolgt von einer Nachauflaufbehandlung mit den Wirkstoffen Clopyralid, Aminopyralid und Bifenox konnte die vorhandene Mischverunkrautung in den meisten Fällen sicher bekämpft werden. Die sehr gute Bekämpfungsleistung Bifenox-haltiger Spritzfolgen ist u.a. auch auf das häufige Vorkommen von VIOAR zurückzuführen.

Als kreuzblütige Unkräuter traten in den Versuchen vorwiegend CAPBP, SSYOF und THLAR auf. Abbildung 4 beschreibt die Wirkung der, wie auch in Abbildung 3, zusammengefassten Behandlungsvarianten gegen kreuzblütige Unkräuter. Besonders CAPBP wird bei einer Vorauflauf-

Anwendung Metazachlor-haltiger Herbizide meist ausreichend erfasst. Erfolgt die Behandlung erst im Nachauflauf (Variante 2: Bodenwirkstoffe + Clopyralid, Aminopyralid), sinkt die Bekämpfungsleistung gegen diese Unkräuter deutlich. Durch Spritzfolgen mit

Nachauflaufanwendung des Wirkstoffs Bifenox lassen sich die Wirkungsgrade gegenüber kreuzblütigen Unkräutern, insbesondere SSYOF und THLAR, steigern.

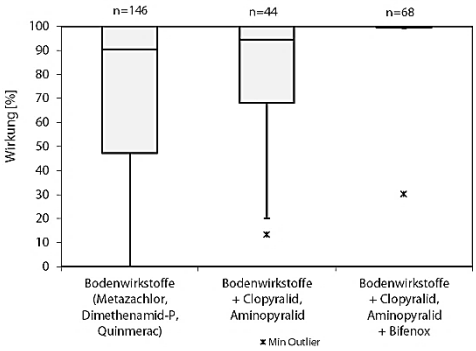


Abb. 3 Wirkung (%) verschiedener Herbizidkombinationen auf dikotyle Unkrautarten (Gesamtverunkrautung ohne kreuzblütige Unkrautarten) im Rahmen eines integrierten Bekämfungskonzeptes.
Fig. 3 *Efficacy (%) of the total effects of various herbicide strategies against dicot weeds excluding crucifers regarding the integrated control concept (multi-step-application-scheme).*

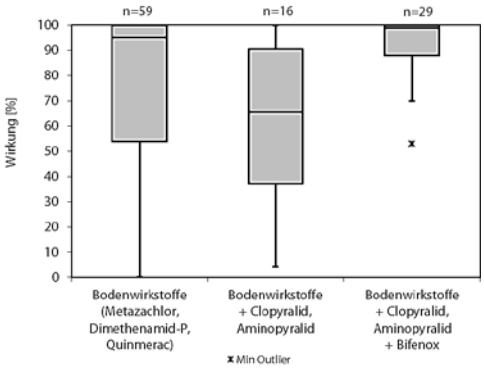


Abb. 4 Wirkung (%) verschiedener Herbizidkombinationen auf kreuzblütige Unkrautarten im Rahmen eines integrierten Bekämfungskonzeptes.
Fig. 4 *Efficacy (%) of the total effects of various herbicide strategies against cruciferous weeds regarding the integrated control concept (multi-step-application-scheme).*

Wirkung verschiedener Behandlungsvarianten hinsichtlich des reduzierten Einsatzes von Metazachlor

Metazachlor-freie Behandlungen im Vor- und Nachauflauf wurden im Vergleich zu Standardmaßnahmen im Vorauflauf geprüft (Abbildungen 5 und 6). Abbildung 5 zeigt die Wirkung der Herbizidkombinationen auf eine Mischverunkrautung ohne kreuzblütige Unkräuter. Dafür wurden die Wirkungsgrade gegen STEME, MATSS, CENCY, GERSS, PAPRH, VERSS und VIOAR zusammengefasst. Variante 1 (Metazachlor, Dimethenamid-P, Quinmerac) beschreibt die Wirkung des Herbizides Butisan Gold (2,5 l/ha). Als Vergleich stellt die Variante 2 (Napropamid, Dimethachlor, Clomazone) die Wirkung des Herbizids Colzor Trio (3,0 – 4,0 l/ha) als Clomazone-haltiges, aber Metazachlor-freies, Produkt dar. Die Varianten 3 (Pethoxamid, Clopyralid, Aminopyralid + Bifenox) und 4 (Halauxifen, Picloram + Aminopyralid) stehen als Metazachlor- und Clomazone-freie Spritzfolgen den beiden Standardmaßnahmen gegenüber. In der Gesamtwirkung weichen die Wirkungsgrade (Median) der einzelnen Varianten nur geringfügig voneinander ab. Die breitere Streuung der Standardmaßnahmen (Variante 1) ist auf die geringen Wirkungsgrade gegenüber CENCY zurückzuführen.

Abbildung 6 beschreibt die Wirkung der verschiedenen Herbizidvarianten gegen kreuzblütige Unkräuter. Die Unterschiede zwischen den Varianten sind, bezogen auf den Median, nur gering (94 – 100 %). Mit der Metazachlor-haltigen Variante 1 (Butisan Gold) wurden hohe Wirkungsgrade gegen CAPBP erzielt. Die große Streuung ist auf die geringe Wirksamkeit gegenüber SSYOF und THLAR zurückzuführen. Der Median von 100 % und die geringe Streuung verdeutlichen die Wirkungsreserven des Clomazone-haltigen Produkts gegenüber Kreuzblütlern. Mit der Spritzfolge des Pethoxamid-haltigen Produkts Quantum im Vorauflauf, gefolgt von der Kombination aus Clopyralid, Aminopyralid und Bifenox wurden in den vorliegenden Versuchen meist sehr gute

Wirkungsgrade gegen kreuzblütige Unkräuter erzielt. Die Halauxifen-haltige Spritzfolge zeigt ein hohes Wirkungspotential. Da sie bisher nur in wenigen Versuchen geprüft werden konnte, sind die dargestellten Ergebnisse zunächst als Tendenz zu betrachten.

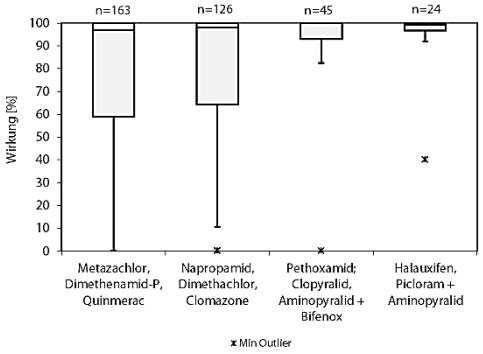


Abb. 5 Wirkung (%) Metazachlor-haltiger und Metazachlor-freier Herbizidvarianten auf Mischverunkrautung (ohne kreuzblütige Unkräuter).
Fig. 5 *Efficacy (%) of the total effects of metazachlor-containing and metazachlor-free herbicide-strategies against dicot weeds excluding crucifers.*

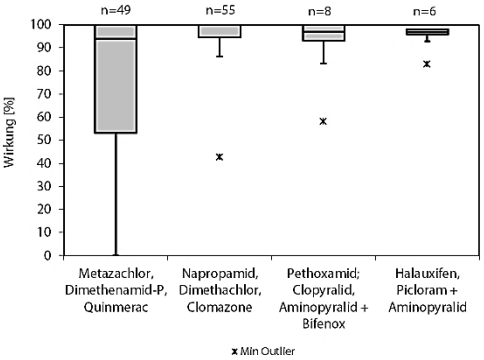


Abb. 6 Wirkung (%) Metazachlor-haltiger und Metazachlor-freier Herbizidvarianten auf kreuzblütige Unkräuter.
Fig. 6 *Efficacy (%) of the total effects of metazachlor-containing and metazachlor-free herbicide-strategies against cruciferous weeds.*

Diskussion

Obwohl die Versuchsflächen subjektiv und mit der Erwartung einer hohen Verunkrautung ausgewählt wurden, unterscheidet sich die Reihenfolge der Stetigkeit der einzelnen dikotylen Spezies auf den 139 Versuchsstandorten von den von SCHRÖDER et al. (2008) ermittelten Stetigkeiten der Rapsunkräuter in den Ländern Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen nicht wesentlich. Das Stiefmütterchen konnte sich aufgrund der engen Rapsfruchtfolgen und der Wirkungslücke bzw. -schwäche vieler Rapsherbizide z.T. stark verbreiten und ist somit in beiden Erhebungen die am stärksten auftretende Unkrautart. Durch ihre im Vergleich zum Raps niedrige Konkurrenzkraft gilt diese Art nicht als Problemunkraut in der Kultur. SSYOF, MATSS und GERSS haben dagegen an Bedeutung gewonnen. Die Förderung von *Geranium*-Arten durch nicht-wendende Bodenbearbeitung und eine frühe Rapsaussaat in der ersten Augusthälfte wurde von HANZLIK und GEROWITT (2010) beobachtet.

In der retrospektiven Betrachtung der Notwendigkeit von Herbizidmaßnahmen auf den 50 Versuchsstandorten stellte sich heraus, dass auf 20 % der Fläche keine Herbizidmaßnahme notwendig gewesen wäre. Voraussetzung sind nicht lückige, gut entwickelte Kulturpflanzenbestände. Um den Anteil der unnötigen Pflanzenschutzmaßnahmen zu reduzieren und gleichzeitig das Agrarökosystem zu entlasten, sind zielgerichtete Nachauflaufbehandlungen gegen nicht tolerierbare Unkrautarten zu bevorzugen, worauf auch SCHRÖDER und MEINLSCHMIDT (2011) sowie WERNER (2014) hinweisen. Nach GRÄPEL und SCHILLER (1988) sind es 10 %, nach KEES (1989) sogar bis zu 20 % des gesamten Unkrautdeckungsgrades bei normal entwickeltem, zeitgerecht bestelltem Winterraps, der im Spätherbst geduldet werden kann. Auch die von BALGHEIM (1985) veröffentlichten Versuchsergebnisse weisen bei einem Unkrautdeckungsgrad von 15 - 20 % keinen wirtschaftlichen Mehrertrag aus. Ebenso DINGEBAUER (1990) stellt bei einem Unkrautdeckungsgrad von 9 - 17 % im Spätherbst, je nach Konkurrenzkraft des Bestandes und der Verunkrautung, keine Ertragsminderungen fest. Auch in sächsischen Versuchen mit Unkrautdeckungsgraden von 5 - 15 % wurden in der Regel keine signifikanten Ertragsunterschiede nachgewiesen.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass mit der reduzierten Vorlage eines Metazachlor-haltigen Herbizides, appliziert im Vorauflauf oder im frühen Nachauflauf, und gegebenenfalls einer gezielten Nachbehandlung ein Großteil bedeutender Unkräuter im Winterraps kontrollierbar ist. Auch WOLBER et al. (2015) weisen auf eine gute Bekämpfungsleistung Metazachlor-freier Behandlungen mit den Wirkstoffen Pethoxamid, Aminopyralid und Bifenox hin. In der vorliegenden Arbeit wurde aufgezeigt, dass hierfür im Raps inzwischen ein breites Spektrum an wirksamen Nachauflaufherbiziden zur Verfügung steht. Anwendungen mit niedrigem Metazachlor-Wirkstoffaufwand (≤ 500 g/ha Metazachlor) sollten hier, insbesondere wegen des Gewässerschutzes, bevorzugt eingesetzt werden.

Ein kompletter Verzicht auf Metazachlor würde den Einsatz der wenig resistenzgefährdeten Wirkstoffe der HRAC-Gruppe K3 sehr einschränken. Metazachlor hat bei der Bekämpfung von Ungräsern eine unterstützende Wirkung und stellt im Rapsanbau einen Baustein im Resistenzmanagement gegen (resistenten) Ackerfuchsschwanz dar. Jedoch sind für eine erfolgreiche Bekämpfung Wirkstoffmengen von 750 g/ha (z. B. 2,0 l/ha Fuego Top) erforderlich.

Als Alternative zum Metazachlor-Einsatz steht der Wirkstoff Pethoxamid zur Verfügung. Bisherige Versuche zeigen, dass mit der Spritzfolge Pethoxamid / Clopyralid, Aminopyralid + Bifenox (Quantum / Runway + Fox) sehr gute Wirkungen im Bereich von 90 % gegen Leitunkräuter erzielt werden können. Aufgrund der Anwendungsbeschränkung auf nicht drainierten Flächen ist der Einsatz von Quantum in der Praxis begrenzt. Mit der Zulassung von Gajus (Pethoxamid, Picloram) kann der Wirkstoff Pethoxamid auch auf drainierten Flächen appliziert werden. Das Metazachlor-freie Herbizid Tanaris (Dimethenamid-P, Quinmerac) ermöglicht u. a. als Baustein in Tankmischungen und Spritzfolgen eine höhere Flexibilität bei der gezielten Bekämpfung einzelner Unkrautarten.

Wie Abbildung 5 verdeutlicht, führt die Zulassung von Belkar zu einer deutlichen Verbesserung der Metazachlor-freien Bekämpfbarkeit von Unkräutern im Nachauflauf. Das Herbizid kombiniert die beiden Wirkstoffe Halauxifen-Methyl und Picloram. Belkar kontrolliert ein breites Spektrum an wichtigen Unkräutern im Winterraps einschließlich CAPBP, CENCY, DESSO, GALAP, GERSS, MATSS, PAPRH und THLAR. Durch die Tankmischung von Belkar mit dem Wirkstoff Aminopyralid wird das Wirkungsspektrum gegen dikotyle Unkräuter noch erweitert und somit eine wirksame Alternative zur Unkrautkontrolle im Vorauflauf geschaffen (ZOTZ et al., 2018).

Aufgrund der Witterungsbedingungen ist der Einsatz von Clomazone und anderen bodenaktiven Herbiziden nicht immer möglich. Sollte sich die Witterung der letzten Jahre mit hohen Temperaturen und anhaltender Trockenheit zum Zeitpunkt der Rapsaussaat fortsetzen, muss das Augenmerk auf die Nachauflaufherbizide, vorzugsweise auf blattaktive Mittel, gelegt werden.

Das dreistufige integrierte Bekämpfungskonzept zur Auswahl der Herbizide gegen zweikeimblättrige Unkräuter bietet Möglichkeiten der Reduktion des Pflanzenschutzmitteleintrages und somit der Entlastung des Agrarökosystems, wie im Sinne des Integrierten Pflanzenschutzes gefordert wird. Neu zugelassene Wirkstoffe und Produkte können in dieses offene System gut integriert werden. Für seine erfolgreiche Umsetzung bedarf es allerdings einer schlagspezifischen Überwachung der Unkrautentwicklung. Diese dreistufige Entscheidungshilfe wird von den Landwirten zzt. noch wenig praktiziert.

Der Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel, auch unter Einbeziehung des vorgestellten Konzeptes, kann jedoch nur ein Baustein eines erfolgreichen Unkrautmanagements sein. Die Unkrautbekämpfung sollte über die gesamte Fruchtfolge erfolgen. So werden kreuzblütige Rapsunkräuter oder Stiefmütterchen im Getreide mit den dort zugelassenen Herbiziden problemlos erfasst. Ackerbauliche vorbeugende Maßnahmen wie weitere Fruchtfolge, intensive Bodenbearbeitung, u. a. Pflugeinsatz auf nicht erosionsgefährdeten Flächen, eine gute Bestandesführung sowie Feldrandhygiene sollen einbezogen werden. Populationsdynamische Studien von ZWERGER und EGGERS (2004) zeigen, dass nach einer nichtwendenden Bodenbearbeitung der Großteil der Samen im oberen Bodenbereich verbleibt, während die wendende

Bodenbearbeitung die Samen in größere Bodentiefe verbringt. Generell ist die Verunkrautung von Flächen nach nicht-wendender Bodenbearbeitung deutlich höher als nach wendender.

Hinsichtlich eines vorbeugenden Gewässerschutzes müssen auch andere nicht-chemische Verfahren in der Praxis, z. B. der Einsatz von Hackgeräten zur Unkrautbekämpfung unter günstigen Witterungsbedingungen, Anwendung finden.

Literatur

BALGHEIM, R., 1985: Bemerkungen zur Wirtschaftlichkeit eines Herbizideinsatzes in Winterraps unter nordhessischen Bedingungen. Gesunde Pflanzen **37**, 128-132.

DELIGIOS, P.A., G. CARBONI, R. FARCI, S. SOLINAS, L. LEDDA, 2018: Low-Input herbicide management: Effects on rapeseed production and profitability. Sustainability **10**, 1-16.

DINGEBAUER, G., 1990: Tolerierbare Verunkrautung in Winterraps. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XII**, 315-328.

EWERT, K., E. MEINLSCHMIDT, 2017: Hohe Erträge im Herbst absichern. LOP **22** (7), 16-25.

EWERT, K., E. MEINLSCHMIDT, C. TÜMMLER, 2019: Es funktioniert auch mit weniger Clomazone und Metazachlor.DLG **8**, 46-50.

FELL, M., 2011: Gezielte und flexible Bekämpfung von Problemunkräutern im Winterraps mit dem Nachauflaufherbizid Fox im neu zugelassenen Splitting-Verfahren. Julius-Kühn-Archiv **434**, 536-543.

HANZLIK, K., B. GEROWITT, 2010: Verändern pfluglose Bodenbearbeitung und Frühsaaten die Unkrautvegetation im Winterraps? Gesunde Pflanzen **62**, 1-9.

HANZLIK, K., B. GEROWITT, M. SCHULTE, 2011: Weediness and weed diversity in oilseed rape fields – results of a three year survey in Germany. 13th International Rapeseed Congress. Abstract book. June 05-09, 161.

GEHRING, K., 2014: Management zur Vermeidung von diffusen Herbizidausträgen durch Abschwemmung und Erosion in Oberflächengewässer. Julius-Kühn-Archiv **443**, 536-543.

GEHRING, K., S. THYSSEN, T. FESTNER, 2012: Möglichkeiten der Kontrolle von Storchschnabel-Arten (*Geranium* spp.) mit Herbiziden im Ackerbau. Julius-Kühn-Archiv **434**, 671-678.

GRÄPEL, H., R. SCHILLER, 1988: Versuche zur Ermittlung wirtschaftlicher Schadensschwellen für die Unkrautbekämpfung in Winterraps und Möglichkeiten der praktischen Anwendung. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XI**, 147-153.

KEES, H., 1989: Gezielte Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern im Raps. Raps **7**, 116-120.

KÜST, G., R. HEITEFUSS, W. WAHMHOFF, 1988: Untersuchungen zur Ermittlung von Schadensschwellen für Ausfallgerste in Winterraps. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XI**, 139-145.

MANTZOS, N., D. HELA, A. KARAKITSOU, M. ANTONOPOULOU, 2016: Dissipation and runoff transport of metazachlor herbicide in rapeseed cultivated and uncultivated plots in field conditions. Environ Sci Pollut Res. 20517-20527.

SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, B. KRÜGER, E. BERGMANN, R. BALGHEIM, 2008: Neue Möglichkeiten bei der Unkrautbekämpfung im Winterraps – ein Beitrag zur Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in der landwirtschaftlichen Praxis. Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue **XXI**, 483-492.

SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, 2011: Restverunkrautung im Nachauflauf kontrollieren. Raps **4**, 14-21.

SIEBERHEIN, K., 1998: Verunkrautung von Winterraps im Freistaat Sachsen und Versuchsergebnisse zur chemischen Unkrautbekämpfung in Winterraps. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **XVI**, 649-654.

WERNER, B., 2014: Möglichkeiten der gezielten Nachauflaufbekämpfung von Unkräutern im Winterraps. Julius-Kühn-Archiv **443**, 662-670.

WERNER, B., R. HEITEFUSS, 1996: Einsatz eines Schadensschwellen Modelles zur gezielten Unkrautbekämpfung unter Bedingungen in Südniedersachsen. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten, Sonderheft **XVI**, 149-158.

WOLBER, D., T.-K. NIEHOFF, G. WARNECKE-BUSCH, 2015: Raps ohne Metazachlor? DLG Mitteilungen Sonderdruck **8**.

ZOTZ, A., U. BERNHARDT, J. BONIN, 2018: Belkar – a new herbicide for the control of a wide range of broadleaf weeds in winter oilseed rape applied post-emergence in autumn. Julius-Kühn-Archiv **452**, 536-543.

ZWERGER, P., TH. EGGERS, 2004: Populationsdynamik von Unkräutern – Grundlage für die Entwicklung von Managementstrategien. Vielfalt – Ideen –Fortschritt. Weed Science on the Go. Wissenschaftliches Kolloquium, 33-42.

Chemische Unkrautregulierung in Mais (*Zea mays*) im Mulchsaat-Anbauverfahren unter Verzicht auf den Einsatz von Glyphosat

*Chemical weed control in maize (*Zea mays*) using mulch seed cultivation without the use of glyphosate*

Klaus Gehring[1*], Kerstin Hüsgen[3], Ewa Meinlschmidt[4], Stefan Thyssen[1], Christine Tümmler[2], Hartmut Weeber[3]

[1]Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Freising-Weihenstephan
[2]Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Zossen
[3]Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg
[4]Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden
[*]Korrespondierender Autor, Klaus.Gehring@lfl.bayern.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.069

Zusammenfassung

Zur Überprüfung der chemischen Unkrautregulierung in Mais-Mulchsaaten wurde ein Ringversuchsprogramm in vier Bundesländern von 2014 bis 2017 durchgeführt. In 17 Feldversuchen wurden Herbizidbehandlungen mit und ohne Vorsaatbehandlung auf der Basis von Glyphosat und 2,4-D geprüft. In den unterschiedlichen Nachauflaufbehandlungen wurden die Bodenherbizide mit den Wirkstoffen Dimethenamid-P, Pendimethalin und Terbuthylazin verwendet. Als blattaktive Wirkstoffe kamen Bromoxynil, Dicamba, Foramsulfuron, Iodosulfuron, Nicosulfuron, Thiencarbazone, Tembotrione, Topramezone und Tritosulfuron zum Einsatz. Unter den häufig aufgetretenen Unkräutern war ein relativ hoher Anteil von Ausfallraps (*Brassica napus*), Ausfallgetreide und Ampfer-Arten (*Rumex* sp.) auffällig. Als schwer bekämpfbar haben sich Ausfallgetreide, Grüne Borstenhirse (*Setaria viridis*), Trespen-Arten (*Bromus* sp.) und Weidelgras-Arten (*Lolium* sp.) erwiesen. Im Vergleich der Herbizid-Varianten konnte kein signifikanter Leistungsunterschied in der Unkrautregulierung festgestellt werden. Die Anwendung von Glyphosat in der Vorsaatbehandlung ergab keine signifikant höhere Unkrautbekämpfungsleistung im Vergleich zu Behandlungsvarianten ohne Glyphosat. Im Vergleich aller Behandlungsvarianten war eine ausreichende Unkrautregulierung in Mais-Mulchsaaten gewährleistet. Ein Verzicht auf gewässersensible Wirkstoffe wie Terbuthylazin, S-Metholachlor, Topramezone und Nicosulfuron war ohne signifikante Unterschiede in der Unkrautbekämpfungsleistung möglich.

Stichwörter: Feldversuch, Gewässerschutz, Herbizide

Abstract

A field trial program in four German federal states was conducted from 2014 – 2017 to test the chemical weed control in mulch sowing maize. In 17 trials treatments with pre-sowing application of glyphosate and 2,4-D were compared to herbizide treatments without glyphosate. Dimethenamid-P, pendimethalin and terbuthylazine were used as soil active herbicides in post emergence application in combination with foliar active ingredients like bromoxynil, dicamba, foramsulfuron, iodosulfuron, nicosulfuron, thiencarbazone, tembotrione, topramezone and tritosulfuron. Dock (*Rumex* sp.), volunteer oilseed rape (*Brassica napus*) and cereals were conspicuously weeds in the mulch sowing trials. Volunteer cereals, green foxtail (*Setaria viridis*), brome (*Bromus* sp.) and ryegrass species (*Lolium* sp.) were hard to control weeds with all herbicide treatments. No significant difference in weed control efficacy was assessed for all types of herbicide treatments. We found no advantage for pre-sowing treatment of glyphosate. In the comparison of all herbicide variants a sufficient weed control was possible. Active ingredients dangerous for groundwater like terbuthylazine, S-metholachlor, topramezone and nicosulfuron can be dispensed with for water protection.

Keywords: Field trial, herbicide, water protection

Einleitung

Neben den verschiedenen Getreidearten ist Mais in Deutschland die größte Ackerbaukultur. Aufgrund des Reihenanbaus und der zögerlichen Jugendentwicklung besteht in Mais ein relativ hohes Risiko für Bodenerosion und den Austrag von Sedimenten, Nährstoffen und Wirkstoffen von ausgebrachten Pflanzenschutzmitteln. Unter den aktuell erkennbaren Klimaveränderungen mit der Zunahme von extremen Witterungsereignissen mit verstärktem Auftreten von Starkregen nimmt dieses Risikopotenzial tendenziell zu. Schadereignisse mit Abtrag von Oberbodenmaterial und Strukturschäden auf den Anbauflächen sowie Austrag von Sediment, Nährstoffen und Wirkstoffen

verursachen Belastungen in Oberflächengewässern und wirtschaftliche Schäden im Siedlungsbereich und an der Infrastruktur.

Aus diesen Gründen ist eine Verbesserung des Risikomanagements zur Vermeidung von Erosion und Run-off im Maisanbau unumgänglich. Neben den vielfältigen möglichen Einzelmaßnahmen ist der Anbau im Mulchsaatverfahren mit optimierter Mulchabdeckung eine anerkannte Maßnahme mit einer hohen Effizienz zur Risikominimierung. In der Anbaupraxis wird diese Möglichkeit bisher nur sehr unzureichend umgesetzt. Bedenken hinsichtlich Einschränkungen und Defiziten bei der Unkrautregulierung sind hierbei wesentliche Hinderungsgründe.

Material und Methoden

Um die Möglichkeiten einer effizienten chemischen Unkrautregulierung unter intensivem Mulchanbau zu prüfen, haben die Pflanzenschutzdienste von Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg und Sachsen einen Ringversuch von 2014 bis 2017 an 17 Standorten durchgeführt. Eine Kernfrage des Versuchsprogramms war ein möglicher Verzicht auf den Einsatz von Glyphosat im Vorsaatverfahren. Weiterhin wurde geprüft, in wieweit ein gewässerschonendes Wirkstoffmanagement mit Verzicht auf sensible Wirkstoffe wie Terbuthylazin, S-Metholachlor und Nicosulfuron umgesetzt werden kann.

Die Feldversuche wurden gemäß des EPPO Standard PP 1/50(3) als reine Wirkungsversuche durchgeführt(EPPO, 2018). Auf die Erhebung von Erträgen wurde verzichtet. Die erhobenen Boniturdaten wurden durch eine nichtparametrische Rangvarianzanalyse nach Kruskal-Wallis (UNISTAT LTD., 2015) ausgewertet. Die im vierjährigen Vergleich durchgeführten Prüfvarianten sind in Tabelle 1 dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass das Präparat Clio Super® (Topramezone + Dicamba) aktuell nicht mehr zugelassen ist.

Ergebnisse und Diskussion

Die häufig in den Versuchen aufgetretenen Unkräuter entsprechen weitgehend den im Maisanbau typischen Leitunkräutern. Auffällig war dagegen der relativ hohe Anteil an Ausfallraps (BRSNN), Ausfallgetreide (NNNGA) und Ampfer-Arten (RUMSS). Die Gesamt-Unkrautwirkung über alle Behandlungsvarianten variierte in einer Bandbreite von 99 % bis 76 % im Vergleich der Versuchsstandorte erheblich. Wichtige Leitunkräuter wie Taubnessel-Arten (LAMSS), Vogel-Sternmiere (STEME), Gänsefuß-Arten (CHESS), Gemeine Hühnerhirse (ECHCG), Kamille-Arten (MATSS) und Ausfall-Raps (BRSNN) waren im Mittel aller Behandlungsvarianten und Standorte mit einer Wirkung $\geq$ 90 % sicher regulierbar. Mit einer mittleren Bekämpfungsleistung von $\leq$ 80 % haben sich die Ungräser Ausfallgetreide (NNNGA), Grüne Borstenhirse (SETVI), Trespen-Arten (BROSS) und Weidelgras-Arten (LOLSS) erwiesen.

Im Vergleich der Prüfvarianten mit bzw. ohne Glyphosat-Vorsaatbehandlung konnten keine signifikaten Wirkungsunterschiede gegenüber häufig auftretenden Leitunkräutern und in der Gesamt-Unkrautwirkung festgestellt werden. Auch der Vergleich über alle Prüfvarianten lieferte keinen signifikanten Leistungsunterschied in der Unkrautwirkung über alle Standorte. Tendenziell zeigten Spritzfolgebehandlungen im Nachauflauf ein leicht höheres Wirkungsniveau als Einfachbehandlungen im Nachauflauf mit primär blattaktiven oder kombiniert boden- und blattaktiven Herbiziden. Als Gesamtergebnis kann festgestellt werden, dass die geprüften Herbizidbehandlungen aufgrund ihrer Wirkstoffausstattung und Aufwandmengenkombination sich als gleichwertig leistungsfähig für die Unkrautregulierung in Mais-Mulchsaaten darstellen. Ein Leistungsvorteil für die Vorbehandlung mit Glyphosat im Vorsaatverfahren konnte nicht nachgewiesen werden.

Tab. 1 Herbizid-Prüfvarianten im Feldversuchsprogramm.

Tab. 1 *Herbicide treatments in the field tests.*

VG	Behandlung, Handelspräparate	Aufwand (l bzw. kg/ha)	Wirkstoffe	Wirkstoff-aufwand (g a.i./ha)	Termin
1	Unbehandelte Kontrolle	-	-	-	-
2	Kyleo / MaisTer power + Buctril	4,0 / 1,5 + 0,3	Glyphosat + 2,4-D / Foramsulfuron + Iodosulfuron + Thiencarbazone + Bromoxynil	1768	VS / NA2
3	Kyleo / Spectrum + Clio Star	4,0 / 1,0 + 1,0	Glyphosat + 2,4-D / Dimethenamid-P + Topramezone + Dicamba	2570	VS / NA1
4	MaisTer power + Buctril	1,5 + 0,3	Foramsulfuron + Iodosulfuron + Thiencarbazone + Bromoxynil	128	NA2
5	Spectrum + Clio Star + Buctril	1,0 + 1,0 + 0,3	Dimethenamid-P + Topramezone + Dicamba + Bromoxynil	998	NA1
6	Spectrum Plus + Laudis	2,5 + 2,0	Dimethenamid-P + Pendimethalin + Tembotrione	1244	NA1
7	Spectrum Plus + Laudis / Arrat + Dash EC	2,5 + 2,0 / 0,2 + 1,0	Dimethenamid-P + Pendimethalin + Tembotrione / Tritosulfuron + Dicamba	1394	NA1 / NA2
8	Spectrum Gold + Motivell Forte	2,0 + 0,75	Dimethenamid-P + Terbuthylazin + Nicosulfuron	1105	NA1
9	Spectrum Gold + Motivell Forte / Arrat + Dash EC	2,0 + 0,75 / 0,2 + 1,0	Dimethenamid-P + Terbuthylazin + Nicosulfuron / Tritosulfuron + Dicamba	1255	NA1 / NA2

Legende: VG = Versuchsglied; a.i. = Wirkstoff (active ingredient); VS = vor der Saat; NA = nach dem Auflaufen

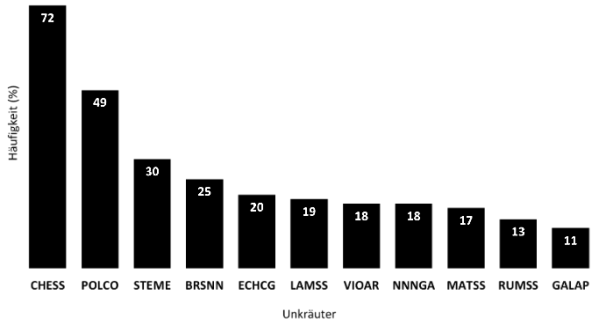


Abb. 1 Häufig aufgetretene Leitunkräuter in den Versuchen.

Fig. 1 *Frequently occurring weeds in the experiments.*

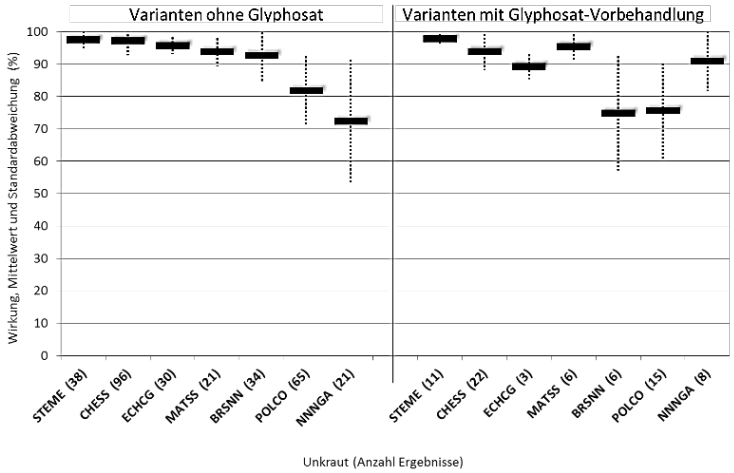


Abb. 2 Leitunkrautwirkung von Herbizid-Behandlungen mit bzw. ohne Glyphosat.

Fig. 2 *Efficacy of herbicide treatments with or without glyphosate.*

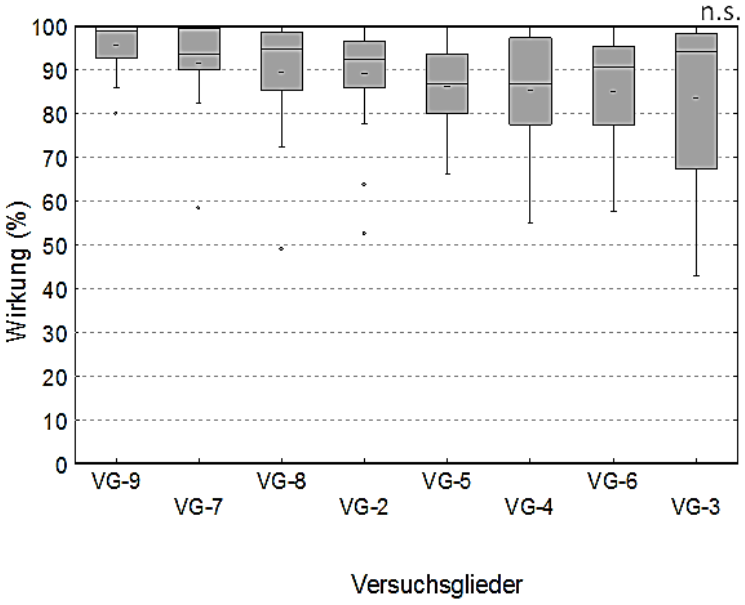


Abb. 3 Gesamt-Unkrautwirkung der Herbizid-Behandlungen im Vergleich.

Fig. 3 *Total weed control efficacy of different herbicide treatments compared.*

Literatur

EPPO, EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION, 2018: Efficacy evaluation of herbicides - Weeds in maize. Online unter www.eppo.int, PP 1/50 (3), 4 p.

UNISTAT® LIMITED, 2015: User's Guide, Version 6.5. London, UK, 1244 p.

Unkrautvegetation nach der Maisernte in Silomaissystemen mit Untersaaten

Weed vegetation after maize harvest in silo-maize with catch crops

Jens Wienberg[1*], Bärbel Gerowitt[2]

[1] Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Ostfriesland, Hauptstr. 68, 26789 Leer
[2] Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschafttliche Fakultät, Satower Straße 48, 18051 Rostock
*Korrespondierender Autor, jens.wienberg@lwk-niedersachsen.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.070

Zusammenfassung

In der Landwirtschaft Ostfrieslands ist ein langjähriger Anbau von Silomais auf der gleichen Fläche verbreitet. Im Anschluss an die Maisernte folgt häufig eine Brache bis zum erneuten Anbau von Silomais. Späte Erntetermine und eine schlechte Befahrbarkeit der Flächen verhindern regelmäßig die Aussaat einer Zwischenfrucht. In einem zweijährigen Versuch wurde überprüft, ob dies die Ausbreitung der Unkrautvegetation in den Wintermonaten begünstigt.

Hierzu wurden in den Jahren 2017 bis 2019 an neun Standorten mit langjährigem Maisanbau Versuche mit identischem Design angelegt. Auf den Flächen wurden die Parzellen der drei Versuchsglieder `*Festuca* Untersaat´, `*Lolium* Untersaat´ und `ohne Untersaat´ als Blockanlage mit drei Wiederholungen angeordnet.

Unkrauterfassungen erfolgten 40 Tage nach der Ernte des Silomais und im März des Folgejahres, unmittelbar vor der Flächenvorbereitung. Dabei zeigte sich, dass der Unkrautdeckungsgrad in den Wintermonaten auf Flächen ohne Begrünung ansteigt. Auf den begrünten Flächen wurde durch die Untersaat eine Zunahme des Unkrautdeckungsgrades verhindert. Den höchsten Deckungsgrad erzielte die *Lolium* spp. Untersaat bei dem geringsten Unkrautdeckungsgrad.

Stellaria media und *Poa annua* bildeten in den Wintermonaten die Leitunkräuter. Während bei *S. media* die Dichte und der Anteil am Unkrautdeckungsgrad durch eine *Lolium* spp. Untersaat reduziert wurde, konnte bei *P. annua* durch diese Maßnahme lediglich die Ausbreitung eingedämmt werden. Dass die Dichte von *P. annua* durch die *Lolium* spp. Untersaat beeinflusst wurde, zeigte sich anhand einer deutlichen Differenzierung der Dichten zwischen den getesteten Versuchsgliedern.

Stichwörter: Deckungsgrad Untersaat, *Poa annua*, *Stellaria media*, Unkrautdeckungsgrad

Abstract

The long-term cultivation of maize on the same field is common practice in the agriculture of East Frisia. A winter fallow is following maize harvest until the next cultivation of maize. Unfavourable dates of harvest and bad weather conditions often prevent the sowing of catch crops. In 2017 a two year trial has been started to test, if a winter fallow promotes the weed infestation.

Nine sites with long-term maize cultivation carry an identical field experiment. The design was in every year at every site the same. The plots of the three treatments `*Festuca* Untersaat´ (undersown *Festuca*), `*Lolium* Untersaat´ (undersown *Lolium*) and `ohne Untersaat´ (without undersown crops) were set-up with three replications.

Weed assessments took place 40 days after the harvest of the maize and in March of the following year, just prior to the seed bed preparation of the field. Without undersown crops weed cover increases in the winter months. With undersown crops, both undersown grass crops prevented an increase of weed cover. The highest cover of the undersown crop and the lowest weed cover were achieved by the *Lolium* spp..

Stellaria media and *Poa annua* have been the main weeds in the winter period. The density of *S. media* and the proportion of *S. media* on weed cover were reduced by a *Lolium* spp. undersown crop. In the case of *P. annua* solely the *Lolium* spp. undersown crop reduced the winter infestation. Different densities of *P. annua* demonstrate the influence of the three treatments.

Keywords: Cover undersown crop, *Stellaria media*, *Poa annua,* weed cover

Einleitung

Im Nordwesten Niedersachsens mit seinen Ackerfutterbaubetrieben ist ein langjähriger Anbau von Silomais üblich. Zwischen den Maiskulturen folgt häufig eine Phase der Brache. Späte Erntetermine oder witterungsbedingt schlechte Befahrbarkeit der Flächen verhindern in manchen Jahren die Aussaat einer Zwischenfrucht. Von der Brache könnten in milden Wintern ganzjährig keimende

Unkrautarten profitieren. Eine fehlende Konkurrenz von Zwischenfrüchten um Licht, Wasser und Nährstoffe ermöglicht diesen Unkrautarten eine intensive Besiedlung der Flächen. Dies kann nur durch eine rechtzeitige, flächendeckende Begrünung der Ackerflächen im Herbst vermieden werden (CUTTI et al., 2016). Wo eine rechtzeitige Ausbringung der Zwischenfrüchte scheitert, stellen Untersaaten eine Alternative dar. Diese werden bereits im Laufe des Maisanbaues ausgesät und mindern die Abhängigkeit von der Witterung im Herbst.

Untersaaten sind im Zusammenhang mit dem Anbau von Silomais bereits lange bekannt. Die Reduzierung von Auswaschungsverlusten, die Erhöhung des Humusgehaltes oder die Vermeidung von Winderosion sind typische Ziele, die mit einer solchen Maßnahme verfolgt werden (AUFHAMMER und KÜBLER, 1997). Der Aspekt der Unkrautunterdrückung stand bislang nur im ökologischen Anbau im Vordergrund (BRUST et al., 2011).

Im ökologischen Anbau belegen Untersuchungen, dass die Ausbringung einer Untersaat die Unkrautvegetation beeinflusst (HARTWIG und AMMON, 2002; FISCHER und BÖHM, 2016). Eine völlige Unkrautfreiheit ist mit dem Verfahren jedoch nicht zu erwarten (HEYLAND und MERKELBACH, 1985). Dies liegt unter anderem daran, dass der Einfluss der Untersaat auf die einzelnen Unkrautarten unterschiedlich hoch ist (FISCHER und BÖHM, 2016).

Für den integrierten Anbau sind vor allem Untersaaten mit Gräsern interessant, weil diese eine chemische Unkrautbekämpfung von zweikeimblättrigen Unkräutern während der Maiskultur erlauben.

Das Hauptwachstum der Grasuntersaaten beginnt im Anschluss an die Maisernte im Herbst. Zu diesem Zeitpunkt ist kein direkter Einfluss der bis dahin applizierten Herbizide mehr zu erwarten. Die Unkräuter und Untersaaten können sich auf den abgeernteten Flächen uneingeschränkt entwickeln. In einem zweijährigen Versuch wurde überprüft, ob die Unkrautvegetation in den Wintermonaten durch eine Untersaat unterdrückt wird. Der Versuch startete im Jahr 2017 und endete im Frühjahr 2019. Folgende Fragen wurden hierbei überprüft:

- Wird im Maisdaueranbau durch eine Kombination von Herbizid und Grasuntersaat die Unkrautdichte der in den Wintermonaten auftretenden Unkrautarten verändert?
- Wird in den Wintermonaten das Auftreten schwer zu bekämpfende Unkrautarten durch eine Grasuntersaat reduziert?
- Wird im Maisdaueranbau der Unkrautdeckungsgrad auf abgeernteten Ackerflächen durch das Einbringen einer Grasuntersaat gesenkt?

Material und Methoden

Versuchsstandorte

In den Jahren 2017 bis 2019 wurden auf neun Flächen landwirtschaftlicher Praxisbetriebe Feldversuche angelegt. Alle Standorte lagen im Landkreis Leer. Die Flächen wurden bereits langjährig mit Silomais bestellt, so dass eine „maistypische" Verunkrautung vorlag (WIENBERG et al., 2018). Die Versuchsstandorte unterschieden sich durch ihre Bodenarten, die Düngung, die angebauten Maissorten, Zeitpunkte der Pflanzung und der Ernte. Einheitlich waren die Anlage der Parzellen, die Aussaatstärke der Untersaaten sowie der in den Versuchsgliedern durchgeführte Pflanzenschutz mit Herbiziden.

Versuchsaufbau

Es wurden drei Varianten getestet, in denen der Mais ohne Untersaat oder mit zwei verschiedenen Gräserarten als Untersaat angebaut wurde. Je Versuchsglied wurden drei Wiederholungen angelegt. Auf allen Flächen wurde für den Versuch ein identisches Design verwendet. Dies war ein lateinisches Quadrat, bei dem die einzelnen Parzellen 7*7 Meter groß waren und vollständig randomisiert wurden. Die Parzellen waren GPS vermessen, alle Versuchsglieder blieben in den drei

Jahren am gleichen Standort. Die Restfläche wurde vom Bewirtschafter, wie in der Vergangenheit üblich, mit Silomais bestellt. Die beiden Versuchsglieder mit Untersaat unterschieden sich in ihren Anforderungen an den Aussaatzeitpunkt und den Herbizideinsatz.

Es wurde zum einen eine Mischung aus 50 % *Lolium multiflorum* und 50 % *Lolium perenne* verwendet, zum anderen wurde eine Untersaat mit *Festuca rubra* durchgeführt. Bei der `*Lolium* Untersaat´ konnte aufgrund der späteren Aussaat noch ein Einsatz von Herbiziden gegen einkeimblättrige Unkräuter durchgeführt werden. Bei der `*Festuca* Untersaat´ war dies aufgrund der frühen Aussaat nicht mehr möglich. Die Herbizidmaßnahmen wurden in allen Jahren an allen Standorten zum Zeitpunkt des 3 bis 4 Blattstadium des Mais (BBCH 13 bis 14) durchgeführt.

In Tabelle 1 sind die in den Versuchsgliedern während der Maisvegetation eingesetzten Wirkstoffe, die ausgebrachten Aufwandmengen, so wie die verwendeten Gräser mit ihrer Aussaatstärke aufgeführt.

Tab. 1 Übersicht über die durchgeführten Maßnahmen in den Versuchsgliedern.

Tab. 1 *Applied weed control in the treatments.*

Versuchsglied	**Aussaattermin und -stärke Untersaat**	**Wirkstoffe + Aufwandmenge**
Ohne Untersaat	———	Terbuthylazin + Mesotrione 1,2 L/ha S-Metolachlor 1,0 L/ha Prosulfuron 20 g/ha Rimsulfuron 20 g/ha
Lolium Untersaat	6 Blattstadium Mais 15 kg/ha	Mesotrione 1,0 L/ha Bromoxynil 0,3 L/ha Rimsulfuron 20 g/ha
Festuca Untersaat	Aussaat Mais 7 kg/ha	Mesotrione 1,0 L/ha Thifensulfuron Methyl 15 g/ha

Datenerhebung Unkräuter und Untersaaten

Die Unkrauterfassungen wurden mit einem `Göttinger Schätzrahmen´ (0,1m^2) durchgeführt. In der Vegetationsruhe wurden Daten zu den beiden für die Wintermonate relevanten Terminen erfasst.

- `Nach Ernte´: 40 Tage nach der Maisernte im Herbst
- `vor Pflug´: ca. 2 Wochen vor der Flächenvorbereitung für die Folgekultur

An jedem Termin wurden in jeder Parzelle neun Messwertwiederholungen erhoben. Folgende Daten wurden erfasst:

- Gesamtdeckungsgrad in Prozent
- Dichte jeder Unkrautart
- Anteil der einzelnen Unkräuter am Unkrautdeckungsgrad in Prozent
- Deckungsgrad der Untersaat in Prozent

Versuchsauswertung

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit dem Programm R Statistik Version 3.6.1 (THE R FOUNDATION, 2019). Die Messwertwiederholungen in den Parzellen, die Standorte und die Jahre wurden zusammengefasst. Untersuchungsfaktoren waren Termin (n=2) und Versuchsglied (n=3). Für die Unkrautdichte, die Dichte von *Poa annua* und die Dichte *von Stellaria media* wird das geometrische Mittel dargestellt. Die Dichten der Leitunkrautarten werden in Box-Plots abgebildet. Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern in der Unkrautdichte, der Dichte von *P. annua* und der Dichte von *S. media* wurden mittels Kruskal-Wallis Test (nicht normalverteilte Daten) überprüft. Hierzu wurde das R Paket „agricolae" verwendet.

Ergebnisse

Die in diesem Versuch erzielten Ergebnisse zeigen, dass die Versuchsglieder mit Untersaaten im Mittel einen deutlich höheren Gesamtdeckungsgrad verursachten (Tab. 2). Diese Flächen hatten zum Zeitpunkt der Unkrauterfassung `nach Ernte´ mit 47 % bzw. 45 % eine doppelt so intensive Begrünung, wie die Flächen `ohne Untersaat´.

Der größte Teil der Begrünung war auf die ausgebrachten Grasuntersaaten zurückzuführen. Zum Termin `nach Ernte´ betrug der Deckungsgrad der `*Festuca*-Untersaat´ im Mittel 30 % bzw. bei der `*Lolium* Untersaat´ 33 %. Für einen flächendeckenden Aufwuchs ist das Wachstum der Gräser in den Wintermonaten von großer Bedeutung. Hierbei unterschieden sich die getesteten Grasarten erheblich. Der größte Zuwachs zwischen den beiden Erfassungsterminen war bei den *Lolium* spp. Gräsern zu verzeichnen. Bei dieser Untersaat nahm der mittlere Deckungsgrad um 15 % zu. Bei *Festuca rubra* wurde hingegen lediglich eine mittlere Zunahme des Deckungsgrades von 4 % erfasst (Tab. 2).

Der zweite Teil der Flächenbegrünung war auf die vorhandene Unkrautvegetation zurückzuführen. Für diesen Anteil des Gesamtdeckungsgrades galt es eine weitere Ausbreitung über die Wintermonate zu begrenzen. Dieses Ziel wurde nur in den Versuchsgliedern mit den Untersaaten erreicht. Im Versuchsglied `ohne Untersaat´ stieg der Unkrautdeckungsgrad im Mittel zwischen den Terminen `nach Ernte´ und `vor Pflug´ um 5 % an (Tab. 2).

Tab. 2 Mittlerer Gesamtdeckungsgrad (%), Unkrautdeckungsgrad (%) und Untersaaten Deckungsgrad (%) (in Klammern Standardabweichung) zu den Terminen der Unkrauterfassung `nach Ernte´ und `vor Pflug´, getrennt nach Versuchsgliedern.

Tab. 2 *Average of total cover (%), weed cover (%) and cover crops (%) (in brackets standard deviation) at the time of the weed assessments `nach Ernte´ and `vor Pflug´, separated by treatments.*

		Versuchsglied		
	Termin	***Festuca* Untersaat**	***Lolium* Untersaat**	**Ohne Untersaat**
Mittlerer Gesamtdeckungsgrad	`nach Ernte´	47 (12,82)	45 (16,15)	20 (9,95)
	`vor Pflug´	50 (11,89)	60 (18,47)	25 (11,21)
Mittlerer Deckungsgrad Unkrautvegetation	`nach Ernte´	17 (8,18)	12 (6,76)	20 (9,95)
	`vor Pflug´	16 (6,84)	12 (7,94)	25 (11,21)
Mittlerer Deckungsgrad Untersaaten	`nach Ernte´	30 (13,21)	33 (17,04)	-
	`vor Pflug´	34 (12,56)	48 (21,48)	-

In der Auswertung wurde zudem der Einfluss der Untersaaten auf die Unkrautdichte und die vorhandenen Leitunkräuter überprüft. Bei den Unkrauterhebungen zu den Terminen `nach Ernte´ und `vor Pflug´ wurden insgesamt 16 unterschiedliche Unkrautarten an den neun Standorten gezählt. Von diesen 16 Unkrautarten waren nur *P. annua* und *S. media* auf allen neun Versuchsflächen vertreten.

Das Versuchsglied `ohne Untersaat´ wies zum Termin `nach Ernte´ die höchste Unkrautdichte auf. Im Versuchsglied der `*Lolium* Untersaat´ war dieser Wert am geringsten (Tab. 3). Bis zum Termin `vor Pflug´ verringerte sich die Unkrautdichte im Versuchsglied `*Festuca* Untersaat´ und `*Lolium* Untersaat´. Im Versuchsglied `ohne Untersaat´ stieg die Unkrautdichte hingegen leicht an.

Tab. 3 Gesamtunkrautdichte (geometrisches Mittel) zu den Terminen der Unkrauterfassung `nach Ernte´ und `vor Pflug´, getrennt nach Versuchsgliedern.

Tab. 3 *Weed density (geometric median) at the time of weed assessments `nach Ernte´ and `vor Pflug´ for the treatments.*

		Versuchsglied		
	Termin	***Festuca* Untersaat**	***Lolium* Untersaat**	**Ohne Untersaat**
Unkrautdichte	`nach Ernte´	93,29 a*	58,82 b*	116,46 c*
	`vor Pflug´	88,76 a*	52,90 b*	119,56 c*

*Kruskal-Wallis-Test, α = 0,05, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern zum jeweiligen Termin

Der Einfluss der Versuchsglieder auf die beiden Leitunkräuter war unterschiedlich hoch. Die höchsten Dichten traten im Versuchsglied `ohne Untersaat´ auf, die niedrigsten im Versuchsglied `*Lolium* Untersaat´ (Abb. 1). Ein Vergleich der Stichproben zu den jeweiligen Terminen mit dem Kruskal-Wallis Test zeigte, dass zwischen den Versuchsgliedern signifikante Unterschiede in der Dichte bestanden. Die Dichte von *P. annua* stieg zwischen den Erhebungen `nach Ernte´ und `vor Pflug´ in allen drei Versuchsgliedern an.

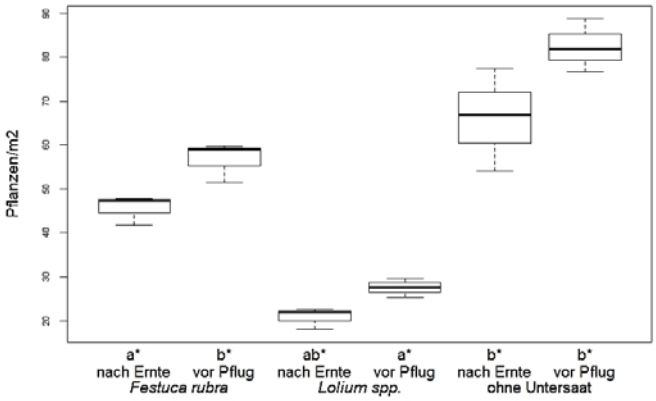


Abb. 1 Dichte von *P. annua* zu den Terminen der Unkrauterfassung `nach Ernte´ und `vor Pflug´, getrennt nach Versuchsgliedern, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern zu den Terminen (Kruskal-Wallis-Test, α = 0,05).

Fig. 1 *Density of P. annua at the time of weed assessments `nach Ernte´ and `vor Pflug´ for the treatments, different letters indicate significant differences between treatments at the time of assessment (Kruskal-Wallis-Test, α = 0.05).*

Bei *S. media* stiegen die Dichten zwischen den Bonituren `nach Ernte´ und `vor Pflug´ nur in den Versuchsgliedern `*Festuca* Untersaat´ und `ohne Untersaat´ an. Für das Versuchsglied `*Lolium* Untersaat´ wurde hingegen in diesem Zeitraum eine Abnahme der Dichte festgestellt (Abb. 2). Auch für diese Unkrautart bestanden zum Termin `vor Pflug´ signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern.

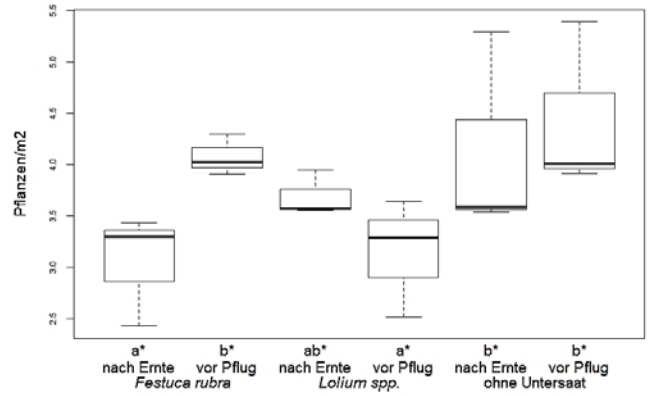


Abb. 2 Dichte von *S. media* zu den Terminen der Unkrauterfassung `nach Ernte´ und `vor Pflug´ für die Versuchsglieder, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern zu den Terminen (Kruskal-Wallis-Test, α = 0,05).

Fig. 2 *Density of S. media at the time of weed assessments `nach Ernte´ and `vor Pflug´ for the treatments, different letters indicate significant differences between treatments at the time of assessment (Kruskal-Wallis-Test, α = 0.05).*

Für eine Beurteilung des Einflusses der Versuchsglieder auf die Leitunkräuter wurde zudem deren Anteil am Unkrautdeckungsgrad betrachtet. Der Anteil von *P. annua* am Unkrautdeckungsgrad stieg zwischen den Terminen der Unkrauterfassung `nach Ernte´ und `vor Pflug´ in allen Versuchsgliedern an (Tab. 4). Tendenziell war die Zunahme im Versuchsglied `ohne Untersaat´ mit ca. 22 % höher, als in den Versuchsgliedern mit Untersaaten. Dort nahm der Anteil von *P. annua* am Unkrautdeckungsgrad um ca. 10 % bzw. 13 % zu.

Tab. 4 Mittlerer Anteil von *P. annua* und *S. media* am Unkrautdeckungsgrad (%) (in Klammern Standardabweichung) zu den Terminen der Unkrauterfassung `nach Ernte´ und `vor Pflug´, getrennt nach Versuchsgliedern.

Tab. 4 *Mean proportion of P. annua and S. media on the weed cover (%) (standard deviation in brackets) at the time of the weed assessments `nach Ernte´ and `vor Pflug´ for the treatments.*

			Versuchsglied	
Species	**Termin**	***Festuca* Untersaat**	***Lolium* Untersaat**	**Ohne Untersaat**
Poa annua	`nach Ernte´	62,51 (24,66)	56,56 (21,87)	53,59 (29,15)
	`vor Pflug´	72,09 (19,93)	69,39 (30,69)	75,86 (22,19)
Stellaria media	`nach Ernte´	16,91 (6,82)	20,75 (6,86)	17,54 (7,38)
	`vor Pflug´	17,96 (5,12)	15,49 (4,89)	16,71 (5,89)

Ein etwas anderes Bild ergab sich für *S. media*. Der Anteil dieses Unkrautes am Unkrautdeckungsgrad nahm zwischen den Terminen `nach Ernte´ und `vor Pflug´ im Versuchsglied der `*Lolium* Untersaat´ um ca. 5 % ab. Bei den Versuchsgliedern `*Festuca* Untersaat´ und `ohne Untersaat´ blieb der Anteil am Unkrautdeckungsgrad über die Wintermonate hingegen nahezu unverändert.

Diskussion

Ergebnisse zum Zwischenfruchtanbau nach Mais zeigen, dass ein rascher Flächenschluss für die Unkrautunterdrückung von hoher Bedeutung ist (Dorn et al., 2015). Dies bestätigte sich auch für den Anbau mit Untersaaten. Mit beiden getesteten Untersaaten wurde eine Zunahme des Unkrautdeckungsgrades in den Wintermonaten verhindert.

Die *Lolium* Untersaat erreichte zum Termin `vor Pflug´ den höchsten Deckungsgrad und den geringsten Unkrautdeckungsgrad. Vergleichbare Ergebnisse wurden bei einer Verwendung der beiden Grasarten im Zwischenfruchtanbau erzielt (Nelson et al., 1991). Auch dort wurden zum Ende des Winters höhere Deckungsgrade mit der Aussaat von *Lolium* spp. erreicht. Der frühe Aussaatzeitpunkt von *Festuca rubra* blieb ohne positive Auswirkung auf den Deckungsgrad der Untersaat im Winter.

Im ökologischen Landbau wurde gezeigt, dass eine flächendeckende Begrünung mit Untersaaten die Unkrautvegetation beeinflusst. Die Auswirkung auf die einzelnen Unkrautarten war jedoch unterschiedlich hoch (Cutti et al., 2016; Fischer und Böhm, 2016). Die Ergebnisse dieses Versuches belegen, dass dies auch für den integrierten Maisanbau gilt.

Die Dichten von *P. annua* stiegen in allen Versuchsgliedern über die Wintermonate an. Die drei Versuchsglieder führten jedoch zu einer signifikanten Differenzierung der Dichten. Die geringste Dichte wurde im Versuchsglied `*Lolium* Untersaat´ erzielt. Im Versuchsglied `*Festuca* Untersaat´ profitierte *P. annua* von einem Verzicht auf den Einsatz von Herbiziden gegen einkeimblättrige Unkräuter. Im Versuchsglied `ohne Untersaat´ war in den Wintermonaten keine konkurrierende Untersaat vorhanden. Nur im Versuchsglied `*Lolium* Untersaat´ wurden während und nach der Maiskultur Maßnahmen zur Reduktion der Dichte von *P. annua* durchgeführt. In den beiden anderen Versuchsgliedern gab es hingegen lange Zeiträume ohne Herbizide gegen *P. annua*.

Die `*Lolium* Untersaat´ reduzierte die Dichte von *S. media* zwischen den Terminen `nach Ernte´ und `vor Pflug´. In den Versuchsgliedern `ohne Untersaat´ und `*Festuca* Untersaat´ führte eine fehlende Untersaat bzw. ein zu geringer Deckungsgrad der Untersaat in den Wintermonaten zum Anstieg der Dichte. Dieser direkte Zusammenhang zwischen der gebildeten Biomasse und der

Unkrautunterdrückung wurde bereits im ökologischen Anbau für eine Untersaat mit Wicken festgestellt (CAMPIGLIA et al., 2015).

Die Ergebnisse zu den Leitunkrautarten zeigen, dass zur Vermeidung einer Selektion einzelner Unkrautarten der gesamte Zeitraum der Bewirtschaftung betrachtet werden muss. Im Beispiel Maisanbau mit Grasuntersaat kann weder auf eine Unkrautbekämpfung in der Kultur verzichtet werden, noch auf eine Untersaat, die sich im Anschluss an die Ernte schnell entwickelt und die Flächen bedeckt. Entstehen Lücken in diesem Zeitraum, so kommt es zur Ausbreitung einzelner Unkrautarten.

Untersaaten stellen im mehrjährigen Maisanbau eine Alternative zum Zwischenfruchtanbau dar. Wurden Untersaaten bislang im konventionellen Maisanbau vorrangig zur Vermeidung von Nährstoffverlusten oder dem Schutz vor Winderosion angebaut, zeigen die Ergebnisse dieses Versuches, das mit Untersaaten auch ein wichtiger Beitrag zur Beeinflussung der Unkrautvegetation geleistet werden kann. Die Verwendung von *Lolium* spp. Gräsern als Untersaat ermöglicht dabei während des Maisanbaues noch den Einsatz von Herbiziden gegen ein- und zweijährige Unkräuter. Entscheidend für eine erfolgreiche Unkrautunterdrückung ist die Kombination aus geeigneter Unkrautbekämpfung und hohem Deckungsgrad der Untersaat im Laufe des Winters.

Literatur

AUFHAMMER, W., E. KÜBLER, 1997: Einfluss von Reihenweite und Untersaat auf den Silomaisertrag und den Nmin-Gehalt im Boden nach der Ernte. Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment **48** (3), 151–158.

BRUST, J., R. GERHARDS, T. KARANISA, L. RUFF, A. KIPP, 2011: Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen. Gesunde Pflanzen **63** (4), 191–198.

CAMPIGLIA, E., E. RADICETTI, R. MANCINELLI, 2015: Cover crops and mulches influence weed management and weed flora composition in strip-tilled tomato (Solanum lycopersicum). Weed Research **55** (4), 416–425.

CUTTI, L., F.P. LAMEGO, A.C.M. DE AGUIAR, T.E. KASPARY, C.A.G. RIGON, 2016: Winter cover crops on weed infestation and maize yield. Revista Caatinga **29** (4), 885–891.

DORN, B., W. JOSSI, M. VAN DER HEIJDEN, 2015: Weed suppression by cover crops: comparative on-farm experiments under integrated and organic conservation tillage. Weed Research **55** (6), 586–597.

FISCHER, J., H. BÖHM, 2016: Reduktion des Unkrautdruckes durch die Etablierung von Untersaaten in Mais- Bohnen-Gemengen. Julius Kühn-Archiv **452**, 134.

HARTWIG, N.L., H.U. AMMON, 2002: Cover crops and living mulches. Weed Science **50** (6), 688–699.

HEYLAND, K.-U., H. MERKELBACH, 1985: Die Möglichkeiten des Einsatzes von Untersaaten zur Unkrautunterdrückung sowie Konkurrenzwirkungen von Unkraut und Untersaat auf die Ertragsbildung des Winterweizens. Die Bodenkultur **36** (4), 347–359.

NELSON, W.A., B.A. KAHN, B.W. ROBERTS, 1991: Screening Cover Crops for Use in Conservation Tillage Systems for Vegetables Following Spring Plowing. HORTSCIENCE **26** (7), 860–862.

THE R FOUNDATION, 2019: The R Project for Statistical Computing, URL: https://www.r-project.org/.

WIENBERG, J., H. PANNWITT, R. BÜNTE, B. GEROWITT (Hrsg.), 2018: Auswirkung von Grasuntersaaten auf die Unkrautvegetation im Silomais - Eine Einführung in die Untersuchungen.

Strategien zur Unkrautregulierung in Mais in wassersensiblen Gebieten

Strategies for weed control in maize in water sensitive areas

Josef Kuhlmann[1*], Lisa Köhler[2], Goßswinth Warnecke-Busch[2], Dirk Michael Wolber[2], Tobias Jöring[1]

[1] Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Oldenburg-Süd, Löninger Straße 68, 49661 Cloppenburg

[2] Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Wunstorfer Landstraße 9, 30453 Hannover

[*]Korrespondierender Autor, josef.kuhlmann@lwk-niedersachsen.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.071

Zusammenfassung

Dargestellt werden seit 2014 vom Pflanzenschutzdienst Niedersachsen durchgeführten Gemeinschaftsversuche zur Unkrautbekämpfung unter besonderer Berücksichtigung von Wasserschutzaspekten. Herbizid-Wirkstoffe, deren Metabolite vermehrt in Grundwasser-Gütemessnetzen in Niedersachsen gefunden wurden (Chloracetamide, v.a. S-Metolachlor) standen dabei im Mittelpunkt der Untersuchungen. Es zeigte sich, dass bezüglich S-Metolachlor gleichwertige bodenwirksame Alternativwirkstoffe zur Verfügung stehen. Gleichwohl wird die Frage diskutiert, ob durch ein gezieltes Wirkstoffmanagement (Rotation) die Austragsgefahr für die o.a. Wirkstoffgruppe minimiert werden kann. Ziel dabei ist, eine möglichst breite Wirkstoffpalette mit Bodenherbiziden im Maisanbau zu erhalten, um dadurch zum einen einer Resistenzbildung vorzubeugen und zum anderen einer `Übernutzung` verbleibender Wirkstoffe entgegen zu wirken. Letzteres könnte dann ebenfalls zu einer stärkeren Grundwassergefährdung führen. In einem ergänzenden Versuchsprojekt in 2017 konnten Erkenntnisse zur Wirksamkeit und Umsetzbarkeit mechanischer und kombinierter Verfahren der Unkrautbekämpfung gesammelt werden. Dabei zeigte sich, dass rein mechanische Maßnahmen mit einem hohen Risiko von Ertragsverlusten verbunden sind, hauptsächlich dann, wenn die Unkrautkonkurrenz in der Maisreihe nicht ausreichend ausgeschaltet werden kann. Höhere Wirkungssicherheit bei geringeren Kosten wurde durch die Kombination aus breitflächiger Vorlage eines blattaktiven Herbizids und anschließendem Hackeinsatz erzielt. Mögliche Strategien der Unkrautbekämpfung insbesondere in Wasserschutzgebeiten werden diskutiert.

Stichwörter: Chloracetamide, mechanische Unkrautbekämpfung, Metabolite, Wasserschutz, Wirkstoffmanagement

Abstract

Since 2014, the Crop Protection Service Niedersachsen has carried out joint experiments on weed control with special consideration of water protection aspects. The focus of the investigations was the handling of herbicidal active substances whose metabolites were increasingly found in groundwater quality measurement networks in Lower Saxony (chloroacetamides, especially S-metolachlor). It was found that s-metolachlor has equivalent soil active ingredients. Nonetheless, the question is being discussed whether a targeted active ingredient management (rotation) can reduce the risk of discharge for the active ingredient. The aim ist o obtain the widest possible range of active ingredients with soil herbicides in maize cultivation, thereby preventing the formation of resistance on the one hand, and counteracting an overuse of remaining active ingredients on the other hand. The latter could then also lead to a stronger groundwater hazard. An additional experimental project in 2017 provided insights into the effectiveness and practicability of mechanical and combined weed control methods. It showed that purely mechanical measures are associated with a high risk of yield losses, especially if the weed competition in the corn line cannot be sufficiently eliminated. Greater efficacy at lower cost was achieved through the combination of broad leafy herbicide presentation and subsequent hacking. Possible strategies for weed control, especially in water conservation areas, are discussed.

Keywords: Chloroacetamides, management of active ingredients, mechanical weed control, metabolites, water protection

Einleitung

Im Maisanbau ist eine wirksame und verträgliche Unkrautregulierung gerade in der Jugendentwicklung von großer Bedeutung für die Ertragsbildung. Dabei spielen bodenwirksame Herbizide aus der Gruppe der Chloracetamide eine wichtige Rolle (KUHLMANN, 2014).

Im Gütemessnetz einiger Wasserversorgungsunternehmen bereiten Funde von Metaboliten des Wirkstoffs S-Metolachlor zunehmend Probleme. Dieser Wirkstoff ist seit 1976 in Deutschland zugelassen und seitdem bei zunehmender Maisanbaufläche mit hoher Anwendungsfrequenz und –häufigkeit eingesetzt worden. In einigen Wasserschutzgebieten, die hohe Fundhäufigkeiten – z.T. oberhalb der gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) – aufwiesen, ist der Wirkstoff durch das BVL mit der Verbotsauflage NW 301 belegt worden.

Vor dem Hintergrund dieser Befunde stellte sich schon früh die Frage nach alternativen Behandlungskonzepten. Aufgrund der hohen Maisanbaufläche von ca. 600.000 ha in Niedersachsen hat sich der dort ansässige Pflanzenschutzdienst in mehrjährigen Versuchsreihen dieser sehr relevanten Frage gewidmet. Dabei wurde nicht nur der Ersatz von S-Metolachlor sondern aller Chloracetamide und zusätzlich auch von dem Triazin Terbuthylazin in den Fokus genommen. Seit einigen Jahren ergänzen mechanische und mechanisch-chemisch kombinierte Varianten der Unkrautbekämpfung das Versuchsprogramm. Die gewonnenen Erkenntnisse münden in gezielten Beratungsempfehlungen zum Wirkstoffmanagement und in Vereinbarungen landwirtschaftlicher Betriebe mit Wasserversorgern zur Reduktion bzw. zu einem kompletten Verzicht auf diesen Wirkstoff bzw. diese Wirkstoffgruppe. Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung verschiedener in Mais eingesetzter Packs. Dabei wird in jedem Fall ein Chloracetamid eingesetzt.

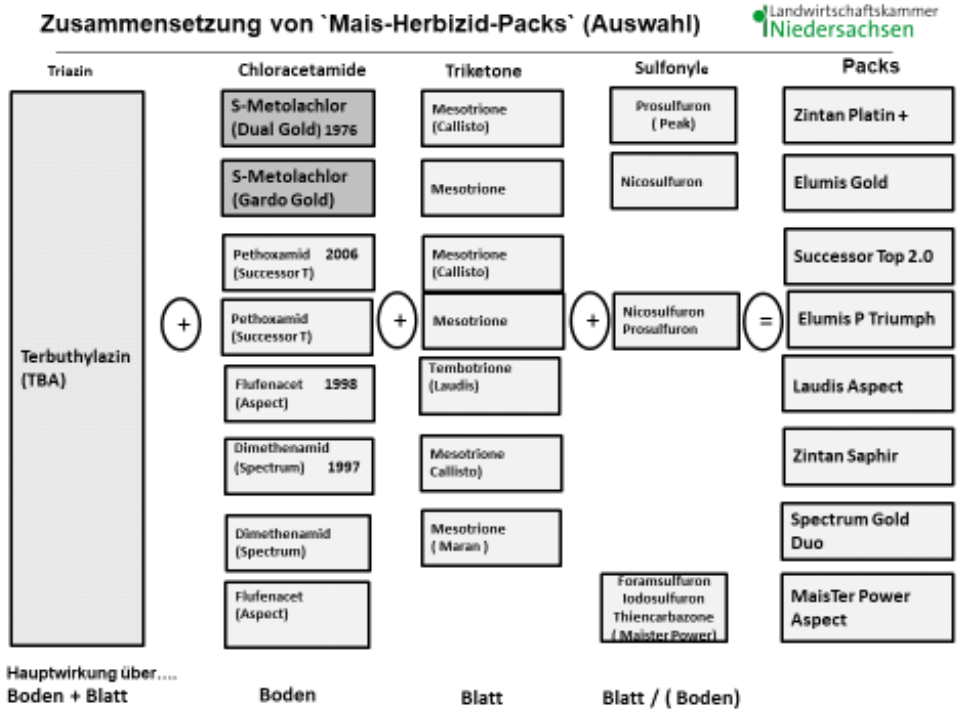


Abb. 1 Zusammensetzung von Mais-Herbizid-Packs.

Fig. 1 *Compounds of herbicide packages in maize.*

Material und Methoden

In den Jahren 2014 bis 2019 wurden zu der hier dargestellten Thematik insgesamt 39 Exaktversuche auf Praxisflächen in Niedersachsen in so genannten Gemeinschaftsprogrammen angelegt. Beteiligt waren die Fachgruppen Pflanze der Bezirksstellen der Landwirtschaftskammer und das Sachgebiet Herbologie des Pflanzenschutzamtes, sowie der Fachbereich Versuchswesen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Die Versuchsanlage in vierfacher Wiederholung, die

Bonituren und die Art der Versuchsauswertung entsprachen den EPPO (EPPO, 1993) – und GLP-Standards.

Ergebnisse

Gemeinschaftsprogramme mit verschiedenen Herbizidstrategien

In den Versuchsserien seit 2014 wurden in Niedersachsen verschiedene Strategien zur chemischen Unkrautregulierung in Mais miteinander verglichen, wobei der Ersatz von S-Metolachlor einen Schwerpunkt bildete. Auf den Praxis-Versuchsflächen dominierten typische sommerannuelle Unkrautarten: Gemeine Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*), Grüne Borstenhirse (*Setaria viridis*), Quirl-Borstenhirse (*Setaria verticiliata*), Einjährige Rispe (*Poa annua*), Fingerhirse-Arten (*Digitaria ssp.*), Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*), Schwarzer Nachtschatten (*Solanum nigrum*), Vogel-Sternmiere (*Stellaria media*), Windenknöterich (*Polygonum convolvulus*), Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*), Kamillearten (*Matricaria* ssp.) u. a..

Unter Beteiligung von bodenwirksamen Chloracetamid-Herbiziden unterschieden sich Doppelanwendungen von Einfachanwendungen im Durchschnitt der Jahre nur unwesentlich. In den Jahren mit Vorsommertrockenheit deutete sich ein Wirkungsvorteil bei Doppelanwendungen an. In den direkten Vergleichen konnten keine wesentlichen Wirksamkeitsunterschiede zwischen Varianten mit und ohne S-Metolachlor festgestellt werden, wobei sich bzgl. Hühnerhirse bei Einmalapplikationen ein leichter Wirkungsvorteil für S-Metolachlor andeutete. Mit rein blattaktiven Behandlungen ließen sich ebenfalls gute Wirkungsgrade erzielen, allerdings erwies sich hier eine Abstimmung der Wirkstoffwahl auf die am jeweiligen Standort vorhandenen Unkrautarten als besonders wichtig.

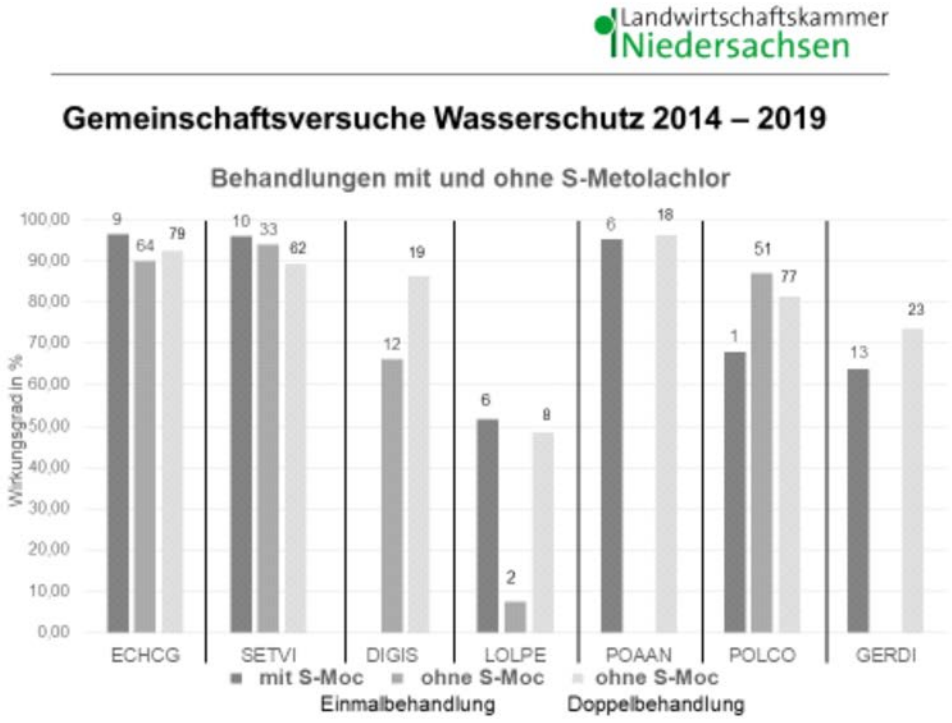


Abb. 2 Wirkung verschiedener Herbizidstrategien auf Unkrautarten.

Fig. 2 *Effect of different herbicide strategies on weed species.*

Projekt 2017: Vergleich mechanischer, chemischer und kombinierter Verfahren zur Unkrautregulierung in Mais

In einem begleitenden Versuchs-Projekt in 2017, finanziert von zwei Wasserversorgern, konnten weitere Ergebnisse zur biologischen Wirksamkeit, praktischen Umsetzbarkeit und ökonomischen Vorzüglichkeit zu o.a. Fragestellung gewonnen werden. Auch hier zeigte sich, dass der Ersatz von S-Metolachlor ohne signifikante Wirkungsverluste auf die vorhandene Unkrautgesellschaft möglich war und der standortspezifische Unkrautdruck über die Mittelwahl und die mechanischen Varianten entscheidet. Rein mechanische Maßnahmen zeigten sehr unterschiedliche Erfolge aufgrund unterschiedlicher Unkrautdichten auf den beiden Versuchsstandorten. Als die größte Schwierigkeit stellte sich dabei heraus, den Unkrautbesatz in der Maisreihe mit den Hackgeräten zu erfassen. Die von dort ausgehende Unkrautkonkurrenz wirkte sich auch deutlich ertraglich negativ aus. Mit ganzflächig chemischen Maßnahmen konnten die höchsten Wirkungsgrade erzielt werden. Vergleichbar gute Ergebnisse hinsichtlich Wirkungsgrad und Ertrag zeigten sich in der Kombination aus der Vorlage eines blattaktiven (Chloracetamid-freien) und nachfolgender Hackmaßnahme. Ein Striegeleinsatz kurz nach dem Auflaufen des Maises brachte bei trockenen Bodenverhältnissen eine deutliche Reduzierung des Unkrautdeckungsgrades (ganzflächig), was den Zeitpunkt von Folgemaßnahmen beeinflusst. Ökonomisch betrachtet waren die durchgeführten mechanischen Maßnahmen arbeits-, zeit- und kostenaufwändiger. Ebenfalls stand witterungsbedingt und von der Unkrautentwicklung her ein kleineres Zeitfenster zur Verfügung, bei gleichzeitig geringerer Flächenleistung.

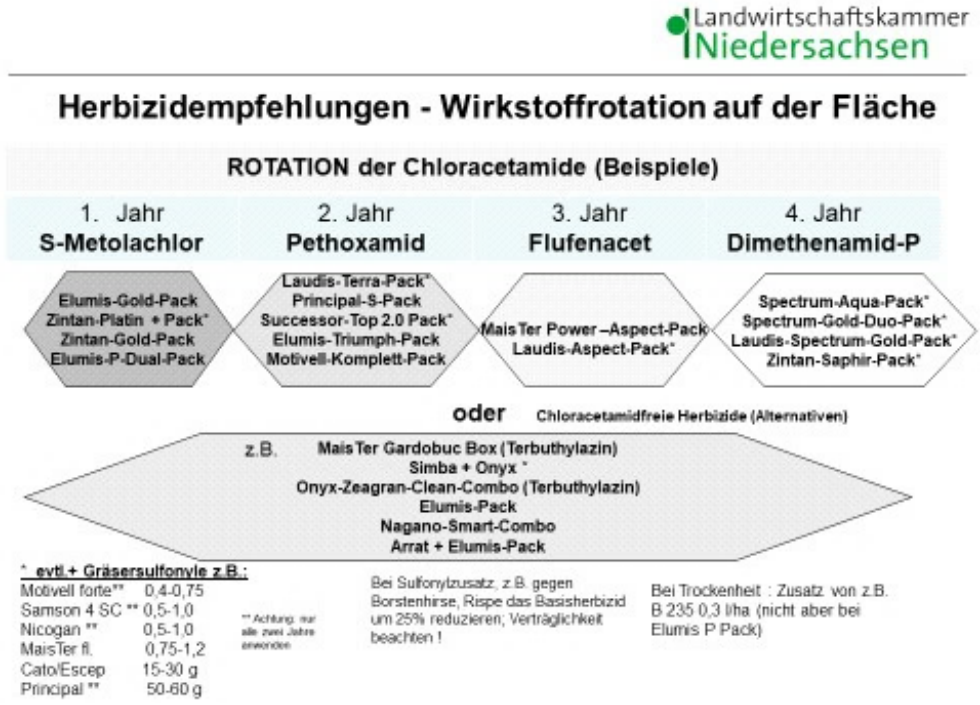


Abb. 3 Wirkstoffrotation als Lösungsansatz.

Fig. 3 *Rotation of active ingredients as a method of solution.*

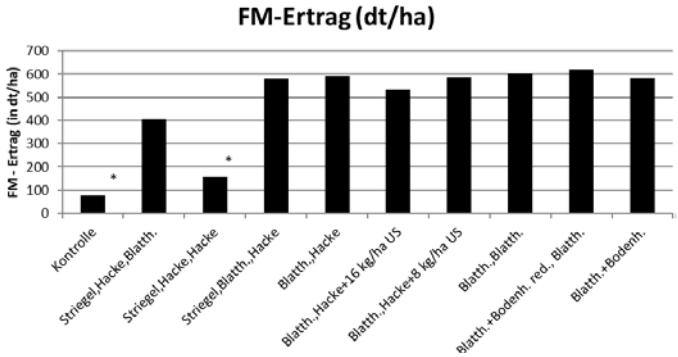


Abb. 4 Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen zur Unkrautkontrolle auf den Ertrag von Mais auf dem Sandstandort Ahausen-Sitter in 2017.

Fig. 4 *Influences of different measures of weed control on the yield of corn on the sandy site Ahausen-Sitter in 2017.*

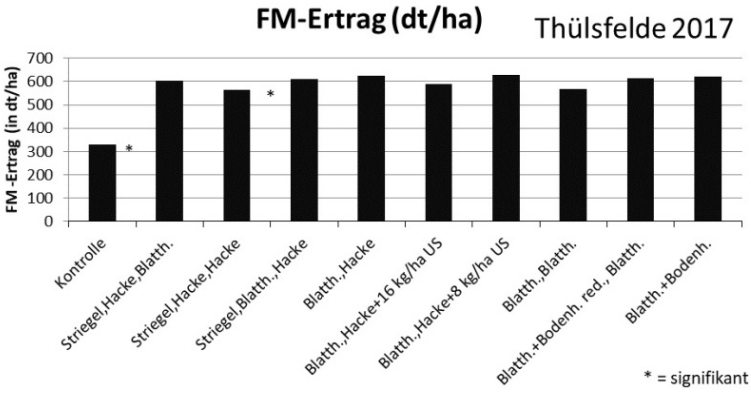


Abb. 5 Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen zur Unkrautkontrolle auf den Ertrag von Mais auf dem Sandstandort Thülsfelde in 2017.

Fig. 5 *Influences of different measures of weed control on the yield of corn on the sandy site Thülsfelde in 2017.*

Diskussion

Hintergrund der hier vorgestellten Untersuchungen zur Unkrautregulierung in Mais sind zunehmende Funde von Wirkstoffen und deren Metaboliten in Grundwasserkörpern. Insbesondere bei Metaboliten werden die seitens der Zulassungsbehörden festgesetzten Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) z. T. überschritten. Dies betrifft besonders den Wirkstoff S-Metolachlor, der seit 1976 im Maisanbau in Deutschland zugelassen ist und seitdem jährlich mit großer Häufigkeit eingesetzt wurde. Die starke Zunahme des Maisanbaus im Zusammenhang mit der Förderung regenerativer Energie (EEG) hat die Anwendungsfrequenz sicher weiter erhöht. Durch die hier vorgestellte Versuchsserie kann der Schluss gezogen werden, dass gleichwertige Wirkstoffe zur Verfügung stehen und somit auf diesen `übernutzten`Wirkstoff (SCHULTE und KRENNWALLNER, 2020) ganz verzichtet werden könnte. Auch wenn dieses mit ja beantwortet werden kann, stellt sich trotzdem die Frage, ob es langfristig nicht der bessere Weg ist, mit einem gezielten Wirkstoffmanagement eine möglichst breite Wirkstoffpalette im Maisanbau zu erhalten.

Damit läuft man weniger Gefahr, Resistenzen zu fördern und den Anwendungsdruck auf die Alternativwirkstoffe so zu erhöhen, dass von dort dann eine neue Belastungssituation für das Grundwasser erzeugt wird. Eine Lösung sehen wir dabei in einer gezielten Wirkstoffrotation der Chloracetamide, die sich im Idealfall sogar über eine Fruchtfolge hinweg zieht (WOLBER, 2019). Ebenfalls könnte sich problemmindernd auswirken, wenn bewusst auf diese bodenwirksame

Wirkstoffgruppe verzichtet wird, um dann in Behandlungsfolgen mit blattaktiven Produkten einzusteigen. Dazu stünden dann vorrangig ALS- und HPPD-Inhibitoren (Triketone) zur Verfügung. Auch hier bliebe dann die erhöhte Gefahr der Resistenzbildung zu bedenken, insbesondere bei ALS-Hemmern, wo in neueren Erhebungen deutliche erste Anzeichen für eine zunehmende Resistenz bestehen (ZWERGER et al., 2017). Hinsichtlich der biologischen Wirksamkeit unterschied sich diese Strategie in den vorliegenden Untersuchungen allerdings nicht von derjenigen mit Chloracetamid-Herbiziden. In Verbindung mit der Ausbringung von Untersaaten bleibt zu bedenken, dass aus Verträglichkeitsgründen der Schwerpunkt der Mittelwahl per se auf blattaktiven Wirkstoffen liegen muss.

Auch im Rahmen eines gesetzlich geforderten „Integrierten Pflanzenschutzes" rückt die Frage, inwieweit mechanische Verfahren der Unkrautregulierung die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln reduzieren können, immer mehr in den Fokus (WARNECKE-BUSCH und MÜCKE, 2020). Dazu konnten in begleitenden Versuchen mit Ertragserhebungen auf zwei nordwestdeutschen Sandstandorten im Jahr 2017 weitere Erkenntnisse gesammelt werden. Beide Standorte unterschieden sich erheblich in der Unkrautdichte. So konnten auf einem Standort sowohl hinsichtlich Wirksamkeit als auch Ertrag gleichwertige Ergebnisse zwischen mechanischer und chemischer Unkrautbekämpfung erzielt werden. Auf dem Standort mit höherem Unkrautdruck fielen die Erträge in der rein mechanischen Variante auf ein Viertel des Ertrages der Herbstvarianten. Die Kombination aus der Vorlage eines blattaktiven Herbizids und anschließender Hackmaßnahme brachte auf diesem Standort ebenfalls hohe ausreichende Wirkungsgrade und konnte auch ertraglich konkurrieren. Somit belegen diese Versuche, dass unter den gegebenen ökonomischen Rahmenbedingungen im konventionellen Landbau ein völliger Ersatz der Herbizidanwendung durch mechanische Maßnahmen als nicht realistisch erscheint. Begrenzende Faktoren sind dabei v.a. geringere Flächenleistung, höhere Witterungsabhängigkeit, geringere Wirkungsgrade v.a. in der Maisreihe und erhöhter Zeit- und Kraftstoffbedarf durch mehrmalige Durchfahrten. Besonders in Wasserschutzgebieten mit evtl. zusätzlicher oder maschineller Unterstützung könnten kombinierte Verfahren unter Verzicht auf wassersensible Wirkstoffe und evtl. zusätzlicher Ausbringung von Untersaaten einen deutlich höheren Stellenwert in Zukunft erlangen.

Literatur

EPPO, 1993: EPPO-Rictlinie PP1/93(3). Weeds in cereals.

KUHLMANN, J., 2019: Ins Grundwasser darf nichts kommen. DLG-Mitteilungen, **4**/2019, 42-45.

SCHULTE, M. , P. KRENNWALLNER, 2020: Nachhaltige Unkrautbekämpfung in Mais zur Resistenzvorbeugung und zum Erhalt von Bekämpfungsalternativen. Mais, 1/2020.

WARNECKE-BUSCH, G., M. MÜCKE, 2020: Systeme zur mechanischen und mechanisch-chemischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris)* – Versuche in Niedersachsen. Julius-Kühn-Archiv, in diesem Band.

WOLBER, D., 2019: Welche Strategie zur Unkrautbekämpfung im Mais 2019? Mais **2**, 71-79.

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. MEINDLSCHMIDT, H. NORDMEYER, J. PETERSEN, H. RAFFEL, A. SCHÖNHAMMER, L. ULBER, D. M. WOLBER, 2017: Integriertes Unkrautmanagement zur Vermeidung von Herbizidresistenz. Journal für Kulturpflanzen **69**, 146-149.

Sektion 9: Resistenzanalyse
Session 9: Resistance analysis

Methoden zur Untersuchung der Allelfrequenzen und-verteilung im Acetolactat-Synthase (ALS)-Gen bei Target-Site-Resistenzen in *Echinochloa crus-galli*

Methods for investigating allele frequencies and distribution in the acetolactate-synthase (ALS) gene in target-site-resistant Echinochloa crus-galli

Fabian Runge[1*], Sven Keil[1], Anja Löbmann[2], Jan Petersen[2], Frank Brändle[1]

[1]IDENTXX GmbH, Maybachstr. 50, 70469 Stuttgart
[2]Technische Hochschule Bingen, Berlinstr. 109, 55411 Bingen
*Korrespondierender Autor, Fabian.Runge@identxx.com

DOI 10.5073/jka.2020.464.072

Zusammenfassung

Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) gewinnt als Ungras im Maisanbau zunehmend an Bedeutung. Einseitiger Einsatz von ALS-Inhibitoren erzeugt einen Selektionsdruck, der zu vermehrtem Auftreten von Resistenzen führt. Häufig handelt es sich um Target-Site-Resistenzen (TSR) mit Punktmutationen an den Positionen Ala-122, Pro-197 oder Trp-574 des ALS-Gens. Dieses liegt in der hexaploiden Hühnerhirse in drei homologen Varianten vor. Gängige PCR-Verfahren ermöglichen nur eine gemeinsame Analyse aller Genvarianten, wodurch ein großer Teil des Informationsgehalts verloren geht. Für eine fundierte Aussage müssen die Genvarianten getrennt analysiert werden. Ein methodischer Ansatz war die allel-spezifische PCR. Hierfür wurden DNA-Polymorphismen zwischen den drei ALS-Genvarianten genutzt, um diese separat bei Position 574 hochspezifisch zu amplifizieren und zu sequenzieren. Die schwierige Struktur und geringe Polymorphismen verhinderten den Einsatz der allel-spezifischen PCR an den Positionen 122 und 197. Hier wurden die drei Genvarianten gemeinsam amplifiziert und anschließend in einem mehrstufigen Ansatz mit Restriktionsenzymen spezifisch verdaut. Nach Separation, Aufreinigung und Reamplifikation der Fragmente wurden die einzelnen Genvarianten durch Pyrosequenzierung analysiert. So konnten an Position Ala-122 in allen ALS-Homologen heterozygote Mutationen nachgewiesen werden, bei Pro-197 und Trp-574 dagegen heterozygote bzw. homozygote Mutationen nur bei ALS3. Durch die Etablierung dieser Methoden können nun Resistenzmuster in Populationen von *Echinochloa crus-galli* detaillierter untersucht und wichtige Daten zu deren Ausbreitungsdynamik gewonnen werden.

Stichwörter: Acetolactat-Synthase, allelspezifische PCR, hexaploid, Hühnerhirse, Restriktionsverdau, Target-Site-Resistenz

Abstract

Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) is an important weed in maize. Rising selection pressure due to intensive use of ALS-inhibitors leads to an increase of resistances, of which target site resistances at positions Ala-122, Pro-197 and Trp-574 of ALS gene are a common result. Three homologous variants of this gene are present within the hexaploid barnyardgrass. Standard PCR cannot differentiate between variants, giving a rough overview of mutations, but not the exact location. For well-founded evaluation, the variants must be analyzed separately. One way to do so is allele-specific PCR. Using DNA polymorphisms differing the variants from each other, specific amplification was performed at position 574. Insufficient polymorphisms at positions 122 and 197 called for another approach. A large fragment including all three variants was created and subsequently digested repeatedly to get specific segments for each variant. Segments were separated, cleaned, re-amplified and finally analyzed by pyrosequencing. Thus, it was possible to find heterozygous mutations at position Ala-122 for all ALS homologues. For Pro-197 and Trp-574 mutations (heterozygous as well as homozygous) were found only in variant ALS3. By establishment of the described methods resistance patterns within populations of *Echinochloa crus-galli* can be reviewed more closely, giving better insight to dynamics of spreading.

Keywords: Acetolactate-synthase, allele-specific PCR, barnyardgrass, hexaploid, restriction enzyme, target-site resistance

Einleitung

In den letzten 15 Jahren hat der Maisanbau in Deutschland stark zugenommen. Das bedeutendste Ungras im Maisanbau ist die Gemeine Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*), eine überwiegend selbst-bestäubende Sommerannuelle, die gut an organische Böden angepasst ist. Dies und ihr C4-Stoffwechsel tragen dazu bei, dass sie als erfolgreicher Konkurrent zu den problematischsten Ungräsern im Maisanbau gehört. Hauptsächlich wird die Hühnerhirse mit ALS-Hemmern bekämpft. Die Acetolactat-Synthase (ALS) ist das erste Enzym im Syntheseweg bei der Bildung der verzweigten essentiellen Aminosäuren Valin, Leucin und Isoleucin (Duggleby et al., 2008). Wird dieser Syntheseweg blockiert, stirbt die Pflanze. Seit den frühen 1980iger Jahren werden ALS-Hemmer aufgrund ihres breiten Wirkspektrums intensiv genutzt. Diese scheinen jedoch auch am anfälligsten für Resistenzselektion zu sein. Dies hat weltweit zur Evolution vieler resistenter Unkrautpopulationen geführt. Inzwischen haben sich ALS-Hemmer-resistente Biotypen in 162 Unkrautarten entwickelt (Heap, 2019). In vielen Fällen ist die Resistenz Zielort-basiert (Target-Site-Resistenz, TSR), beruhend auf einer Aminosäuresubstitution in einer konservierten Region des ALS-Hemmer Ziel-Enzyms. Diese Substitution ist die Folge einer Punktmutation im ALS-Gen. In den letzten drei Jahrzehnten wurden 29 Resistenz verursachende Aminosäuresubstitutionen an acht Positionen des ALS-Gens in 64 Unkrautarten nachgewiesen (Tranel et al., 2019). Bei der Hühnerhirse wurden seit dem Jahr 2000 Resistenzen gegenüber ALS-Hemmern in einigen europäischen Ländern registriert. 2012 wurde der erste Fall einer ALS-Hemmer-toleranten Hühnerhirse in Deutschland gemeldet (Heap, 2019). Mutationen die Target-Site-Resistenzen bei *E. crus-galli* vermitteln, konnten an den Aminosäurepositionen (als Referenz der Nummerierung gilt die Acetolactat-Synthase von *Arabidopsis thaliana*) Ala-122 und Trp-574 (Riar et al., 2013) sowie Position Pro-197 (Délye et al., 2015a) identifiziert werden. Resistenzen gegen verschiedene ALS-Hemmer können mit der Position der Mutation bei TSR variieren (Yu und Powles, 2014). Aber auch die Art der Mutation und der Zygotie-Level der Mutation wirkt sich unterschiedlich auf die Resistenz aus (Matzenbacher et al., 2014).

Die genetische Basis der Resistenz einer Spezies gegenüber einem Herbizid zu verstehen, ist essentiell für die Entwicklung diagnostischer Marker, für das Verständnis der Konsequenzen der Mutation auf die Fitness der resistenten Pflanzen und generell für das Verständnis, wie Herbizidresistenz-Evolution funktioniert. (Martin et al., 2019)

Um ein angepasstes Unkraut-Management betreiben zu können, ist es somit unabdingbar zu wissen, welche Art der Resistenz vorliegt und wie die Dynamik der Resistenzausbreitung ist. Hierzu sind Monitoring-Programme nützlich, die größere Stichprobenmengen routinemäßig erfassen. Bei diploiden Spezies ist dies relativ einfach mit klassischen molekulargenetischen Methoden zu bewerkstelligen. Polyploide Spezies hingegen können verschiedene Genkopien und/oder verschiedene Allele eines Gens beherbergen, die verschiedene Nukleotidsequenzen besitzen. Daher sind vergleichbare Analysen komplexer und kostenintensiver. Es wird geschätzt, dass 30 % - 70 % der Pflanzenarten polyploiden Ursprungs sind (Masterson, 1994; Yu et al., 2013). Aber erst im letzten Jahrzehnt hat Target-Site-Resistenz im ALS-Gen in polyploiden Arten an Beachtung gewonnen (Scarabel et al., 2010; Yu et al., 2013; Iwakami et al., 2015; Délye et al., 2016). *Echinochloa crus-galli* ist ein hexaploider Organismus, der aus einer Hybridisierung der tetraploiden *Echinochloa oryzicola* mit einem unbekannten diploiden *Echinochloa*-Vorfahren hervorgegangen ist (Guo et al., 2017). Allopolyploidie hat dazu geführt, dass die Hühnerhirse nun drei Genome besitzt, mit insgesamt 6 Allelen, was 2014 mittels Next Generation Sequencing (NGS) bestätigt werden konnte (Déyle et al., 2015a).

Ist die Kenntnis der exakten Sequenz eines individuellen Gens oder Allels von Interesse, dann ist es notwendig, die Genvarianten getrennt voneinander zu betrachten. Dies erreicht man im einfachsten Fall mit Allel-spezifischer PCR. In Fällen wo dies nicht möglich ist, wie im vorliegenden Fall bei Teilen des ALS-Gens der Hühnerhirse, müssen komplexere Methoden angewandt werden. Neben NGS können die individuellen Genvarianten auch durch Klonierung separiert und

anschließend sequenziert werden (DÉLYE et al., 2015b). Beide Methoden sind aber bei großen Probenumfängen nur schwer durchführbar und kaum erschwinglich.

Ziel dieser Studie war es daher, eine zeit- und kosteneffiziente Methode zu entwickeln, mit der im Hochdurchsatz auch für breit angelegte Studien eine Analyse von Gen-Einzelvarianten realisierbar ist.

Material und Methoden

Herkunft der untersuchten Pflanzen

2016 bis 2018 wurden im Gewächshaus der TH Bingen Spritzmittelversuche an *Echinochloa crus-galli* Biotypen aus Deutschland und Österreich mit ALS-Hemmern durchgeführt. Bei zehn Biotypen überlebten einige Individuen die Behandlung. Von diesen wurde jeweils ein Blatt entnommen, luftgetrocknet, und zur molekulargenetischen Analyse in die Labore der IDENTXX GmbH gesandt.

DNA-Extraktion, PCR und TSR-Analyse

Pro Blattprobe wurden 0,5 cm^2 Blattmaterial in je ein Probenröhrchen (Collection microtubes; Qiagen, Hilden) mit zwei Stahlkugeln (Umarex; 4,5 mm) überführt. Anschließend wurden die Proben in einer Schüttelmühle (TissueLyser II; Qiagen, Hilden) homogenisiert. Die DNA-Extraktion erfolgte im KingFisher™ Flex Extraktionsroboter (Thermo Fisher Scientific, Schwerte) unter Verwendung des Chemagic Plant 400 Kits (Perkin Elmer, Rodgau) nach Herstellerangaben (modifiziert von IDENTXX).

Für eine erste Analyse des ALS-Gens (alle Genvarianten gemeinsam) an den Positionen Ala-122, Pro-197 und Trp-574 wurden die Zielregionen durch Endpunkt-PCR vervielfältigt. Die Amplifikation der Ziel-Produkte erfolgte mittels eines Taq-Polymerase-Kits (MangoTaq; Bioline, Luckenwalde) und spezifischen Primern (von IDENTXX entwickelt, Primersequenzen nicht öffentlich zugänglich) in einem Flex Cycler (Analytic Jena, Jena). Die erfolgreiche Amplifikation wurde per Gelelektrophorese auf einem 1,5 %igen Agarose-Gel mittels entsprechender Fotodokumentation überprüft.

Die PCR-Produkte wurden auf SNPs (single nucleotide polymorphism) an den Zielpositionen mittels Pyrosequenzierung untersucht. Hierzu wurden ein PyroMark Q24 Sequenziergerät, entsprechende PyroMark Q24 gold Reagenzien (Qiagen, Hilden), sowie spezifische Sequenzierprimer (von IDENTXX entwickelt, Primersequenzen nicht öffentlich zugänglich) verwendet. Zur Auswertung der Sequenzierergebnisse wurde die PyroMark Q24-Software (v. 2.0.7) verwendet.

Im weiteren Verlauf wurden Proben, bei denen mindestens eine Mutation über alle Genvarianten hinweg nachgewiesen wurde, für eine individuelle Analyse der einzelnen Genvarianten an der polymorphen Position herangezogen. Als Referenzen für die einzelnen Genvarianten dienten die GenBank-Einträge LC006058.1 (ALS1), LC006059.1 (ALS2) und LC006061.1 (ALS3) aus IWAKAMI et al. (2015).

Allel-spezifische PCR und Sanger-Sequenzierung

Aufgrund zahlreicher DNA-Polymorphismen zwischen den drei ALS-Genvarianten in der umgebenden Nukleotidsequenz der Position Trp-574 wurde hier ein Ansatz der Allel-spezifischen PCR gewählt. Je Genvariante wurde ein spezifisches Primerpaar entwickelt. Die reverse-Primer zu den einzelnen Genvarianten wurden so konstruiert, dass die endständige 3'-Base des jeweiligen Primers nur komplementär zu je einer Genvariante war. Zu den anderen beiden Varianten hatte der Primer ein Mismatch. Die Amplifikation der Ziel-Produkte erfolgte mit der SNP Pol DNA-Polymerase (Genaxxon, Ulm), die bei einer Fehlpaarung am 3'-Ende des Primers nicht amplifiziert. Somit wird je Ansatz nur eine einzige Genvariante vervielfältigt (Abb. 1).

Die erfolgreiche Amplifikation wurde durch Gelelektrophorese überprüft und die PCR-Produkte anschließend von einem kommerziellen Sequenzier-Dienstleister (SeqLab, Göttingen) mittels der Sanger-Dideoxy-Methode sequenziert. Die Analyse der Sequenzierergebnisse erfolgte mittels Geneious-Software (v. 9.1.8). Dabei konnten individuell vorhandene (diagnostische) Basen in den

Nukleotidsequenzen der einzelnen Genvarianten als Kontrolle für die hochspezifische Amplifikation verwendet werden.

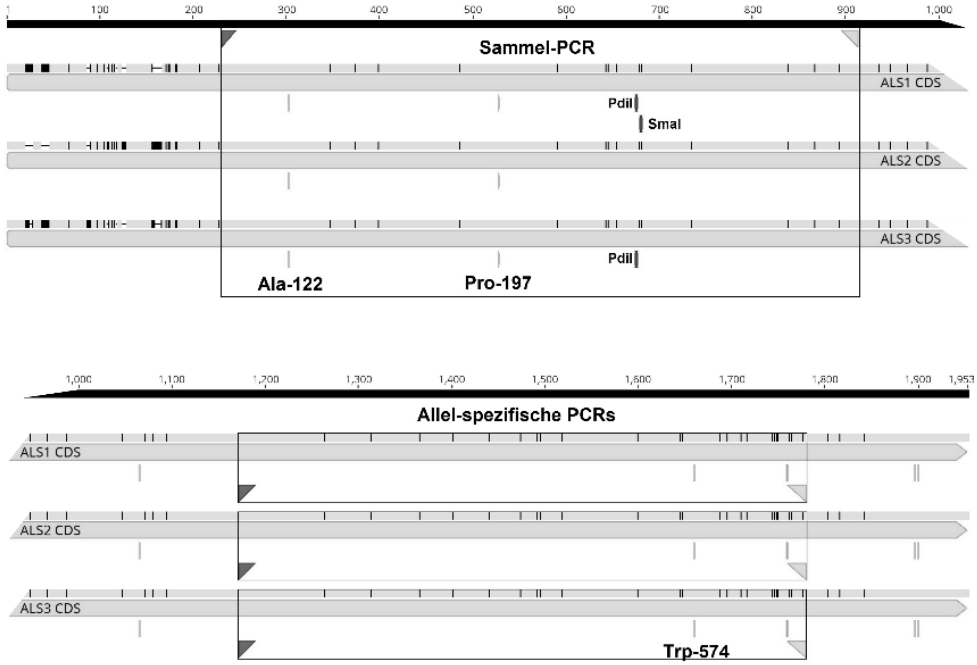


Abb. 1 Schematische Darstellung der drei Genvarianten des ALS-Gens von E. crus-galli aus Genious (v. 9.1.8). Hervorgehoben sind die TSR vermittelnden Positionen Ala-122, Pro-197 und Trp-574, die Schnittstellen der Restriktionsenzyme PdiI und SmaI, sowie die Genabschnitte, die entweder in einer Sammel-PCR (oben) oder in Allel-spezifischen PCRs (unten) amplifiziert wurden.

Fig. 1 *Graphical scheme of the three ALS-gene variants of E. crus-galli obtained from Genious (v. 9.1.8). The TSR-mediating positions Ala-122, Pro-197 and Trp-574, the restriction enzyme sites PdiI and SmaI, and the gene segments amplified either in the pooled PCR (top) or in allele-specific PCRs (bottom) are highlighted.*

PCR der 122/197-Genregion, stufenweiser Restriktionsverdau, Reamplifikation und TSR-Analyse

Aufgrund fehlender Polymorphismen in der Genregion um die Positionen Ala-122 und Pro-197 und einer allgemeinen Schwierigkeit der Amplifikation des ALS-Gens in diesem Bereich, die vermutlich durch den hohen GC-Gehalt und damit verbundenen Sekundärstrukturen am 5'-Ende des Gens bedingt ist, war ein Allel-spezifischer PCR-Ansatz hier nicht möglich.

Aus diesem Grund wurde zuerst ein größeres, alle drei Genvarianten umfassendes, Fragment amplifiziert, in dessen Mittelsequenz sich zwei Restriktionsschnittstellen befinden. Eine Erkennungssequenz für das Restriktionsenzym *SmaI* findet sich in der ALS1-Variante, eine Erkennungssequenz für das Restriktionsenzym *PdiI* in der ALS1- und ALS3-Variante (Abb. 1). Somit ergeben sich nach einem Verdau für jede Genvariante Fragmente unterschiedlicher Größe.

Die Amplifikation des Gesamtfragmentes erfolgte mit dem RedTaq-Mastermix (Genaxxon, Ulm). Anschließend wurde das Amplikon mit dem *SmaI*-FastDigest-Restriktionsenzym (Thermo Fisher Scientific, Schwerte) nach Herstellerangaben für PCR-Produkte verdaut. Um den vollständigen Verdau der ALS1-Genvariante zu gewährleisten wurde die Inkubationszeit auf 15 min erhöht. Nach der Inkubation wurde das Enzym durch 5 min bei 65°C inaktiviert. Anschließend wurde der gesamte Reaktionsansatz durch Gelelektrophorese auf einem 2 %igen Agarosegel aufgetrennt. Die beiden Fragmente ALS1 und ALS2/3 wurden aus dem Gel geschnitten und separat in Probenröhrchen (Collection microtubes; Qiagen, Hilden) überführt. Nach Zugabe von 200µl Lyse-Puffer des GeneJET

Gel Extraction Kit (Thermo Fisher Scientific, Schwerte) und 20 min Inkubation bei 50°C wurde die DNA im KingFisher™ Flex Extraktionsroboter unter Verwendung des Chemagic Plant 400 Kits extrahiert. Die ALS2/3-Fragmente wurden mit dem *PdiI*-Restriktionsenzym (Thermo Fisher Scientific, Schwerte) erneut nach Herstellerangaben verdaut. Dabei wurde jedoch auf die Zugabe von Nuklease-freiem Wasser verzichtet und stattdessen das Volumen des PCR-Ansatzes (hier der DNA-Lösung) entsprechend erhöht. Die Inkubationszeit betrug 16 Stunden. Am Ende wurde das Enzym für 20 min bei 65 °C hitzeinaktiviert. Wiederum wurde der gesamte Ansatz über ein Agarosegel aufgetrennt, die spezifischen Fragmente für ALS2 und ALS3 aus dem Gel geschnitten und die DNA wie oben beschrieben aus dem Gel extrahiert.

Die separierten DNA-Lösungen der einzelnen Genvarianten wurden anschließend einer Reamplifikation mit den spezifischen Primern der Voranalyse unterzogen und die Positionen Ala-122 bzw. Pro-197 mittels Pyrosequenzierung analysiert.

Ergebnisse

Variantenübergreifende Voruntersuchung auf vorhandene SNPs

Die initiale Untersuchung der gesammelten ALS-Varianten in der Pyrosequenzierung zeigte in allen untersuchten Biotypen Mutationen an jeweils einer der drei bekannten resistenzvermittelnden Positionen (Tab. 1). Jedoch waren in keiner Probe zwei oder drei Positionen gleichzeitig mutiert.

Tab. 1 Anteil und Verteilung mutierter Resistenz vermittelnder Positionen in Allelen des ALS-Gens bei *Echinochloa crus-galli*. WT – Wildtypisch.

Tab. 1 *Proportion and distribution of mutant resistance-mediating positions in alleles of the ALS gene in Echinochloa crus-galli. WT – wild type.*

	Unspezifisches Analyseergebnis über alle 3 Genvarianten	**Näher aufgeschlüsselt durch**	**Variantenspezifisches Analyseergebnis**		
			ALS1	**ALS2**	**ALS3**
Position Trp-574 TGG	Mutationsrate 33 % (Trp zu Leu)	Allel-spezifische PCR und Sanger-Sequenzierung	100 % homozygot WT TGG (Trp)	100 % homozygot WT TGG (Trp)	100 % homozygot mutiert TTG (Trp zu Leu)
Position Pro-197 CCC	Mutationsrate 12-18 % (Pro zu Thr)	Restriktionsverdau und Pyrosequenzierung	100 % homozygot WT CCC (Pro)	100 % homozygot WT CCC (Pro)	100 % heterozygot mutiert ACC (Pro zu Thr)
Position Ala-122 GCC	Mutationsrate 50 % (Ala zu Asn & Ala zu Asp)	Restriktionsverdau und Pyrosequenzierung	100 % heterozygot mutiert GAC (Ala zu Asn)	100 % heterozygot mutiert AAC (Ala zu Asp)	100 % heterozygot mutiert GAC (Ala zu Asn)

Die Pyrosequenzierungen der Position Trp-574 zeigten im Falle einer Mutation (Trp zu Leu) einen Anteil von 33 % mutierten Allelen (WT zu mutiert 2:1). An der Position Pro-197 ergaben sich in der Mutationsindikation stets Werte von 12-18 % für den Mutantenanteil (Pro zu Thr). Die Position Ala-122 zeigte in der initialen Pyrosequenzierung bei auftretenden Mutationen einen Mutationsanteil von ca. 50 %.

Allel-spezifische PCR der Position Trp-574

Die Nukleotidsequenzen der Sanger-Sequenzierung aus dem Allel-spezifischen PCR-Ansatz zeigten durch die diagnostischen Basen eine eindeutige Zuordnung zu den verschiedenen Genvarianten. An der Position Trp-574 wiesen die ALS1- und ALS2-Varianten aller Proben das wildtypische Basentriplett TGG auf. Im Gegensatz dazu zeigten alle Proben in der ALS3-Variante das Basentriplett

TTG in homozygoter Ausprägung, welches zu einer Substitution in der Aminosäuresequenz von Tryptophan zu Leucin führt (Abb. 2).

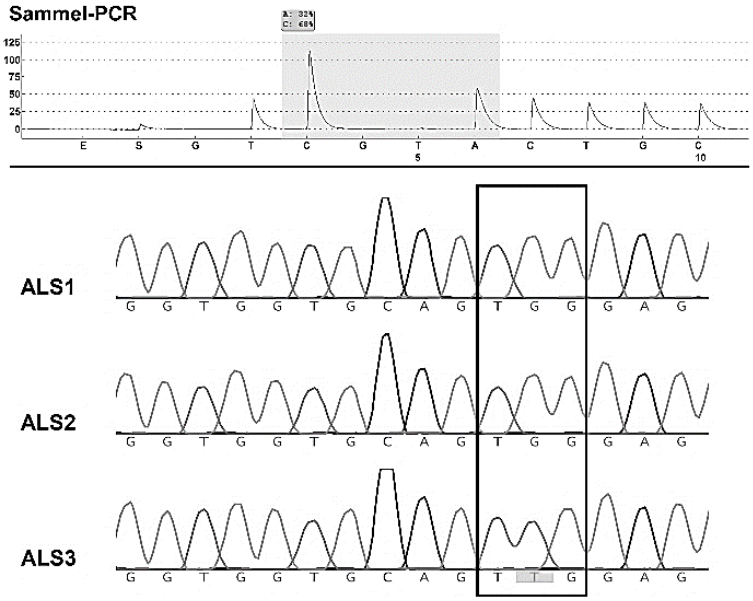


Abb. 2 In der Voruntersuchung mittels Pyrosequenzierung ermittelte Mutation an Position 574 von TGG (Trp) zu TTG (Leu) im Verhältnis 2:1 (revers-komplementär: CCA zu CAA) zeigten nach Allel-spezifischer PCR in der Sanger-Sequenzierung den TGG-Wildtyp in ALS1 und ALS2 und die TTG-Mutante in ALS3, jeweils homozygot.

Fig. 2 *Mutations of TGG (Trp) to TTG (Leu) at position 574 in a 2:1-ratio (pyrosequencing was performed reverse-complementary: CCA to CAA) determined by pyrosequencing in the preliminary analyses revealed the wild-type TGG in ALS1 and ALS2 following allele-specific PCR in Sanger-sequencing and the TTG mutant in ALS3, each homozygous.*

Restriktionsverdau, Reamplifikation und Pyrosequenzierung der Positionen Ala-122 und Pro-197

Durch PCR mit einem nahe der Position Ala-122 bindenden forward-Primer und einem in der hochkonservierten und leicht zugänglichen ALS-Gen-Mittelregion bindenden reverse-Primer konnten Allel-übergreifende Amplifikate der 122-197-Region erzielt werden. Nach Verdau mit dem *SmaI* Fast Digest-Restriktionsenzym wurden die entstandenen Fragmente im Agarosegel der Größe entsprechend aufgetrennt. Dabei konnten die Fragmente der ungeschnittenen ALS2/3-Varianten (660bp) und der geschnittenen ALS1-Variante (420bp-Zielsequenz und 240bp-Rest) getrennt und nachgewiesen werden. Anschließend wurden die Fragmente aus dem Gel extrahiert und die ALS2/3-Gesamtvarianten mit dem *PdiI*-Restriktionsenzym verdaut. Nach diesem zweiten Verdau konnten auch die Fragmente für die ungeschnittene ALS2-Variante (660bp) und die geschnittene ALS3-Variante (420bp-Zielsequenz und 240bp-Rest) im Agarosegel getrennt werden. Die folgende Reamplifikation der drei aus dem Gel extrahierten Einzelvarianten ergab Amplifikate in den erwarteten Größen. Die Pyrosequenzierung der einzelnen Genvarianten ergab für die Position Pro-197, dass die Varianten ALS1 und ALS2 wildtypisch (CCC – Prolin) waren. Die Variante ALS3 wies jedoch eine Mutation des Basentripletts von CCC zu ACC in heterozygoter Ausprägung auf, was in einem Allel zu einer Substitution in der Aminosäuresequenz von Prolin zu Threonin führt (Abb. 3).

Für Position Ala-122 wiesen die Pyrosequenzierungen in allen drei Genvarianten heterozygot auftretende Mutationen nach. In ALS1 und ALS 3 vom wildtypischen GCC zu GAC, was einer Aminosäureänderung von Alanin zu Asparagin entspricht. Im Gegensatz hierzu war in ALS2 eine

Änderung zu Aspartam nachweisbar (GCC zu AAC; Pyrogramme aufgrund ihrer hohen Komplexität nicht gezeigt).

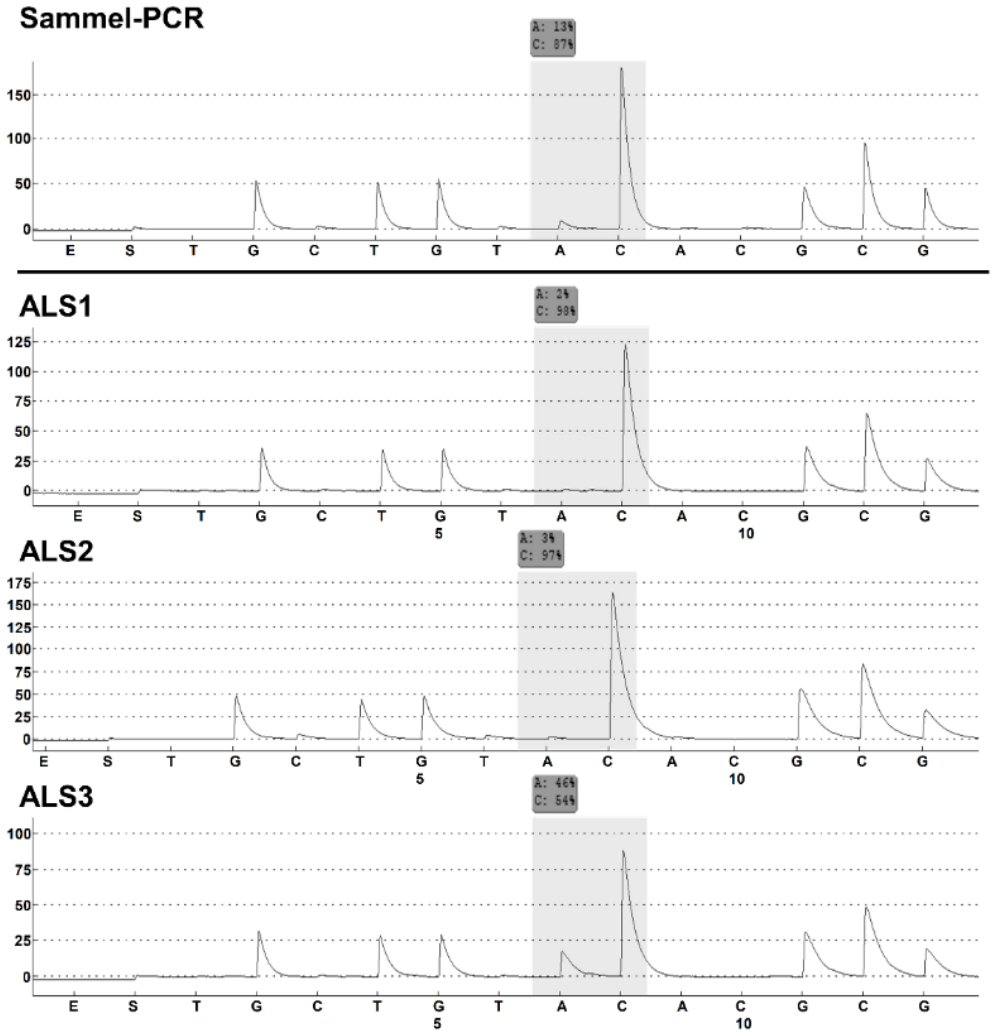


Abb. 3 Die in der Voruntersuchung mittels Pyrosequenzierung ermittelte Mutation an Position 197 von CCC (Pro) zu ACC (Thr) im Verhältnis 5:1 zeigte nach Sammel-PCR, Restriktionsverdau und Reamplifikation in der Genvarianten-spezifischen Pyrosequenzierung den CCC-Wildtyp in ALS1 und ALS2 (homozygot) und ein mutiertes Allel hin zu ACC (Thr) in ALS3, also in heterozygoter Ausprägung.

Fig. 3 *The mutation of CCC (Pro) to ACC (Thr) at position 197 in the ratio 5:1 determined in the preliminary investigation by means of pyrosequencing showed the CCC wild type in ALS1 and ALS2 (homozygous) and after collective PCR, restriction digestion and reamplification in gene-variant-specific pyrosequencing a mutated allele to ACC (Thr) in ALS3, i.e. heterozygous expression.*

Diskussion

Bei polyploiden Arten wie der Hühnerhirse können mehrere Genvarianten vorliegen und auch exprimiert werden. Sämtliche exprimierten Varianten können Resistenz vermitteln, wobei die Stärke der Resistenz vom Anteil der mutierten Allele abhängig sein kann (YU et al., 2013). Bei Hexaploidie stoßen die gängigen Nachweismethoden an ihre Grenzen. Wie auch von DÈLYE et al. (2015) diskutiert, ergibt erst eine getrennte Analyse der Varianten ein exaktes Bild über Anzahl und Verteilung der Mutationen.

Die Allel-spezifische PCR erwies sich für die Position 574 als geeignet, da dieser Bereich strukturell leicht zugänglich ist, und genügend Polymorphismen vorhanden sind, die einerseits die Allel-spezifische PCR ermöglichen und andererseits diagnostische Basen für eine Unterscheidung der Genvarianten umfassen. Die Produkte der Allel-spezifischen PCR lassen sich direkt Sequenzieren, was eine schnelle und kostengünstige Analyse ermöglicht.

Im Gegensatz dazu erschwert die schwierige Struktur am 5'-Ende des ALS-Gens, das die Positionen 122 und 197 umfasst, die Amplifikation größerer Fragmente (vgl. auch PANOZZO et al., 2013, DÉLYE et al., 2015a). Kleine Fragmente für die Pyrosequenzierung lassen sich leichter amplifizieren, jedoch fehlt es dann an Polymorphismen, die eine Allel-spezifische PCR ermöglichen. Eine andere Möglichkeit, die ALS-Varianten hier separat zu analysieren wäre die Klonierung. Jedoch müsste auch hierfür zuerst ein Amplikon von entsprechender Länge gewonnen werden, das diagnostische Basen enthält. Die anschließende Klonierung wäre noch immer verhältnismäßig teuer, zumal nicht nur die Klonierung einen relativ hohen Kostenfaktor darstellt, sondern zur sicheren Auswertung auch eine entsprechende Anzahl an Kolonien sequenziert werden müsste. Außerdem ist für die Klonierung zusätzliches Equipment und bei größeren Probenumfängen ausreichend Platz erforderlich.

Beim entwickelten Restriktionsverdau erwies es sich von Vorteil, dass mit einfacher Laborausrüstung gearbeitet werden kann. Es genügen Geräte für DNA-Extraktion und PCR. Es konnte zudem mit kostengünstigen Standard-Restriktionsenzymen gearbeitet werden. Allerdings trugen ALS1 und ALS3 beide die *PdiI*-Erkennungssequenz an der gleichen Position im Amplikon. Deshalb konnte kein einstufiger Restriktionsverdau durchgeführt werden, bei dem die Genvarianten aufgrund der entstandenen Fragmentgrößen unterschieden werden können. Stattdessen musste ein zweistufiger Ansatz gewählt werden, bei dem zuerst die Variante ALS1 und anschließend die Variante ALS3 gewonnen wurde.

Für *Echinochloa crus-galli* ist bekannt, dass auch metabolische Resistenz dazu beiträgt, die Art zu einem schädlichen herbizidresistenten Ungras zu machen (NORSWORTHY et al., 2014). In den vergangenen Jahren wurde aber die große Bedeutung der Target-Site-Resistenz deutlich. Die vorliegenden Untersuchungen belegen, dass an der TSR maßgeblich ALS-Variante 3 beteiligt ist. Unterschiede in der Resistenzausprägung lassen sich nicht nur der mutierten Herbizidbindestelle zuordnen (YU und POWLES, 2014), sondern lassen sich auch im Anteil der mutierten Allele vermuten (YU et al., 2013). Bei anderen polyploiden Arten besteht generell die Möglichkeit, dass manche Genkopien Pseudogene oder „silenced genes" sind (DÉLYE et al., 2016), daher sollte vor der erstmaligen Analyse verschiedener Genvarianten mittels PCR und Enzym-Assay überprüft werden, ob diese auch alle exprimiert werden.

Bei der Hühnerhirse können mit der vorgestellten Methodik Verteilungsmuster innerhalb von Individuen vollständig aufgezeigt werden. Diese Verteilungsmuster können die Populationsdynamik abbilden und zu einem besseren Verständnis der fortschreitenden Resistenzentwicklung beitragen. *Echinochloa crus-galli* hat gegen die meisten Herbizide, die zur Kontrolle dieses Ungrases eingesetzt werden, multiple Resistenzen entwickelt (HEAP, 2014). Es bleibt zu erwarten, da Hühnerhirse kein ausschließlicher Selbstbestäuber ist, dass durch Kreuzung unterschiedlich resistenter Individuen mehr multiresistente Individuen entstehen, die ALS-Hemmern eine ganze Reihe Allele mit unterschiedlicher Resistenzausprägung entgegenzusetzen haben.

Literatur

DÉLYE, C., R. CAUSSE, V. GAUTIER, C. PONCET, S. MICHEL, 2015a: Using nextgeneration sequencing to detect mutations endowing resistance to pesticides: application to acetolactate-synthase (ALS)-based resistance in barnyardgrass, a polyploid grass weed. Pest Manag Sci **71**, 675–685.

DÉLYE, C., A. DUHOUX, F. PERNIN, C.W. RIGGINS, P.J. TRANEL, 2015b: Molecular Mechanisms of Herbicide Resistance. Weed Science Special Issue 2015, 91–115.

DÉLYE, C., R. CAUSSE, S. MICHEL, 2016: Genetic basis, evolutionary origin and spread of resistance to herbicides inhibiting acetolactate synthase in common groundsel (*Senecio vulgaris*). Pest Manag Sci **72**, 89-102.

DUGGLEBY, R.G., J.A. MCCOURT, L.W. GUDDAT, 2008: Structure and mechanism of inhibition of plant acetohydroxyacid synthase. Plant Physiol Biochem **46**, 309–324.

GUO, L., J. QIU, C. YE, G. JIN, L. MAO, H. ZHANG, X. YANG, Q. PENG, Y. WANG, L. JIA, 2017: *Echinochloa crus-galli* genome analysis provides insight into its adaptation and invasiveness as a weed. Nat Commun **8**, 1–10.

HEAP, I., 2014: Herbicide resistant weeds. In: *Integrated Pest Management*. PIMENTEL, D., R. PESHIN (Eds.), Netherlands, *Springer*, 281-301.

HEAP, I., 2019: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Available at: http://www.weedscience.org (accessed October 9, 2019).

IWAKAMI, S., M. HASHIMOTO, K.-I. MATSUSHIMA, H. WATANABE, K. HAMAMURA, A. UCHINO, 2015: Multiple-herbicide resistance in *Echinochloa crus-galli* var. *formosensis*, an allohexaploid weed species, in dry-seeded rice. Pest Biochem Physiol **119**, 1-8.

MARTIN, S.L., J.S. PARENT, M. LAFOREST, E. PAGE, J.M. KREINER, T. JAMES, 2019: Population Genomic Approaches for Weed Science. Plants **8** (9), E354.

MASTERSON, J., 1994: Stomatal size in fossil plants: evidence for polyploidy in majority of angiosperms. Science **264**, 421–424.

MATZENBACHER F.O., E.D. BORTOLY, A. KALSING, A. MEROTTO JR., 2014: Distribution and analysis of the mechanisms of resistance of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) to imidazolinone and quinclorac herbicides. J Agric Science **153** (6), 1-15.

NORSWORTHY, J.K., M.J. WILSON, R.C. SCOTT, E.E. GBUR, 2014: Herbicidal activity on acetolactate synthase-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Arkansas, USA. Weed Biol Manag **14**, 50–58.

PANOZZO, S., L. SCARABEL, P.J. TRANEL, M. SATTIN, 2013: Target-site resistance to ALS inhibitors in the polyploid species Echinochloa crus-galli. Pestic Biochem Physiol **105**, 93–101.

RIAR, D.S., J.K. NORSWORTHY, V. SRIVASTAVA, V. NANDULA, J.A. BOND, R.C. SCOTT, 2013. Physiological and molecular basis of acetolactate synthase-inhibiting herbicide resistance in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). J Agric Food Chem **61**, 278–289.

SCARABEL, L., A. LOCASCIO, A. FURINI, M. SATTIN, S. VAROTTO, 2010: Characterisation of ALS genes in the polyploid species Schoenoplectus mucronatus and implications for resistance management. Pest Manag Sci **66**, 337–344.

TRANEL, P.J., T.R. WRIGHT, I.M. HEAP, 2019: Mutations in Herbicide-Resistant Weeds to ALS Inhibitors. Available at: http://www.weedscience.com (accessed October 9, 2019).

YU, Q., M.S. AHMAD-HAMDANI, H.P. HAN, M.J. CHRISTOFFERS, S.B. POWLES, 2013: Herbicide resistance-endowing ACCase gene mutations hexaploid wild oat (*Avena fatua*): insights into resistance evolution in a hexaploid species. Heredity **110**, 220–231.

YU, Q., S.B. POWLES, 2014: Resistance to AHAS inhibitor herbicides: current understanding. Pest Manag Sci **70**, 1340–1350.

Charakterisierung einer Population der Geruchlosen Kamille mit reduzierter Sensitivität gegenüber Herbiziden, die die Synthese sehr langkettiger Fettsäuren hemmen

Characterizing a scentless mayweed population with reduced sensitivity towards VLCFA herbicides

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.2020.464.073

Zusammenfassung

Die Geruchlose Kamille (MATIN) ist ein annuelles, dikotyles Ackerunkraut der gemäßigten Breiten. Bisher sind für dieses Unkraut 7 Fälle von Herbizidresistenz bekannt. Alle betreffen die Gruppe der Acetolactat-Synthase-Hemmer. Im Rahmen eines deutschlandweiten Herbizidresistenzmonitorings, wurde eine MATIN-Population identifiziert, die eine verringerte Sensitivität gegenüber Metazachlor, einem Wirkstoff aus der Gruppe der Hemmer der Synthese sehr langkettiger Fettsäuren zeigte. In dieser Studie wird die verringerte Sensitivität mittels erd- und agarbasierter Biotests genauer charakterisiert.

Stichwörter: Agarbasierter Biotest, erdbasierter Biotest, geruchlose Kamille, Metazachlor, verringerte Sensitivität

Abstract

Scentless mayweed (MATIN) is an annual dicotyledonous weed species in temperate zones. So far, seven cases of herbicide resistance are known. All cases of resistance refer to the group of acetolactate inhibitors. During a German resistance survey, a scentless mayweed population was detected showing reduced sensitivity to metazachlor, an active belonging to the group of inhibitors of very long chain fatty acid synthesis. In the present study, the reduced sensitivity was further characterized using soil- and agar-based bioassays.

Keywords: Agar-based bioassay, metazachlor, reduced sensitivity, scentless mayweed, soil-based bioassay

Einleitung

Die Geruchlose Kamille (*Tripleurospermum perforatum*; MATIN) ist ein bekanntes, weit verbreitetes Ackerunkraut. Sie kommt weltweit in den gemäßigten Zonen vor, wobei ihr natürliches Verbreitungsgebiet weite Teile Europas und Westasiens umfasst, während sie in Nordamerika und anderen gemäßigten Zonen eingeschleppt wurde (Kay, 1994; Woo et al., 1991). MATIN vermehrt sich nur sexuell und wird dabei von Insekten bestäubt (Kay, 1994; Woo et al., 1991). Die dabei entstehenden Achänen können für mindestens 10 Jahre im Boden überleben (Kay, 1994). Bisher sind 7 Resistenzfälle bei MATIN bekannt. Alle Resistenzfunde stammen aus Europa und betreffen Herbizide aus der Gruppe der Acetolactat-Synthase-Hemmer (Heap, 2019).

Sehr langkettige Fettsäuren (VLCFA) besitzen mehr als 18 Kohlenstoffatome (Haslam und Kunst, 2013). Sie werden für die Synthese von Sphingolipiden, kutikulären Wachsen, Suberin oder der Pollenhülle benötigt und übernehmen damit zentrale Funktionen in der Pflanze (Haslam und Kunst, 2013). Herbizide Wirkstoffe der chemischen Gruppen der Acetamide, Chloroacetamide, Oxyacetamide und einiger anderer Wirkstoffe (HRAC-Gruppe K3) hemmen die VLCFA-Synthese. Bisher sind 15 Resistenzfälle gegen diese Gruppe bekannt (Heap, 2019). Diese Fälle betreffen die Ungräser *Alopecurus myosuroides*, *Avena fatua*, *Echinochloa crus-galli*, *Lolium perenne* ssp. *multiflorum* und *Lolium rigidum* sowie die Unkräuter *Amaranthus palmeri* und *Amaranthus tuberculatus*. Der Chloroacetamid-Wirkstoff Metazachlor ist bisher nicht von Resistenzen betroffen (Heap, 2019).

Im Rahmen eines deutschlandweiten Resistenzmonitorings für dikotyle Unkrautarten, wurde eine MATIN-Population identifiziert, die unter Feldbedingungen eine reduzierte Sensitivität gegenüber Metazachlor zeigte. Mit Hilfe von Biotesten und Kreuzungen soll diese verringerte Sensitivität nun validiert werden.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial

M363, die MATIN-Population mit reduzierter Sensitivität gegenüber den Herbiziden aus der Gruppe der Hemmer der Synthese langkettiger Fettsäuren, stammt aus Baden-Württemberg. Sie wurde im Rahmen eines deutschlandweiten Monitoring zur Herbizidresistenz bei dikotylen Unkrautarten identifiziert. Zwei Individuen, die eine Behandlung mit der zugelassenen Aufwandmenge von Metazachlor überlebten, wurden miteinander gekreuzt. Die Samen, die aus dieser Kreuzung hervorgegangen sind werden als Population M363-1 bezeichnet. Die verwendete sensitive Referenzpopulation (S) stammt aus dem Unkrautgarten des Julius Kühn-Institut.

Biotests

Die Samen der jeweiligen MATIN-Population wurden zunächst in Petrischalen auf mit 0,02 M CaNO3-Lösung getränktem Filterpapier ausgelegt und in einen Klimaschrank überführt (16 h Licht 20°C, Ehret). Je vier Keimlinge wurden in mit Erde gefüllte Töpfe pikiert und bis zum BBCH-Stadium 10-12 im Klimaschrank weiterkultiviert. Pro Behandlung wurden 4 Wiederholungen angelegt. Im BBCH-Stadium 10-12 wurde der Wirkstoffe Metazachlor (Butisan, 500 g l^{-1}, zugelassene Aufwandmenge 1,5 l ha^{-1}, BASF) in den angegebenen Aufwandmengen appliziert. Außerdem wurde der Wirkstoff Dimethenamid-P (Spektrum, 720 g l^{-1}, zugelassene Aufwandmenge 1,4 l ha^{-1}, BASF) in der zugelassenen Aufwandmenge appliziert. 21 Tage nach der Applikation wurde die Sprossfrischmasse der Pflanzen bestimmt.

Agar-basierter Biotest

Die Samen der Populationen M363-1 und S wurden zunächst oberflächensterilisiert (Rissel et al., 2014) und in sterilem Wasser bei 4°C für 2 Tage stratifiziert. Anschließend wurden etwa 30 Samen jeder Population mit einer Pinzette auf eine Agar-Platte (1 % Plant Agar, Duchefa, Niederlande) gesetzt, die ein vollwertiges Murashige & Skoog-Medium (Duchefa, Niederlande) und die angegebenen Metazachlor-Aufwandmenge enthielt. Pro Butisan-Konzentration wurden drei Agarplatten vorbereitet. Nach der Aussaat wurden die Platten horizontal in einen Klimaschrank gelegt (16 h Licht 20/10 °C, Rumed, Deutschland). Die Sprossfrischmasse wurde 15 Tage nach der Aussaat bestimmt. Es wurden 2 unabhängige Wiederholungen durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

M363 und M363-1 zeigen eine verringerte Sensitivität gegenüber Metazachlor

Um den Sensitivitätsverlust der Population M363 gegenüber Metazachlor genau zu klassifizieren, wurde ein Biotest durchgeführt. Dabei zeigten sich leicht erhöhte Sprossfrischmassen der Population M363 im Vergleich zur S-Referenzpopulation (Abb. 1A). Diese Erhöhungen sind auf das Überleben von Einzelpflanzen zurückzuführen.

Laut Definition ist Resistenz eine vererbbare Eigenschaft. Um festzustellen, ob dies auch auf die reduzierte Sensitivität einiger Individuen der Population M363 zutrifft, wurden 2 Individuen, die eine Behandlung mit der zugelassenen Aufwandmenge von Metazachlor überlebten, bis zur Blüte weiterkultiviert und miteinander gekreuzt. So wurde die Population M363-1 erzeugt. Abbildung 1B zeigt auch für diese Population leicht erhöhte Sprossfrischmassen im Vergleich zur S-Referenzpopulation. Wie bei M363 sind auch hier die erhöhten Sprossfrischmassen auf das Überleben von Einzelpflanzen zurückzuführen.

Dimethenamid-P ist ein weiterer herbizider Wirkstoff aus der Gruppe der Chloroacetamide. Nach einer Behandlung der Population M363-1 mit der zugelassenen Aufwandmenge zeigten sich ebenfalls überlebende Einzelpflanzen (Daten nicht gezeigt). Damit scheint die Population M363-1

Mechanismen zur Kreuzresistenz gegenüber Chloroacetamiden zu besitzen. Diese Mechanismen sollen nun weiter untersucht werden.

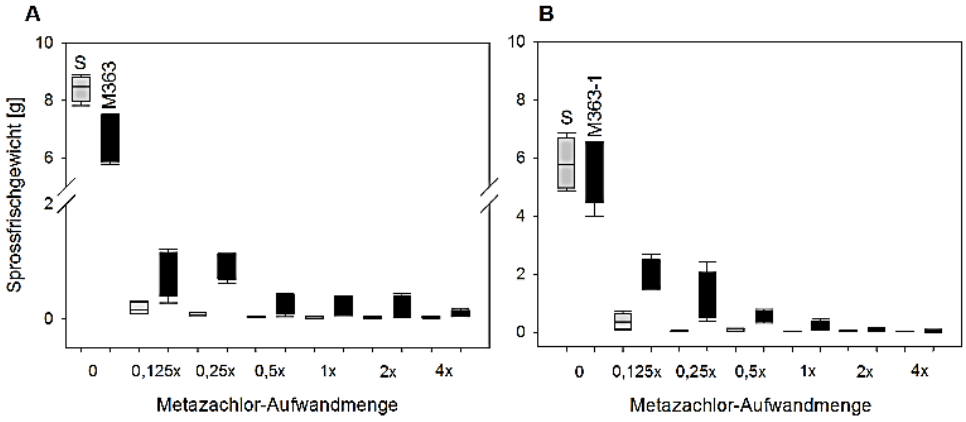


Abb. 1 Sprossfrischmasse der MATIN-Populationen 363 (A) und 363-1 (B) und der S-Referenzpopulation nach der Behandlung mit verschiedenen Metazachlor-Aufwandmengen. 1x entspricht der zugelassenen Aufwandmenge von 750 g ha^{-1} Metazachlor. Die Sprossfrischmasse wurde 21 Tage nach der Behandlung bestimmt.

Fig. 1 *Shoot weight of M363 (A) and M363-1 (B) the sensitive reference population(S) in response to the application of different doses of metazachlor. 1x represents the registered dose of 750 g* ha^{-1} *metazachlor. Shoot weight was determined 21 days after application.*

Die verringerte Sensitivität von M363-1 gegenüber Metazachlor wurde in einem Agar-basierten Biotest bestätigt

Die eindeutige Diagnose von Resistenzen gegenüber Vorauflaufherbiziden ist schwierig, da die Wirksamkeit von Vorauflaufherbiziden von vielen Faktoren wie zum Beispiel der Bodenfeuchte und Bodenstruktur, der Aussaattiefe, der Dormanz der Samen und der Keimrate abhängt (ROSENHAUER und PETERSEN, 2015).

Um den Widrigkeiten der Resistenzdiagnose bei Vorauflaufherbiziden in erdbasierten Biotesten zu entgehen, wurden verschiedene Agar-basierte Biotests entwickelt (BURNET et al., 1994; ROSENHAUER und PETERSEN, 2015). Diese beiden Systeme wurden nun miteinander kombiniert und angepasst, um die Samenkeimung und das Pflanzenwachstum der Population M363-1 auf verschiedenen Aufwandmengen von Metazachlor genauer zu analysieren.

Dabei zeigten die S-Referenzpopulation und M363-1 eine ähnliche Samenkeimung bei allen Metazachlor-Aufwandmengen (Abb. 2A). Wie bereits bei den erd-basierten Biotesten zeigten die M363-1-Pflanzen auch auf Agar eine höhere Sprossfrischmasse (Abb. 2B). Damit bestätigt der von uns entwickelte Agar-basierte Biotest die Ergebnisse aus den erdbasierten Biotests und bewährt sich als Werkzeug zur Diagnose von Resistenzen gegenüber Vorauflaufherbiziden.

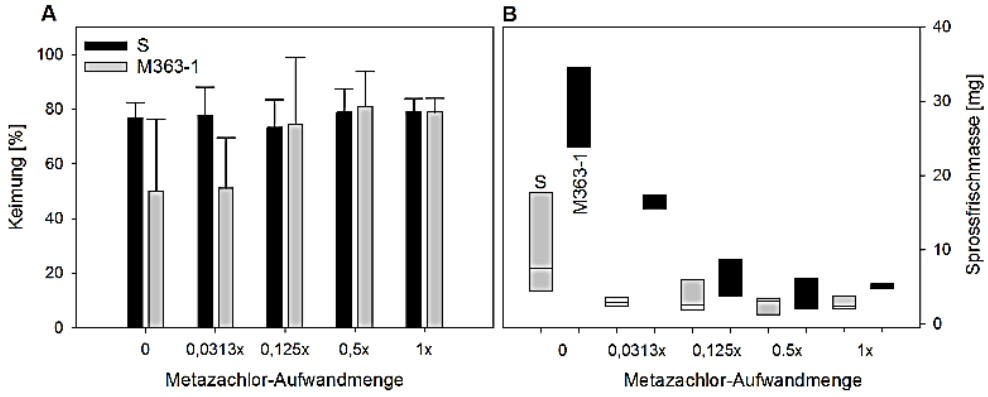


Abb. 2 Anzahl der gekeimten Samen der MATIN-Population 363-1 und S-Referenzpopulation auf 1x MS-Medium, das unterschiedliche Metazachlor-Aufwandmengen enthielt, 45h nach der Aussaat (A) und Sprossfrischmasse nach der Keimung auf verschiedenen Metazachlor-Aufwandmengen (B). Es wurden jeweils 30 Samen pro Population und Wiederholung ausgesät. Jede Behandlung wurde dreimal wiederholt. 1x entspricht der zugelassenen Aufwandmenge von 750 g ha^{-1} Metazachlor. Die Sprossfrischmasse wurde 15 Tage nach der Behandlung bestimmt.

Fig. 2 *Number of germinated seeds of M363-1 and the reference population on full-strength MS medium supplemented with different doses of metazachlor 45h after sowing (A) and shoot weight of M363-1 the sensitive reference population in response to the application of different doses of metazachlor (B).30 seeds per population and replication were sown. All treatments were repeated 3 times. 1x represents the registered dose of 750 g ha^{-1} metazachlor. Shoot weight was determined 15 days after application.*

References

BURNET,M.W.M, A.R. BARR, S.B. POWELS, 1994: Chloroacetamide resistance in rigid rygrass (*Lolium rigidum*) . Weed Science **42**, 153-157.

HASLAM, T.M, L. KUNST, 2013: Extending the story of very-long-chain fatty acid elongation. Plant Science **210**, 93-107.

HEAP, I., 2019. The international Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. Internet. www.weedscience.org.

KAY, Q.O.Y., 1994: *Tripleurospermum inodorum* (L.) Schultz Bip. Journal of Ecology **82**, 681–697.

RISSEL, D., J. LOSCH, E. PEITER, 2014: The nuclear protein Poly(ADP-ribose) polymerase 3 (AtPARP3) is responsible for seed storability in *Arabidopsis thaliana*. Plant Biology **16**, 1058-1064.

ROSENHAUER, M., J. PETERSEN, 2015: Bioassay development for the identification of pre-emergence herbicide resistance in *Alopecurus myosuroides* (Huds.) populations. Gesunde Pflanzen **67**, 141-150.

WOO, S.L., A.G. THOMAS, D.P. PESCHKEN, G.G. BOWES, D.W. DOUGLAS, V.L. HARMS, A.S. MCCLAY, 1991: The biology of Canadian weeds. 99. *Matricaria perforata* Mérat (Asteraceae). Canadian Journal of Plant Science **71**, 1101-1119.

Transferability of a random forest model for resistance prediction between different regions in Europe

Übertragbarkeit von „Random Forest" Vorhersagemodellen für die Entwicklung von Resistenzen zwischen unterschiedlichen Regionen in Europa

Janin Lepke[1], Roland Beffa[2], Otto Richter[1*], Johannes Herrmann[3]

[1]Technische Universität Braunschweig, Institut für Geoökologie, Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig
[2]Bayer AG, Division CropScience, Frankfurt am Main
[3]Agris42 GmbH, Stuttgart
* Corresponding author, o.richter@tu-bs.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.074

Abstract

Herbicides are an important technology in the Integrated Weed Management (IWM) tool box aiming to control weeds in modern agriculture. Prediction tools to evaluate the risk of resistance evolution will greatly help to choose the best IWM strategy adapted to the local field situation. In a previous work (HERRMANN et al., 2016) a random forest risk assessment model based on a data set comprising field history, management, and resistance status of *Alopecurus myosuroides* populations in Southern Germany was created. In this study transferability of the model with respect to regions and comparable weeds was analysed based on a similar dataset from a region in Northern France. The data from France also contained information on *Lolium* spp. The data related to Germany and France were subjected to a cross-validation procedure by interchanging test and training data. Results showed that acceptable predictions can be obtained for training data from Germany applied to France and vice versa. Resistance status in LOLSS samples from France can be predicted with a good accuracy based on a combined training set of *A. myosuroides* samples from Germany and France.

Keywords: Artificial intelligence, geographical variation, herbicide resistance prediction, resistance management

Zusammenfassung

Herbizide sind eine wichtige Komponente der integrierten Unkrautbekämpfung (IWM) in der modernen Landwirtschaft. Entscheidungshilfesysteme zur Bewertung des Risikos einer Resistenzentwicklung können in hohem Maße dazu beitragen, die beste IWM-Strategie zu wählen, die an die lokale Situation vor Ort angepasst ist. In einer vorherigen Studie (HERRMANN et al., 2016) wurde ein „Random Forest" Vorhersagemodell zur Bewertung des Risikos für das Auftreten von Resistenzen in *Alopecurus myosuroides* (ALOMY) Populationen in Süddeutschland erstellt, das auf langjährigen Schlaghistorien beruht. In der vorliegenden Studie wurde die Übertragbarkeit des Vorhersagemodells in Bezug auf Regionen und vergleichbare Unkräuter anhand eines ähnlichen Datensatzes aus einer Region in Nordfrankreich analysiert. Die französischen Daten enthalten auch Informationen zu *Lolium* spp. (LOLSS, hauptsächlich *Lolium perenne*). Die deutschen und französischen Daten wurden durch Austausch von Test- und Trainingsdaten einem Kreuzvalidierungsverfahren unterzogen. Die Ergebnisse zeigen, dass von Trainingsdaten aus Deutschland akzeptable Vorhersagen für Frankreich erhalten werden können und umgekehrt. Der Resistenzstatus von Proben von *Lolium* spp. aus Frankreich kann mit einer guten Genauigkeit anhand eines gemeinsamen Trainingssatzes von Proben von *A. myosuroides* aus Deutschland und Frankreich vorhergesagt werden.

Stichwörter: Geografische Variation, Künstliche Intelligenz, Resistenz Management, Vorhersage von Herbizidresistenz

Introduction

In the last decades, herbicide resistance has become a major issue for many weeds (POWLES and YU, 2010; GRESSEL, 2009). Weed population dynamics and control is a complex process depending not only on the choice of appropriate herbicides but also on cropping patterns, cultural techniques and other crop management practices (HAWKINS et al., 2019). In addition, the time scales involved in resistance development comprise several years. Weed population dynamics is not a deterministic process. Variables such as weather conditions, spatial inhomogeneity of the seed bank, initial frequency of resistant biotypes, spray distribution patterns influence the system in a random manner (ZWERGER et al., 2017). Therefore, it is not surprising, that some farmers have resistant weeds

in their fields and others not. On the other hand, long term managing practices may differ considerably. It is unknown, if there are recognizable patterns related to field history influencing the development of herbicide resistance and if so, can the driving variables for the emergence of resistant biotypes be identified. To answer these questions a reliable data base of field histories has to be established. In a previous study (HERRMANN, 2016) it was shown that a random forest model could be applied successfully to the prediction of the resistance status of *A. myosuroides* in the Hohenlohe area in southern Germany. The question arises, whether the patterns found in the Hohenlohe data are specific for this region or whether they are transferable not only to other regions (Northern France) but also to other grass weeds (*Lolium* spp.). It is the aim of this study to establish a prediction model based on artificial intelligence (AI), which enables a farmer to assess that an herbicide resistance problem is developing.

Materials and Methods

Data

The data includes the field histories and resistance status of 98 fields from the Hohenlohe area in Germany and 131 from the Champagne area in France. For the Champagne also a Lolium spp. data set for 49 fields was obtained with resistance status and field history information. Predictor variables comprise crop rotation, number of crops, seeding date, soil cultivation and herbicide applications. There are 19 predictors (Tab. 1).

Tab. 1 List of predictor variables.

Tab. 1 *Liste der Prediktorvariablen.*

Variable	Explanation
WCereals	The proportion of winter cereals in the crop rotation
SCereals	The proportion of summer cereals in the crop rotation
WCrops	The proportion of winter crops in the crop rotation
SCrops	The proportion of Summer crops in the crop rotation
NCrops	Number of different crops used (winter wheat, triticale and spelt were counted as one)
DicotCrops	The number of dicot crops in the crop rotation
Corn	The amount of corn in the crop rotation
SeedingDate	The proportion of delayed seeding events in the crop rotation
Ploughing	The proportion of ploughing in the crop rotation
ALOMYHerb	The number of herbicide applications against *A. myosuroides* divided by the number of years observed
Herb_App	Total number of herbicide applications in the crop rotation divided by the number of years observed
Molecules	The number of different active ingredients applied
GrpB_Products	The number of different GrpB-Products applied in the crop rotation
UniqueMoA_Grasses	The number of different Modes of Action used against *A. myosuroides*
ALOMYHerbGrpB	The number of ALS-Inhibitor (HRAC Group B) divided by the number of years observed
GrpG_App	The number of Glyphosate Application in the crop rotation
GrpA_App	The number of ACCase application in the crop rotation
Flufenacet	The proportion of Flufenacet (HRAC K3) used against *A. myosuroides*
DM	diversity of management (ploughing, delayed seeding, herbicides, spring crops)

An additional predictor DM (diversity of management) was devised, which is an index for the diversity of *A. myosuroides* management (HERRMANN, 2016). This variable considers the number of different measures specific for weed control within a year. These comprise delayed seeding, ploughing, summer crops and the use of multiple modes of action. If a measure is applied, the respective score takes the value of 1 otherwise the value of 0. If all measures are applied, the maximum value of DM is 4, if none is applied the score is 0. The index ranges therefore between 0 and 4. E.g. in winter wheat, using two modes of action (score 1) and ploughing (score 1) results in a

DM value of 2, while shallow tillage (score 0) and only one mode of action (score 0) give a DM value of 0. DM values are averaged for the time frame of the 6yrs being considered. Resistance status was established by greenhouse tests with collected seeds and subsequent genetic analysis of the seedlings to determine target site resistance and analytics to determine metabolic resistance when appropriate for the samples from France and Germany. Fields were classified as resistant if target-site resistance or metabolic resistance or both were detected in the samples and/or survivals were observed in the greenhouse (HERRMANN et al., 2016). A descriptive data analysis was performed to ensure that the data sets of both countries have a similar structure. As an example Figure 1 shows the comparison between 4 selected variables, which have a possible impact on resistance development. The figure reveals slightly different management practices concerning late seedings and summer crops. In France herbicides which are specific for *A. myosuroides* are applied more frequently than in Germany. In both regions ploughless soil tillage is common. The correlation structures of the predictor variables as shown in Figure 2 are similar for both data sets of A. myosuroides. Note the high correlations of herbicide application with *A. myosuroides* herbicides or between winter and summer crops. Climatic conditions are slightly different in the two regions; mean temperature and precipitation are higher in the Champagne than in the Hohenlohe region

AI Method

For our classification problem with 20 predictor variables, partly correlated samples, and small sample sizes, the random forest method (BREIMAN, 2001) is most convenient, since it can cope with

i) "small n large p" problems, i.e. large features small sample size with high accuracy
ii) complex interactions
iii) and even highly correlated predictor variables (STROBL et al., 2008).

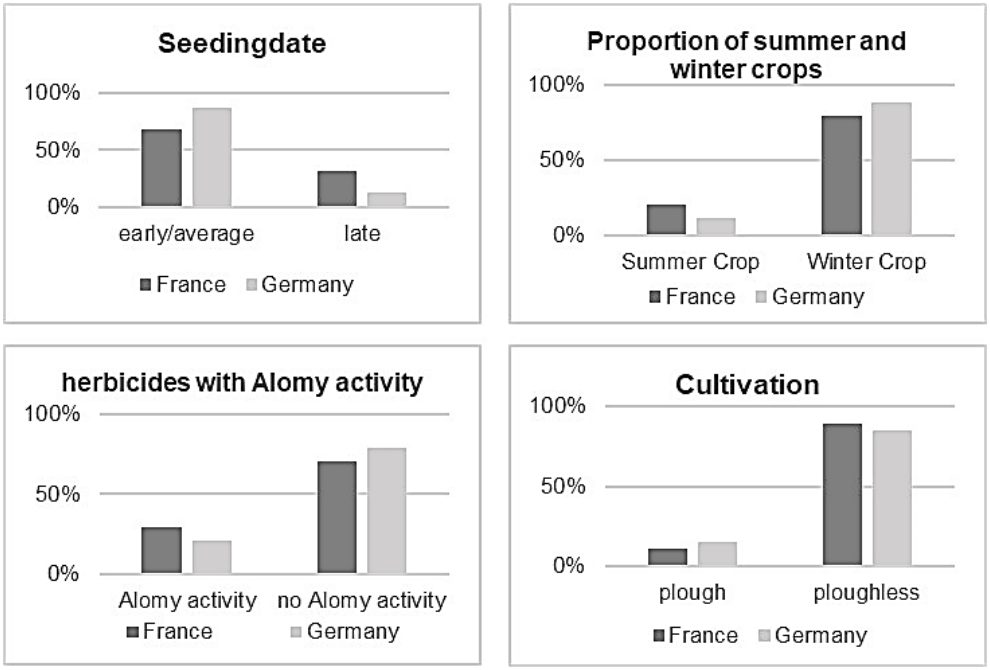


Fig. 1 Comparison of selected variables between Germany and France (seeding date, summer/winter crops, *Alopecurus myosuroides* specific herbicides, cultivation).

Abb. 1 *Ausgewählte Variablen im Vergleich von Deutschland und Frankreich (Saatzeitpunkt, Sommer-/Winterkultur, spezifische Herbizide für Alopecurus myosuroides, Pflugeinsatz).*

The method is shortly described as follows: An ensemble of uncorrelated decision trees, a "Random forest", is generated by a training data set. For the classification of a new case, each of the trees classifies the case individually i.e. the tree "votes" for that case. The final classification is the one with the most "votes". Sometimes, only a few of the predictor variables have a significant impact on the response. Therefore, it is of interest to analyse the importance of the predictors. Usual importance measures are the Gini index and the mean decrease accuracy index (HASTIE et al., 2017). In all analyses, the data were split into training data (75%) and test data (25%).

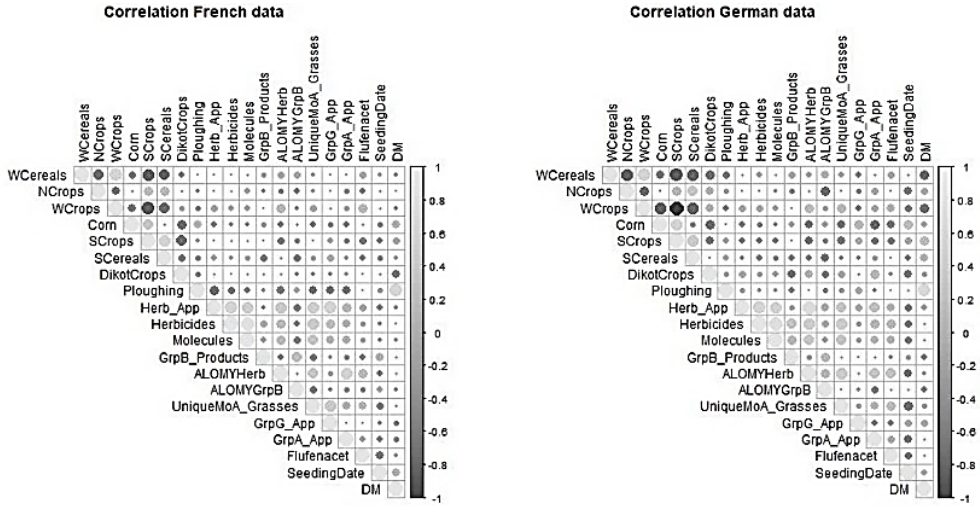


Fig. 2 Correlation structure of the data sets. The strength of the correlation is indicated by the size of the symbols and by the gray scale.

Abb. 2 *Korrelationsstruktur der Datensätze. Die Stärke der Korrelation ist durch die Größe der Symbole und die Grauskala kodiert.*

Procedure of the analysis

The transferability of the random forest model was analysed in three steps.
1. French and German data sets were analysed separately.
2. Training and test data were interchanged, e.g. German data were used to train the random forest and French data wer predicted.
3. French and German data were merged and used as training data set. Test data sets were taken from French and German data, from French data only and for German data only respectively.
Additionally, a French data set for *Lolium* spp. was tested.

Results

Separate analyses of the data sets of both countries (1. step) gave similar results for both the accuracy as well as the type I and type II errors (Fig. 3). In the second step we found that prediction accuracies are more different than in step one, if training and test data between France and Germany are exchanged. However, when merging the data sets as described above (3. step) all combinations yielded similar results comparable to those obtained in step one. Two general features are apparent. In all combinations, type II errors (with the exception of training with French data and testing with German data) are larger than type I errors. These results indicate that in both countries the same patterns of management are likely to develop resistance. The most striking feature of the Gini index is the high rank of DM, which measures the diversity of management (Fig. 4). Large differences in ranking occur for the variable Scereals (proportion of summer cereals in the crop rotation). However, for all data sets, 4 variables out of the first six places are identical. These are

the number of ALS-Inhibitor applications (ALOMYGrpB), DM, the number of different group B products used (GrpB_Products), and the number of different active ingredients which were applied (Molecules). The mean decrease of accuracy measure gives similar results (graph not shown here): the variables ALOMYGrpB and GrB_Products and variables pertaining to crop rotation are highly ranked.

Employing the French data set and the merged dataset from France and Germany respectively, a random forest model was applied to *Lolium* spp. data from France. Note that this data set comprises only resistant cases so the results have to be interpreted with caution. With the combined German-French data set only one case was misclassified as sensitive (Fig. 5).

For *A. myosuroides* the results show that in most combinations type I errors are lower than type II errors, i.e. false positive classifications are more frequent. There are two possible explanations:

i) The misclassified sensitive field has features similar to the features of resistant fields, but resistance has not developed as yet or has not been found in the plant samples.

ii) There are other factors not considered e.g. soil properties and weather patterns.

The results clearly show that the main factors promoting the development of *A. myosuroides* resistance are frequent use of herbicides of HRAC Group B (ALS inhibitors), and low diversity of management. The importance of these factors is seen in all combinations of the data sets. For the German data, the factor ploughing turned out to be most important. Here, we see a possible conflict between soil conservation and avoidance of resistance. In the analysis based on the French data and also on the combined data ploughing has only a minor importance. For the French data, the variable ALOMYgrB (ALS inhibitors) is most important.

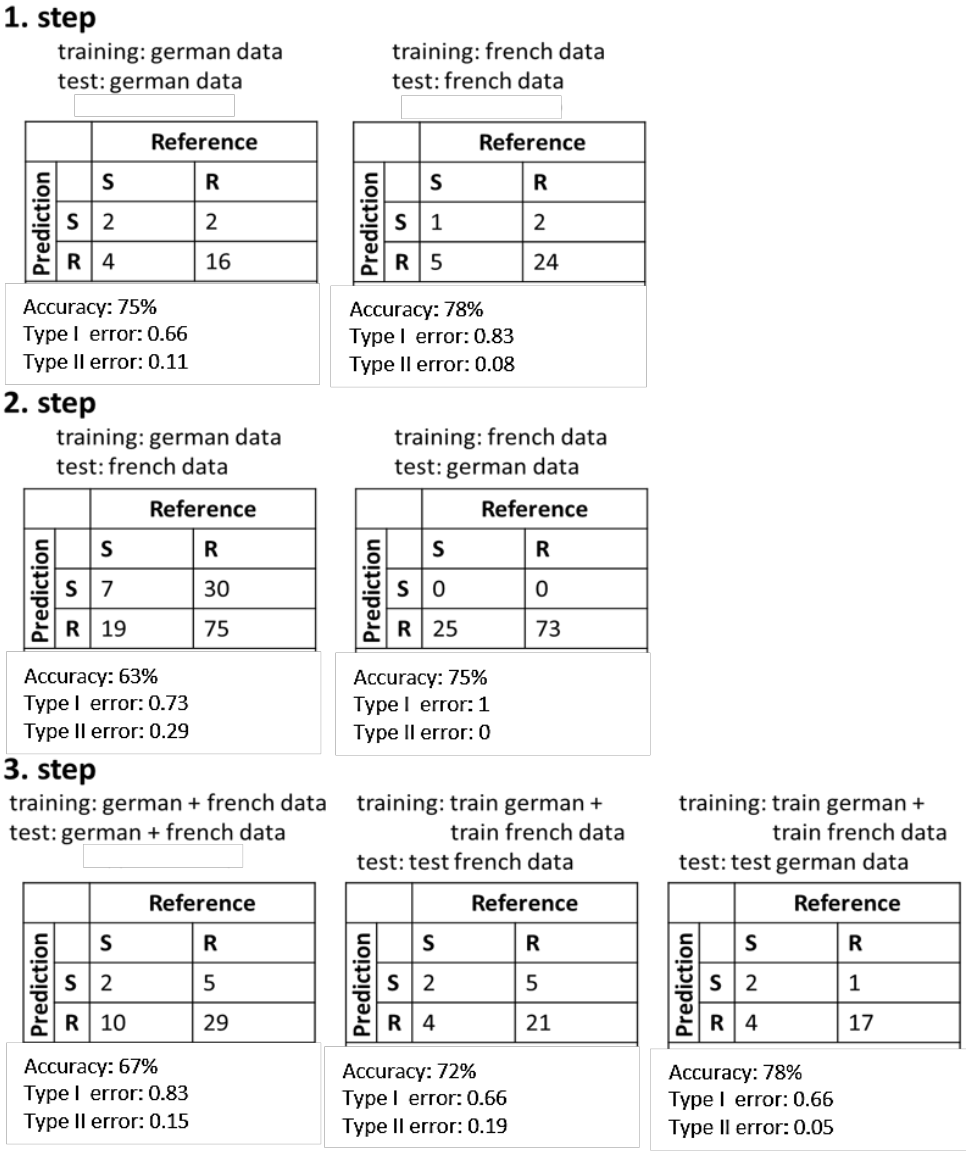


Fig. 3 Performance of the random forest model under different combinations of training and test data. S: sensitive, R: resistant.

Abb. 3 *Zusammenfassende Leistungsergebnisse der Random Forrest Modelle in verschiedenen Kombinationen von Trainings- und Testdatensätzen. S: sensitiv, R: resistent.*

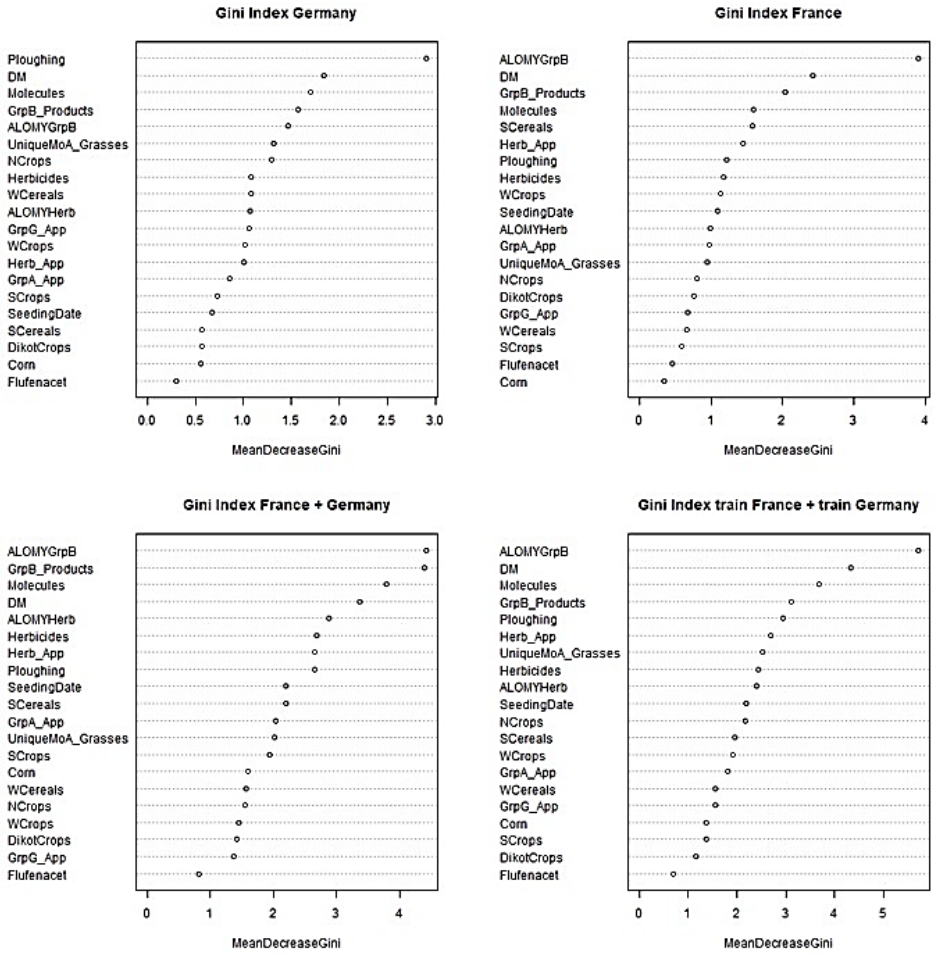


Fig. 4 Comparison of the Gini importance measure for the four training data sets used. Note that 4 variables out of the first six places are identical: ALOMYGrpB, DM, Molecules, GrpB_Products.

Abb. 4 *Vergleich des Gini index/Gewichtungsmaß für die vier Trainingsdatensätze. Zu beachten ist, dass 4 der 6 variablen mit den höchsten Werten identisch sind: ALOMYGrpB, DM, Molecules, GrpB_Products.*

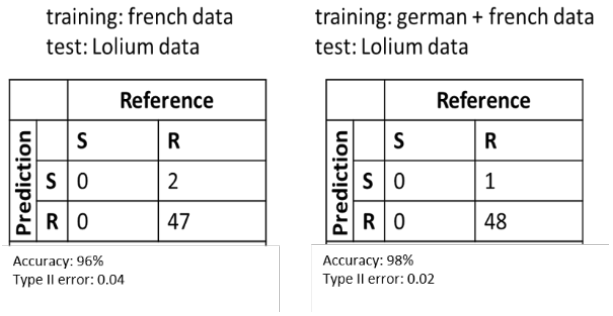


Fig. 5 *Performance of the random forest model trained by the French data set and by the combined French German dataset applied to the grass weed* Lolium *spp., S: sensitive, R: resistant.*

Abb. 5 *Zusammenfassende Leistungsergebnisse der Random Forest Modelle für Lolium spp.. Einmal nur mittels des französischen Datensatzes trainiert, einmal mit dem deutschen und dem französischen gemeinsam, S: sensitiv, R: resistent.*

In conclusion, our study corroborates the recommendations issued by many authors: to prevent resistance development it is important to utilize an overall integrated pest management approach by combining as many management practices comprising the use of different herbicides, diversity in crop rotations and cultivation as possible including cover crops, false seed bed, delayed sowing date, seed destruction, and other non-agronomic practices when appropriate (i.e. BECKIE, 2006; NORSWORTHY et al., 2012; BYRNE et al., 2018).

References

BECKIE, H.J., 2006: Herbicide-Resistant Weeds: Management Tactics and Practices. Weed Technology **20**, 793–814.

BREIMAN, L., 2001: "Random Forests."Machine Learning,**45**(1), 5–32.

BYRNE, R., J. SPINK, R. FRECKLETON, P. NEVE, S. Barth, 2018: A critical review of integrated grass weed management in Ireland. Irish J. Agri. Food Res. **57**, 15-28.

GRESSEL, J., 2009: Evolving understanding of evolution of herbicide resistance, Pest Manag. Sci. **65**, 1164-1173.

HASTIE,T., R. TIBSHIRANI, J. FRIEDMAN**,** J., 2017: The Elements of Statistical Learning, Springer Verlag 2. Edition,. p. 593.

HAWKINS, N.J., C. BASS, A. DIXON, P. NEVE, 2019: The evolutionary origins of pesticide resistance. Biol. Rev. **94**, 135-155.

HERRMANN, J., M. HESS, H. STREK, O. RICHTER, R. BEFFA, 2016: Linkage of the current ALS-resistance status with field history information of multiple fields infested with blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in southern Germany, Julius-Kühn-Archiv **452**, 42-49.

HERRMANN, J., 2016: Analysis of the spatial and temporal dynamics of herbicide resistance to ACCase- and ALS-Inhibitors in *Alopecurus myosuroides* Huds. and their causes, Dissertation, Technische Universität Braunschweig.

NORSWORTHY, J., S.M. WARD, D.R. SHAW, R.S. LLEWELLYN, R.L. NICHOLS, T.M. WEBSTER, K.W. BRADLEY, G.B. FRISVOLD, S.B. POWLES, N.R. BURGOS, W.W. WITT and M. BARRETT, 2012: Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. Weed Science **60**, 31-62.

POWLES, S., Q. YU, 2010: Evolution in action: plants resistant to herbicides. Annu. Rev. Plant Biol. **61**, 317-347.

STROBL, C.. A.L. BOULESTEIX, T. KNEIB, T. AUGUSTIN, A. ZEILEIS, 2008: Conditional Variable Importance for Random Forests, Technical Report Number 23, Department of Statistics University of Munich, http://www.stat.uni-muenchen.de

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, D.M. WOLBER, 2017: Unkrautmanagement zur Vermeidung von Herbizidresistenz. Journal für Kulturpflanzen **69**(4), 146–149.

Generationsübergreifende Auswirkungen von Herbizid-Hormesis bei PSII-Target Site resistentem *Chenopodium album* L.

Transgenerational effects of herbicide hormesis in PSII target-site-resistant Chenopodium album *L.*

Regina G. Belz*

Universität Hohenheim, Hans-Ruthenberg-Institut, FG Ökologie Tropischer Agrarsysteme, 70593 Stuttgart
*Korrespondierende Autorin, regina.belz@uni-hohenheim.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.075

Zusammenfassung

Die Exposition von Pflanzen gegenüber moderatem Umweltstress ist eine wichtige Quelle für evolutionäre Veränderungen aufgrund von genetischen und phänotypischen Reaktionen. Da Herbizid-Hormesis als die wachstumsstimulierende Wirkung niedriger Herbizid-Dosierungen ebenfalls einen moderaten Stress für exponierte Pflanzen darstellt, sind generationsübergreifende Auswirkungen denkbar. Insbesondere bei herbizidresistenten Unkräutern, die bei praxisüblichen Aufwandmengen in ihrer reproduktiven Fitness hormetisch gefördert werden, könnte dieser Aspekt zur Evolution von Herbizidresistenz beitragen. Im Gegensatz zu Insekten und Bakterien liegen Erkenntnisse eines solchen generationsübergreifenden Einflusses von Hormesis bei Pflanzen bisher nicht vor.

In der vorliegenden Studie wurden PSII Target-Site resistente *Chenopodium album* Pflanzen mit verschiedenen Dosierungen des PSII-Inhibitors Metamitron behandelt und bis zur Samenreife kultiviert (Parentalgeneration P). Die resultierenden F1-Generationen ausgewählter P-Vorbehandlungen wurden erneut in einem Dosis-Wirkungsversuch mit Metamitron behandelt. Dabei zeigte sich ein signifikanter Einfluss der P-Vorbehandlung auf die Reaktion der F1-Nachkommen. Die Sensitivität von F1-Pflanzen bei P-Vorbehandlung mit ultra-niedrigen und inhibierenden Dosierungen war teilweise höher als bei F1-Pflanzen unbehandelter P-Pflanzen. Eine P-Vorbehandlung mit hormetischen Dosierungen führte dagegen zu einer signifikant geringeren Sensitivität bei F1-Pflanzen.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Herbizid-Hormesis generationsübergreifende Reaktionen hinsichtlich Herbizidsensitivität induziert, deren Ausprägung jedoch in Abhängigkeit der Dosierung der P-Vorbehandlung variiert. Grundsätzlich könnte dies evolutionäre Veränderungen bei Unkräutern fördern.

Stichwörter: Herbizidresistenz, Hormesis, Metamitron, Unkraut, Vorkonditionierung

Abstract

Plant exposure to moderate environmental stress is an important source of evolutionary change due to genetic and phenotypic responses. Since herbicide hormesis, the stimulatory effect of low herbicide doses, also represents a moderate stress for exposed plants, transgenerational effects may be possible. Especially in herbicide-resistant weeds whose reproductive fitness is promoted at practical application rates, this aspect could contribute to the evolution of herbicide resistance. In contrast to insects and bacteria, findings of such a transgenerational influence of hormesis in plants are absent.

In this study, PSII target-site-resistant *Chenopodium album* was treated with various doses of the PSII-inhibitor metamitron and cultured to maturity (parental generation P). The F1-generations of selected P-pretreatments were re-treated in a dose-response trial with metamitron. This resulted in a significant influence of the P-pretreatment on the sensitivity of the F1-generation. The sensitivity of F1-plants to P-pretreatments with ultra-low and inhibitory doses was partly higher than of F1-plants of untreated P-plants. Instead, P-pretreatments with hormetic doses resulted in a significantly lower sensitivity of F1-plants.

The results suggest that herbicide hormesis induces transgenerational responses in herbicide sensitivity, but its severity varies with the dose of P-pretreatment. In principle, this could promote evolutionary changes in weeds.

Keywords: Herbicide resistance, hormesis, metamitron, preconditioning, weed

Einleitung

Das Phänomen, dass Herbizide in geringen Dosierungen biologische Prozesse bei Pflanzen stimulieren, ist unter dem Begriff der Hormesis für verschiedenste, herbizide Wirkstoffe dokumentiert (Cedergreen et al., 2007; Cedergreen, 2008; Belz and Duke, 2014). Als besonders kritisch werden Hormesiseffekte bei herbizidresistenten Unkräutern angesehen, da hier auch praxisübliche Aufwandmengen zur Unkrautkontrolle resistente Pflanzen fördern können und so zur Entwicklung von

Herbizidresistenz beitragen können (BELZ und DUKE, 2014, 2017). Beispielsweise konnte bei einem PSII Target-Site resistenten (PSII-TSR) Biotyp von *Chenopodium album* L. eine gesteigerte reproduktive Fitness als Reaktion auf die Applikation eines PSII-Inhibitors in feldüblichen Dosierungen beobachtet werden (BELZ, 2018). Eine solche Förderung der Reproduktion von Schadorganismen durch Agrochemikalien ist vor allem durch die Erforschung hormetischer Effekte bei Insekten durch Insektizide bereits bekannt (CUTLER, 2013; RIX und CUTLER, 2017). Hier konnte auch gezeigt werden, dass eine Exposition von Insekten mit niedrigen oder hormetischen Dosierungen von Insektiziden die Empfindlichkeit gegenüber einer erneuten Exposition durch denselben oder einen anderen Stress reduziert (CUTLER, 2013; RIX und CUTLER, 2017). Dieser als hormetisches ‚Preconditioning' bezeichneter Effekt (CALABRESE, 2016a, b), kann innerhalb derselben Generation auftreten oder generationsübergreifend in der Nachkommenschaft nach nur wenigen Generationen (CUTLER, 2013; RIX und CUTLER, 2017). In Bezug auf Pflanzen wurde ein hormetisches Preconditioning innerhalb einer Generation durch abiotischen Stress beobachtet [z.B. Trockenheit (SHAO et al., 2016)], aber auch durch chemischen Stress. So führten hormetische Glyphosat-Dosierungen bei sensitiven Soja-Pflanzen zu einem Preconditioningeffekt mit verminderter Sensitivität und ausgeprägterer Hormesis bei einer erneuten Glyphosat-Exposition (SILVA et al., 2016). Herbizid-Hormesis kann somit innerhalb einer Generation Auswirkungen auf die Sensitivität von Pflanzen gegenüber Folgeapplikationen haben, wohingegen generationsübergreifende Preconditioningeffekte bei Herbizid-induzierter Hormesis bisher nicht untersucht wurden. Da ein generationsübergreifendes Preconditioning jedoch von anderen Organismen bekannt ist (VAISERMAN et al., 2017; RIX und CUTLER, 2017), sind generationsübergreifende Auswirkungen auch für Herbizid-Hormesis bei Pflanzen wahrscheinlich. Insbesondere bei herbizidresistenten Unkräutern könnte ein solches generationsübergreifendes Preconditioning mit verminderter Herbizidsensitivität der Nachkommenschaft in Verbindung mit der bereits beobachteten Steigerung der reproduktiven Fitness durch Herbizid-Hormesis (BELZ, 2018), die Entwicklung von Herbizidresistenz beschleunigen.

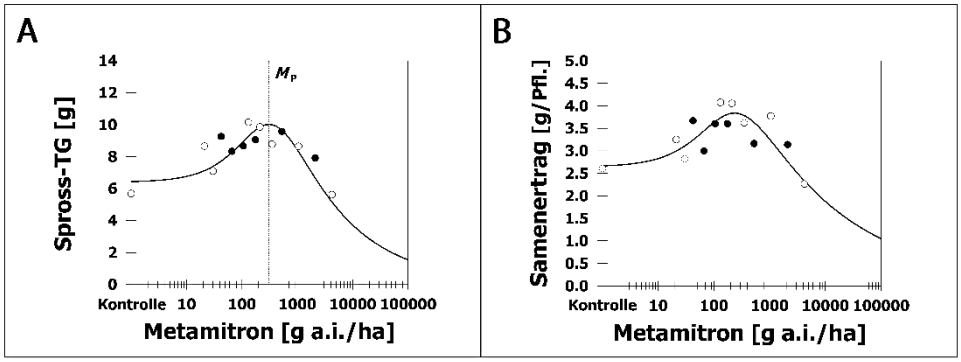


Abb. 1 Dosis-Wirkungskurven für den Effekt des PSII-Inhibitors Metamitron auf das Sprosstrockengewicht (TG) (A) und den Samenertrag (B) eines im Gewächshaus kultivierten PSII Target-Site resistenten Biotyps von Chenopodium album (Ausgangspopulation P) zum Zeitpunkt der Seneszenz. M P=Dosis, die zu einer maximalen TG-Steigerung der P-Generation führte; unausgefüllte Punkte zeigen die Dosierungen, deren F1-Nachkommen in der aktuellen Studie verwendet wurden (nach Belz, 2018; reproduziert mit Genehmigung von John Wiley and Sons).

Fig. 1 *Dose-response curves for the effect of the PSII inhibitor metamitron on shoot dry weight (TG) (A) and seed yield (B) of a greenhouse-grown PSII target site-resistant biotype of Chenopodium album (parental population P) at the time of senescence. M_P=dose giving a maximum stimulation in TG of the P-generation; unfilled dots indicate the dosages whose F1 progeny was used in the current study (adapted from BELZ 2018, reproduced with permission from John Wiley and Sons).*

Aufbauend auf der Studie von BELZ (2018), in der eine einmalige Applikation des Triazinons Metamitron bei PSII-TSR *C. album* (Parentalpopulation P) zu einer Zunahme der Samenproduktion bei

hormetischen Dosierungen führte (Abb. 1), wurden die bei den verschiedenen Dosierungen gewonnenen Samen (F1-Nachkommen) in dieser Studie einer erneuten Testung gegenüber Metamitron unterzogen. Ziel der vorliegenden Studie war es somit, ein vermeintliches hormetisches Preconditioning durch Metamitron in der ersten Folgegeneration zu prüfen.

Dazu wurde ein Gewächshausversuch im Dosis-Wirkungsdesign durchgeführt um den Einfluss der Dosierung der Metamitron-Vorbehandlung der P-Generation auf (1) die Sensitivität der F1-Generation gegenüber Metamitron (ED_{50}; Dosis, die zu einer 50%igen Hemmung führt) und (2) die Ausprägung von Metamitron-induzierter Hormesis (maximale stimulierende Wirkung y_{max}) bei F1-Pflanzen zu untersuchen.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial

Die verwendeten F1-Generationen des PSII-TSR Biotyps von *C. album* entstammen der Studie von BELZ (2018) [Parentalpopulation: Prof. Dr. Jan PETERSEN, Deutschland; Target-Site Mutation an Position 264 auf dem *psb*A-Gen (Serine$_{264}$-Glycine; Ser$_{264}$)]. P-Pflanzen wurden nach Anwendung von Metamitron in acht verschiedenen Dosierungen (sub-hormetisch, hormetisch, toxisch) vermehrt, wie in BELZ (2018) beschrieben. Die acht Dosierungen der P-Vorbehandlung (0 - 4200 g a.i./ha) bestimmten die in dieser Studie getesteten F1-Varianten (Abb. 1; Tab. 1).

Tab. 1 F1-Versuchsvarianten entsprechend der Dosierungen der Metamitron-Vorbehandlung der Parentalgeneration (P) eines PSII Target-Site resistenten Biotyps von *Chenopodium album* und die modellierte, relative Reaktion *y* des Sprosstrockengewichtes (TG) von P-Pflanzen zum Zeitpunkt der Seneszenz (Daten aus BELZ, 2018; Abb. 1A).

Tab. 1 *F1 experimental variants according to the dosages of the metamitron pretreatment of the parental generation (P) of a PSII target site resistant biotype of Chenopodium album and the modelled, relative response y of the shoot dry weight (TG) of P plants at the time of senescence (data from BELZ, 2018; Abb. 1A).*

F1-Varianten	Unbeh.	Subhormetisch		Hormetisch				Toxisch
	1	2	3	4	5	6	7	8
Dosierung P-Vorbeh. [g a.i./ha] (BBCH ≤14)	0	21	30	131	210	350	1050	4200
Reaktion y [% Kontrolle] (Spross-TG; BBCH >90)	100	112	116	147	154	157	129	80

Gewächshausversuch

Die Samen wurden getrennt nach F1-Variante in Kunststoffkästen (23 × 17 × 6 cm) in einer Mischung (1:1 nach Volumen) aus Vermiculit (Agrivermiculite 2-3 mm, Floragard Vertriebs GmbH, Deutschland) und Bodensubstrat (lehmiger Sand; pH 6,9 und 5,1 % Corg) für 12-13 Tage vorgekeimt. Die Anzucht wurde unter Gewächshausbedingungen durchgeführt [Tag 27.9±6.1 °C, 36±12 % rF; Nacht 16.9±4.0 °C, 55±12 % rF; zusätzliches Licht (300 µE/m^2) von 6-11 Uhr und 16-20 Uhr] und es wurde nach Bedarf mit Leitungswasser bewässert. Die Keimpflanzen wurden dann mit einer Dichte von 3 Pflanzen/Topf (ein Topf stellte eine Wiederholung dar) in mit Bodensubstrat gefüllte Kunststofftöpfe (10 cm Durchmesser, 7,5 cm Höhe, 0,43 l Volumen) umgepflanzt. Die Pflanzen wurden weitere 9 Tage kultiviert und in BBCH ≤14 (MAIER, 1997) mit Metamitron behandelt.

Nach der Herbizidapplikation wurden die Töpfe in einem randomisierten vollständigen Blockdesign (6 Blöcke mit 12 Behandlungen) angeordnet, welches zweimal pro Woche neu randomisiert wurde. Die Pflanzen wurden nach Bedarf mit Leitungswasser bewässert und nach einer Wachstumsperiode von 21 Tagen nach Behandlung (DAT) an der Bodenoberfläche abgeschnitten. Das Sprosstrockengewicht pro Pflanze wurde nach fünf Tagen Trocknung bei 60 °C erhoben.

Herbizidapplikation

Metamitron (Goltix® Gold mit 700 g/l Metamitron; ADAMA Deutschland GmbH, Deutschland) wurde in demineralisiertem Wasser gemischt, um verschiedene Testlösungen (6 g a.i./ha bis 10,5 kg a.i./ha) für die Sprühapplikation zu erhalten. Es wurden 11 Behandlungen (6 Wiederholungen) getestet neben einer unbehandelten Kontrolle (12 Wiederholungen). Die Herbizidapplikation wurde mit einem Laborsprühgerät mit Flachstrahldüse (Typ TP 8002 EVS, TeeJet-Spraying Systems, USA) bei 300 kPa Druck, einem konstanten Sprühvolumen von 200 l/ha, einer Geschwindigkeit von 800 mm/s und in einem Abstand von 50 cm zwischen Spritzfläche und Düse durchgeführt. Der zugelassene maximale Mittelaufwand für Metamitron in Deutschland liegt zwischen 0,7 und 3,5 kg a.i./ha in Abhängigkeit der Kultur (Bvl, 2019).

Statistische Auswertung

Es wurden für alle F1-Varianten Dosis-Wirkungskurven berechnet und auf signifikante Unterschiede getestet wie in Belz (2018) beschrieben. Es wurden drei Dosis-Wirkungsmodelle berücksichtigt, das monophasische Modell von Streibig (1988) und die beiden hormetischen Modelle von Brain und Cousens (1989) und Cedergreen et al. (2005). Wechselbeziehungen zwischen ermittelten quantitativen Dosis-Wirkungs-Merkmalen der F1-Varianten und der Dosierung/Wirkung der P-Vorbehandlung wurden in Form des *Pearson*-Korrelationskoeffizienten (α<0,2 oder 0,05; zweiseitiger Test) auf Signifikanz geprüft. Insbesondere der Zusammenhang zwischen P-Vorbehandlung und dem ED_{50}-Wert der F1-Varianten als Maß für die Herbizidsensitivität wurde erhoben sowie der Zusammenhang zwischen P-Vorbehandlung und dem relativen y_{max}-Wert als Maß für das Auftreten und das Ausmaß von Hormesis bei F1-Varianten. Alle Auswertungen wurden mit SAS 9.4 durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Die für die acht F1-Varianten modellierten Dosis-Wirkungsbeziehungen für Metamitron zeigten bei der Hemmwirkung (ED_{50}) und auch im Auftreten und in der Ausprägung der hormetischen Stimulation (y_{max}) signifikante Unterschiede zu F1-Nachkommen unbehandelter P-Pflanzen. Auch im Sprosstrockengewicht unbehandelter F1-Kontrollpflanzen zeigten sich Unterschiede zwischen den P-Vorbehandlungen, diese erwiesen sich jedoch als nicht signifikant (Varianzanalyse, α=0,05) (Abb. 2A).

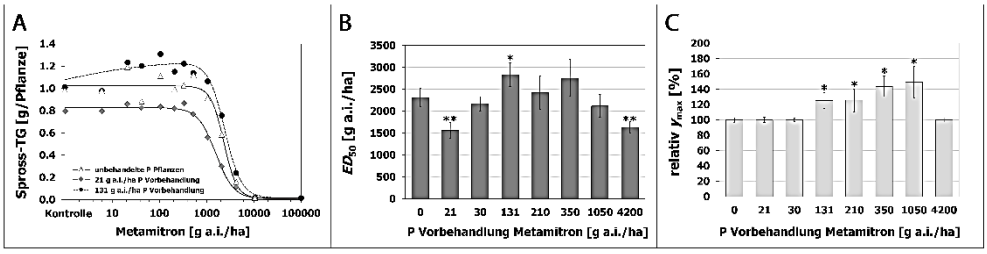


Abb. 2 Einfluss einer Metamitron-Vorbehandlung einer Parentalgeneration (P) von PSII Target-Site resistentem *Chenopodium album* auf die Wirkung von Metamitron auf die F1 Nachkommenschaft (21 DAT). A: Dosis-Wirkungsbeziehungen von F1-Pflanzen bei 0, 21 und 131 g a.i./ha Metamitron-Vorbehandlung der P-Pflanzen; B: ED_{50} von F1-Pflanzen in Abhängigkeit der Metamitron-Vorbehandlung der P-Pflanzen (signifikant verschieden von 0 g a.i./ha P-Vorbehandlung bei ** α<0.05 oder * α<0.1); C: relativer y_{max}-Wert (% Kontrolle) von F1-Pflanzen in Abhängigkeit der Metamitron-Vorbehandlung der P-Pflanzen (* signifikante Hormesis).

Fig. 2 *Influence of a metamitron pretreatment of a parental generation (P) of PSII target site-resistant Chenopodium album on the effect of metamitron on the F1 progeny (21 DAT). A: dose-response relationships of F1-plants at 0, 21 and 131 g a.i./ha metamitron pretreatment of the P-plants; B: ED_{50} of F1-plants as a function of the metamitron pretreatment of P-plants (significantly different from 0 g a.i./ha P pretreatment at ** α <0.05 or * α <0.1); C: relative y_{max} value (% control) of F1-plants as a function of metamitron pretreatment of P-plants (* significant hormesis).*

Einfluss auf die Herbizidsensitivität (ED_{50})

Für die F1-Nachkommen unbehandelter P-Pflanzen ergab sich ein ED_{50}-Wert für die Sprosstrockenmasse von 2305 g a.i./ha und ein ED_{90}-Wert von 4627 kg a.i./ha (entspricht 132 % des maximal zugelassenen Mittelaufwands). Drei der für die übrigen F1-Varianten ermittelten ED_{50}-Werte zeigten im Vergleich dazu signifikante Unterschiede. Bei einer P-Vorbehandlung mit der niedrigsten Dosierung (21 g a.i./ha) und der höchsten Dosierung (4200 g a.i./ha) ergab sich ein signifikant geringerer ED_{50}-Wert ($\alpha<0.05$) und somit eine erhöhte Herbizidsensitivität (Abb. 2B). Die Distanz zwischen den ED_{50}-Werten dieser F1-Varianten und der F1-Nachkommen unbehandelter Pflanzen (0 g a.i./ha Variante) betrug jeweils 1,5-fach. Im Gegensatz dazu zeigten die F1-Varianten deren P-Generation mit stark hormetischen Metamitron-Dosierungen behandelt wurde (131, 210, 350 g a.i./ha), eine verminderte Sensitivität. Die Steigerung des ED_{50}-Wertes im Vergleich zu F1-Nachkommen unbehandelter Pflanzen (0 g a.i./ha Variante) war für die F1-Variante 131 g a.i./ha signifikant ($\alpha<0.1$) und die Dosis-Wirkungskurve war um den Faktor 1,3-fach in Richtung höhere Dosierungen verschoben (Abb. 2A, 2B). Die maximale Distanz zwischen den ED_{50}-Werten aller F1-Varianten betrug 1,8-fach. Somit zeigte die Sensitivität der F1-Nachkommenschaft auf eine erneute Metamitron-Behandlung eine deutliche Abhängigkeit von der Dosierung der Vorbehandlung der Elterngeneration. Dieser Zusammenhang zeigte sich auch in den berechneten Korrelationskoeffizienten (Tab. 2).

Als wenig aussagekräftig erwies sich die Korrelation bezüglich der Dosierung der P-Vorbehandlung, unter Berücksichtigung aller F1-Varianten (N=8). Die P-Vorbehandlung induzierte eine biphasische, hormetische Dosis-Wirkungsbeziehung mit einer maximalen Stimulation bei Dosis M_P=308 g a.i./ha (Sprosstrockengewicht zur Reife; Abb. 1A) (Belz, 2018). Daher wurde die Korrelation weiterhin getrennt für Dosierungen $<M_P$ (zunehmend hormetisch; N=5) und $>M_P$ (abnehmend hormetisch und zunehmend hemmend; N=3) betrachtet. Hier zeigte sich, dass für Dosierungen $<M_P$ ein positiver Korrelationskoeffizient auftrat (0,56), während bei Dosierungen $>M_P$ ein stark negativer Zusammenhang bestand (-0,91). Beide Koeffizienten waren jedoch nicht signifikant. Um der Zweiphasigkeit noch besser gerecht zu werden, wurde die Korrelationsanalyse auch für die modellierte, relative Reaktion y von P-Pflanzen auf die Vorbehandlung durchgeführt (Tab. 1). Unter Berücksichtigung aller F1-Varianten ergab sich nun ein signifikant positiver Korrelationskoeffizient von 0,78 ($\alpha<0,05$) zwischen der Reaktion der P-Pflanzen und den ED_{50}-Werten ihrer F1-Nachkommen. Somit zeigten Nachkommen von P-Pflanzen, die durch die Vorbehandlung gehemmt wurden (Reaktion <100 %) einen geringeren ED_{50}-Wert und damit eine höhere Sensitivität als Nachkommen von P-Pflanzen, die hormetisch gefördert wurden (Reaktion >100%). Eine Aufspaltung der Korrelation in Dosierungen $</>M_P$, ergab hier keinen entscheidenden Zusatznutzen (Tab. 2).

Tab. 2 *Pearson* Korrelationskoeffizienten für den Einfluss der Metamitron-Vorbehandlung der Parentalgeneration (P) auf den ED_{50}-Wert und die maximale Stimulation y_{max} (% Kontrolle) Metamitron-behandelter F1-Pflanzen unter Berücksichtigung aller F1-Varianten (links) bzw. nur F1-Varianten mit Metamitron-Vorbehandlung geringer (Mitte) oder höher (rechts) als die Dosis M_P die zu einer maximalen Hormesis bei P-Pflanzen führte [308 g a.i./ha; [1]Belz (2018)] (signifikant bei ** $\alpha<0.05$ oder * $\alpha<0.2$).

***Tab. 2** Pearson correlation coefficients for the influence of the metamitron pretreatment of the parental generation (P) on the ED_{50} value and the relative y_{max} of metamitron-treated F1-plants taking into account all F1 variants (left) or only F1 variants with metamitron pretreatment lower (middle) or higher (right) than the dose M_P which led to maximum hormesis in P plants [308 g a.i./ha; [1]Belz (2018)] (significant at ** $\alpha<0.05$ or * $\alpha<0.2$).*

Metamitron Vorbehandlung	**F1-Varianten**					
	Alle (N=8)		**Dosis < M_P (N=5)**		**Dosis > M_P (N=3)**	
P-Pflanzen[1]	**ED_{50}**	**rel. y_{max}**	**ED_{50}**	**rel. y_{max}**	**ED_{50}**	**rel. y_{max}**
Dosierung [g a.i./ha] (BBCH ≤14)	-0,49	-0,15	0,56	0,94**	-0,91	-0,96*
Reaktion [% Kontrolle] (Spross-TG; BBCH >90)	0,78**	0,75**	0,60	0,96**	0,97*	0,89

Die Ergebnisse zeigten somit einen signifikanten Einfluss zwischen der Herbizidwirkung, der die Elterngeneration ausgesetzt ist und der Sensitivität ihrer F1-Nachkommen auf dasselbe Herbizid. Stark hormetisch geförderte P-Pflanzen führten zu F1-Nachkommen, deren Herbizidsensitivität vermindert war.

Einfluss auf die Ausprägung von Hormesis (y_{max})

Die F1-Nachkommen unbehandelter P-Pflanzen zeigten bei niedrigen Metamitron-Dosierungen teilweise erhöhte Sprosstrockengewichte (Abb. 2A), jedoch konnte keine signifikant hormetische Dosis-Wirkungskurve modelliert werden. Ähnliches war bei den F1-Varianten zu beobachten, die mit den geringsten (21 und 30 g a.i./ha) und der höchsten Dosierung (4200 g a.i./ha) vorbehandelt wurden. Im Gegensatz dazu war bei F1-Varianten deren P-Generation mit stark hormetischen Metamitron-Dosierungen vorbehandelt wurde signifikante Hormesis zu beobachten mit einer maximalen Förderung y_{max} von 125 bis 149 % der Kontrolle (Abb. 2C). Somit zeigte das Auftreten von Hormesis in der Nachkommenschaft eine deutliche Abhängigkeit von der Dosierung der P-Vorbehandlung. Auch dieser Zusammenhang spiegelte sich in den berechneten Korrelationskoeffizienten wieder (Tab. 2). Für F1-Varianten $<M_P$ ergab sich eine signifikant positive Korrelation (0,94; $\alpha<0,05$) zwischen der maximalen Förderung y_{max} und der Dosierung der P-Vorbehandlung und ein signifikant negativer Zusammenhang (-0,96; $\alpha<0,2$) für F1-Varianten $>M_P$. Für die tatsächliche Reaktion von P-Pflanzen auf die Vorbehandlung resultierte unter Berücksichtigung aller F1-Varianten eine signifikant positive Korrelation (0,75; $\alpha<0,05$). Dies zeigt, dass F1-Nachkommen nach einer P-Vorbehandlung mit Dosierungen, die zu stark hormetisch geförderten P-Pflanzen führten, deutlich stärker ausgeprägte Hormesiseffekte zeigten. Die Ergebnisse deuten somit einen signifikanten Zusammenhang zwischen Hormesiseffekten in der Elterngeneration und in ihrer F1-Nachkommen an.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Exposition gegenüber hormetischen Herbizid-Dosierungen ein generationsübergreifendes Preconditioning induzieren kann, so dass Unkräuter in der Folgegeneration eine erneute Herbizidbehandlung besser vertragen und ausgeprägtere Hormesis zeigen. Dies bestätigt den Zusammenhang, der bereits für ein generationsinternes Preconditioning von Soja-Pflanzen mit niedrigen Glyphosat-Dosierungen beobachtet werden konnte (Silva et al., 2016). Allerdings ergab sich eine deutliche Abhängigkeit zwischen der Dosierung der P-Vorbehandlung bzw. der daraus resultierenden Wirkung und der Sensitivität der F1-Nachkommen. Nur eine stark hormetische P-Vorbehandlung wirkte sich sensitivitätsmindernd aus, während sub-hormetische und toxische Dosierungen sensitivitätserhöhend wirkten. Die Ursachen hierfür sind bisher unerforscht, die Bedeutung der konditionierenden Dosis für das Resultat ist jedoch bekannt (Calabrese, 2016b). Ebenso ungewiss ist derzeit, ob sich dieser Preconditioning-Effekt bei einer Exposition über mehrere Generationen potenziert, wie lange er erhalten bleibt ohne erneute Herbizidexposition und ob solche Effekte spezifisch nur den konditionierenden Wirkstoff betreffen. Die mechanistischen Ursachen für diese vererbbaren, Hormesis-induzierten Anpassungen in der Herbizidstress-Toleranz in Pflanzen sind bisher ebenso ungeklärt.

Hinsichtlich einer unmittelbaren praktischen Relevanz für die Resistenzentwicklung sind die beobachteten Sensitivitätsunterschiede von 1,3- bis 1,8-fach für sich betrachtet sicherlich zunächst marginal. Die resistenten P-Pflanzen, deren F1-Generationen eine verminderte Sensitivität und ausgeprägtere Hormesis zeigten, produzierten jedoch im Vergleich zu unbehandelten P-Pflanzen von *C. album* aufgrund von Hormesis bis >40 % mehr Samen (Abb. 1B; Belz, 2018). Diese gesteigerte reproduktive Fitness im Zusammenhang mit den beobachteten Sensitivitätsunterschieden in der Nachkommenschaft sollte längerfristig durchaus dazu beitragen können, dass Herbizid-Hormesis resistenten Pflanzen einen zusätzlichen Selektionsvorteil verschafft. Darüber hinaus wird vermutet, dass solche Hormesis-induzierten Anpassungen langlebig und wahrscheinlich weitgehend irreversibel sind, auch wenn sie nur phänotypischer Natur sind (Constantini, 2014, 2019).

Die Ergebnisse geben einen ersten Hinweis darauf, dass Preconditioning Hormesis auch bei Pflanzen generationsübergreifende Auswirkungen auf die Reaktion der Nachkommen hat. Ob sich daraus ein Beitrag zur Entwicklung von Herbizidresistenz (BELZ, 2018) oder anderweitigen, evolutionären Anpassungen von Pflanzen an Stress (CONSTANTINI, 2014, 2019) ableiten lässt, bleibt abzuwarten. Im Hinblick auf die Beeinflussung hormetischer Reaktionen durch zahlreiche Faktoren, wird der Beitrag jedoch mit Sicherheit variabel und vor allem unter Feldbedingungen schwer berechenbar sein (SILVA et al., 2016). Dennoch ist die Erkenntnis, dass Herbizidbehandlungen, die die repoduktive Fitness resistenter Unkräuter stimulieren, auch die Nachkommenschaft konditionieren um eine erneute Herbizidexposition besser zu tolerieren, von Bedeutung für die chemische Unkrautkontrolle.

Danksagung

Die Autorin dankt Frau Despina Savvidou-Kourmpidou und Frau Msc. agr. Jessica Lloyd für die technische Unterstützung, Herrn Prof. Dr. Jan Petersen für die Bereitstellung des Gänsefuß-Biotyps und Herrn Prof. Dr. Roland Gerhards, Institut für Herbologie der Universität Hohenheim, für die Nutzung des Spritzstandes. RG Belz wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert (DFG, Projekt BE4189/1-3).

Literatur

BELZ, R.G., 2018: Herbicide hormesis can act as a driver of resistance evolution in weeds – PSII-target site resistance in *Chenopodium album* L. as a case study. Pest Manag. Sci. **74**, 2874-2883.

BELZ, R.G., S.O. DUKE, 2014: Herbicides and plant hormesis. Pest Manag. Sci. **70**, 698-707.

BELZ, R.G., S.O. DUKE, 2017: Herbicide-mediated hormesis. Am. Chem. Soc. Symp. Ser. **1249**, 135-148.

BRAIN, P., R. COUSENS, 1989: An equation to describe dose responses where there is stimulation of growth at low doses. Weed Res. **29**, 91-96.

BVL Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit), Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel (Online: http://www.bvl.bund.de [20 November 2019]).

CALABRESE, E.J., 2016a: Preconditioning is hormesis part I: Documentation, dose-response features and mechanistic foundations. Pharmacol. Res. **110**, 242-264.

CALABRESE, E.J., 2016b: Preconditioning is hormesis part II: How the conditioning dose mediates protection: Dose optimization within temporal and mechanistic frameworks. Pharmacol. Res. **110**, 265-275.

CONSTANTINI, D., 2014: Does hormesis foster organism resistance to extreme events? Front. Ecol. Environ. **12** (4), 209-210.

CONSTANTINI, D., 2019: Hormesis promotes evolutionary change. Dose-Response **17** (2), 1-4.

CEDERGREEN, N, 2008: Herbicides can stimulate plant growth. Weed Res. **48**, 1-10.

CEDERGREEN, N., C. RITZ, J.C. STREIBIG, 2005: Improved empirical models describing hormesis. Environ. Toxicol. Chem. **24** (12), 3166-3172.

CEDERGREEN, N., J. C. STREIBIG, P. KUDSK, S.K. MATHIASSEN, S.O. DUKE, 2007: The occurrence of hormesis in plants and algae. Dose Response **5**, 150-162.

CUTLER, G.C., 2013: Insects, insecticides and hormesis: evidence and considerations for study. Dose-Response **11**, 154-177.

MEIER, U., 1997: BBCH-Monograph. Growth stages of plants – Entwicklungsstadien von Pflanzen – Estadios de las plantas – Développement des Plantes. Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin und Wien, 1-622 S.

RIX, R.R., G.C. CUTLER, 2017: Does multigenerational exposure to hormetic concentrations of imidacloprid precondition aphids for increased insecticide tolerance? Pest Manag. Sci. **74**, 314-322.

SHAO, G.C., X. CHENG, N. LIU, Z.H. ZHANG, 2016: Effect of drought pretreatment before anthesis and post-anthesis waterlogging on water relation, photosynthesis, and growth of tomatoes. Arch. Agron. Soil Sci. **62**, 935-946.

SILVA, F.M.L., S.O. DUKE, F.E. DAYAN, E.D. VELINI, 2016: Low doses of glyphosate change the responses of soyabean to subsequent glyphosate treatments. Weed Res. **56**, 124-136.

STREIBIG, J.C., 1988: Herbicide bioassay. Weed Res. **28**, 479-484.

VAISERMAN, A.M., A.K. KOLIADA, R.L. JIRTLE, 2017: Non-genomic transmission of longevity between generations: potential mechanisms and evidence across species. Epigenet. Chromatin **10** (1), 1-12.

Metabolic resistance to pre-emergence herbicides in grasses

Metabolische Resistenz gegen Vorauflaufherbizide bei Gräsern

Rebecka Duecker[1], Evlampia Parcharidou[1,2], Veronika Brabetz[2], Peter Zoellner[2], Susanne Ries[2], Alberto Collavo[2], Peter Luemmen[2], Roland Beffa[2]*

[1]Georg-August Universität Göttingen, Section of General Plant Pathology and Crop Protection, Grisebachstraße 6, 37077 Göttingen, Germany
[2]Bayer AG, CropScience Division, Industrial Park Höchst, Building H872, 65926 Frankfurt/Main, Germany
*Corresponding author, roland.beffa@bayer.com

DOI 10.5073/jka.2020.464.076

Abstract

Black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) and rye-grass (*Lolium* spp) are very competitive grass weeds. During the last decades, they have evolved resistance to post-emergence herbicides, in particular ACCase- and ALS-inhibitors. This requires more complex weed management strategies. To ensure good control of both weeds, pre-emergence treatments become increasingly important. Particularly flufenacet has become a key herbicide for the control of multiple-resistant black-grass and rye-grass. Yet, in some of those populations, reduced flufenacet efficacy start to be observed. In a screening with black-grass and rye-grass populations of worldwide origins, most populations could be controlled with the registered field rate of flufenacet, however differences in the level of flufenacet efficacy were observed and were in correlation with enhanced flufenacet metabolism. This was particularly the case for rye-grass populations. The use of flufenacet in mixtures with diflufenican, particularly in combination with flurtamone or metribuzin or aclonifen, improved the efficacy significantly. In decreased flufenacet sensitive populations, the efficacy of other pre-emergence herbicides like pendimethalin, prosulfocarb, S-metolachlor, dimethenamid-P and pethoxamid, was also significantly decreased whereas other herbicides like pyroxasulfone or diflufenican remained highly active. This decreased efficacy of flufenacet as well as S-metolachlor was associated with higher metabolism involving glutathione-s-transferases. Although differences between populations were sometimes relatively small, best weed management practices (e.g. application of full dose rates and mixtures) should be applied to reduce selection pressure and prevent the development of resistance. This is particularly important as flufenacet is one of the few still active herbicides suitable for the control of multiple-resistant grass weeds. Use of mixtures associated with agronomic solutions in an Integrated Weed Management approach has to be the main approach.

Keywords: Weed resistance, herbicide, enhanced metabolism, flufenacet, black-grass, rye-grass, glutathione transferases

Zusammenfassung

Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) und Weidelgras (*Lolium* spp) sind sehr konkurrenzstarke Ungräser. In den letzten Jahrzehnten haben diese Arten Resistenzen gegen im Nachauflauf eingesetzte Herbizide, insbesondere ACCase- und ALS-Hemmer, ausgebildet. Daher sind für die Bekämpfung dieser Arten komplexe Management-Strategien nötig. Vor diesem Hintergrund hat der Einsatz von Vorauflauf-Herbiziden deutlich an Bedeutung gewonnen. Insbesondere der Einsatz von Flufenacet hat sich zu einem wichtigen Teil der Bekämpfungsstrategie von Acker-Fuchsschwanz und Weidelgras mit multiplen Resistenzen entwickelt. Jedoch wurde in einzelnen dieser multiple-resistenten Populationen eine reduzierte Wirkung von Flufenacet festgestellt. In einem Screening-Versuche mit verschiedenen Populationen von Acker-Fuchsschwanz und Weidelgras aus der ganzen Welt konnte die Mehrzahl der Populationen mit der zugelassenen Aufwandmenge von Flufenacet ausreichend bekämpft werden. Es wurden aber Unterschiede in der Wirksamkeit von Flufenacet festgestellt, die mit einer erhöhten Metabolisierung von Flufenacet zusammenhingen. Diese Korrelation wurden insbesondere bei Weidelgräsern beobachtet. Der Einsatz von Flufenacet in Mischungen mit Diflufenican, insbesondere in Kombination mit Flurtamone oder Metribuzin oder Aclonifen, erhöhte die Wirksamkeit signifikant. Bei Populationen mit einer verminderten Flufenacet-Sensitivität zeigten auch andere Vorauflauf-Herbizide wie Pendimethalin, Prosulfocarb, S-Metolachlor, Dimethenamid-P und Pethoxamid eine verminderte Wirksamkeit während andere Herbizide wie Pyroxasulfone oder Diflufenican weiterhin eine hohe Wirksamkeit zeigten. Die verminderte Wirkung von Flufenacet und S-Metolachlor war mit einer erhöhten Metabolisierung durch Glutathione-S-Transferasen assoziiert. Auch wenn die Unterschiede zwischen den Populationen in einigen Fällen gering waren, sollten effektive Management-Strategien wie die Applikation der vollen Aufwandmenge und von Mischungen angewendet werden um den Selektionsdruck zu vermindern und die Entwicklung von Resistenzen zu verhindern. Dies ist vor allem deswegen so entscheidend, weil der Wirkstoff

Flufenacet einer der wenigen Wirkstoffe ist, der zur Bekämpfung von Ungras-Populationen mit multipler Resistenz eingesetzt werden kann. Die Anwendung von Mischungen in Kombination mit ackerbaulichem Maßnahmen sollte im Rahmen eines integrierten Konzeptes zur Ungrasbekämpfung eingesetzt werden.

Stichwörter: Acker-Fuchsschwanz, erhöhter Metabolismus, Flufenacet, Glutathion-Transferasen, Herbizidresistenz, Herbizide, Weidelgras

Introduction

In the last decades, herbicide resistance has become a major issue for many weeds (Powles and Yu 2010, Gressel 2009; Peterson et al., 2018), in particular grass weeds like black-grass and rye-grass. The use of pre-emergence herbicides has gained more and more importance due to the evolution of resistance in these grass weeds to herbicides such as inhibitors of ACCase (HRAC group A) and ALS (HRAC group B) applied post-emergence in late winter or early spring. The registration evolution with a decrease in approved active ingredients, or lower registered dose rates, as well as the lack of innovation of chemistries with novel modes of action, have impacted on the weed control strategies with increased use of autumn pre-emergence herbicides (HRAC K3, F1, N, …) and therefore elevated the selection pressure on herbicides resistance. In that context, it is important to follow carefully the resistance evolution to these herbicides in order to continue to bring farmers efficient solutions to keep the weed pressure low and maintain reasonable crop yields.

We report the evolution of resistance against autumn-applied herbicides (mainly applied pre-emergence) involved in the control of grasses, in particular black-grass and rye-grass in cereal-based cropping systems. The implication of glutathione-s-transferase in the detoxification of flufenacet and S-metolachlor will be described. This knowledge allows to set new solutions for autumn grass weed control, based on mixtures of flufenacet, diflufenican and a third partner, either metribuzin or aclonifen (MATENO®). Aclonifen, with a new mode of action used in this weed control segment, is a new tool in terms of resistance management. Combined with agronomic solutions, it increases the toolbox of Integrated Weed Management solutions.

Material and Methods

Plant culture and herbicide assays (dose response analyses)

Several tens of rye-grass and black-grass populations collected worldwide were treated with different pre-emergence herbicides containing in particular flufenacet (CADOU (FFA solo)) and flufencet and diflufenican in combination (FOSBURI) as described previously (Duecker et al. 2019 a; Duecker et al. 2019 b). The effective dose to reduce the plant growth by 50% and 90% have been determined and compared to the recommended field dose. Representative data are presented in Figures 1 and 2.

Detoxification of flufenacet *in planta*

Five days plantlets were treated with flufenacet labelled with ^{14}C. After extraction, both the parent compound and its metabolites were analyzed by HPLC and identified by LC-MS/MS as described by (Duecker et al. 2019 a; Duecker et al. 2019 b). The flufenacet degradation rate was reported for different populations as well as the detoxification pathway (Figures 3 and 4).

Results and discussion

Dose response of several pre-emergence herbicides on rye-grass populations

Three rye-grass populations sensitive to flufenacet and three resistant populations were selected to study their sensitivity to several pre-emergence herbicides as reported in Figure 1. These data showed that other K3 inhibitors, chemically different, like pyroxasulfone, can still control all populations efficiently. This suggests that the mechanism of resistance can be non-target site

related. In addition, an herbicide with another mode of action, like diflufenican (DFF), often mixed with flufenacet, stayed fully active on all populations tested.

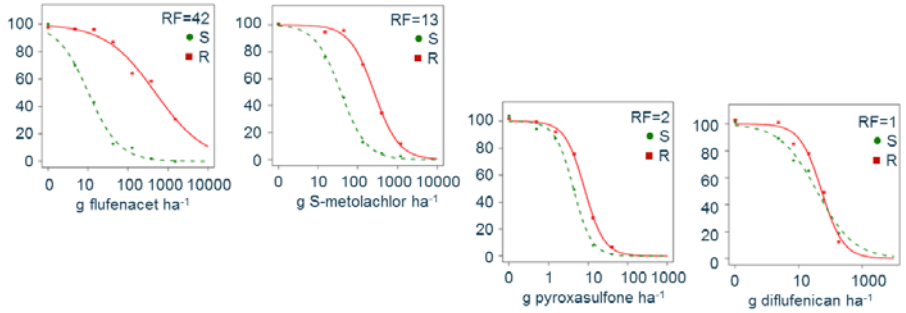


Fig. 1 Example of dose response of different active ingredients applied in pre-emergence on rye-grass. The data represent the average of three resistant populations (red, solid line) and three sensitive populations (green, dotted line). RF: resistance factor.

Abb. 1 *Beispiel von Dosis-Wirkungs-Kurven verschiedener Vorauflaufherbizide zur Bekämpfung von Weidelgras. Die Daten stellen die Mittelwerte von drei resistenten (rote, durchgezogene Linie) und drei sensitiven (grüne, gestrichelte Linie) Populationen dar. RF: Resistenzfaktor.*

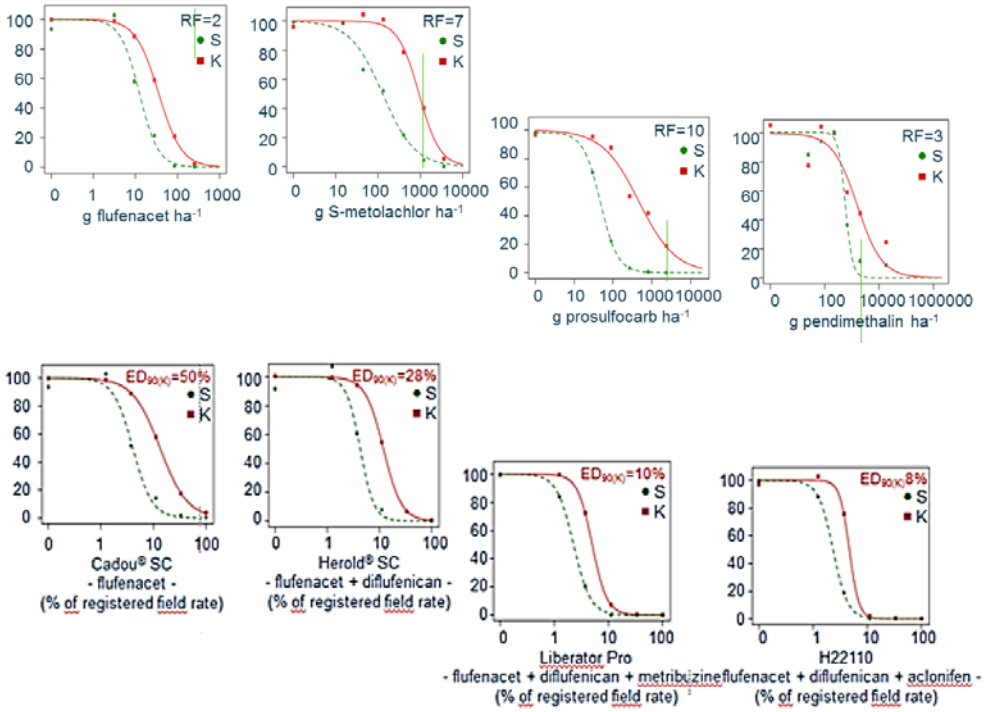


Fig. 2 Example of dose response of different active ingredients applied in pre-emergence on black-grass. The data represent the average of three resistant populations (red, solid line) and three sensitive populations (green, dotted line). RF: resistance factor.

Abb. 2 *Beispiel von Dosis-Wirkungs-Kurven verschiedener Vorauflaufherbizide zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz. Die Daten stellen die Mittelwerte von drei resistenten (rote, durchgezogene Linie) und drei sensitiven (grüne, gestrichelte Linie) Populationen dar. RF: Resistenzfaktor.*

The same approach was followed using black-grass with the difference that fewer populations showed a decreased sensitivity to flufenacet with a resistance factor of only 2 compared to 42 for rye-grass (Figs. 1 and 2). The data obtained showed that in comparison to S-metolachlor, prosulfocarb and pendimethalin, flufenacet remains the most active herbicide on black-grass (Fig. 2, upper data set). To compare the efficacy of mixtures (Figure 2, bottom data set), the recommended field dose is represented by 100 (100%) on the x-axis. A dose of 90% of flufenacet controlled only 50% (ED90(K) = 50%) of less sensitive black-grass populations (red, solid line). A mixture of flufenacet and DFF already allowed controlling 28% of these populations with a dose of 90% (ED90). Finally, three-way mixtures, either with metribuzine or aclonifen restored the control of all populations tested. This showed that to mitigate the evolution of resistance as much as possible, flufenacet has to be mixed with DFF and a third partner, either metribuzin or aclonifen. These mixtures contain active ingredients representing three modes of action.

Detoxification of flufenacet *in planta*

A time course of flufenacet content in three sensitive and three resistant rye-grass populations was performed. Rye-grass populations resistant to flufenacet (red lines, Fig. 3) showed a much faster detoxification of flufenacet than the sensitive populations (green lines, Fig.3). In addition, a good correlation was found between the rate of flufenacet degradation and its biological efficacy found in the greenhouse (Fig. 3). This suggests that flufenacet metabolism is the main mechanism causing flufenacet resistance. Similar results (not shown) were found in black-grass.

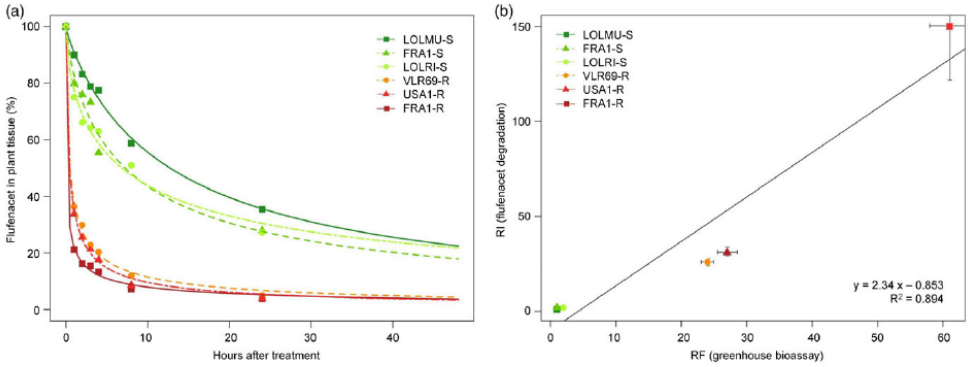


Fig. 3 Detoxification rate of flufenacet (a) in three resistant (red) and susceptible (green) populations of rye-grass. Comparison of the detoxification rate with the resistance factor (RF) determined in greenhouse bioassays (b).

Abb. 3 *Detoxifikationsrate von Flufenacet (a) in drei resistenten (rot) und sensitiven (grün) Weidelgras-Populationen. Vergleich der Detoxifikationsrate mit den im Gewächshaus-Biotest ermittelten Resistenzfaktoren (RF) (b).*

Using HPLC and LC-MS/MS, the different flufenacet metabolites were characterized. It was found that the first metabolite formed was a conjugate between glutathione and flufenacet suggesting a strong involvement of glutathione-s-transferases. Then, different secondary metabolites were found as summarized in Figure 4.

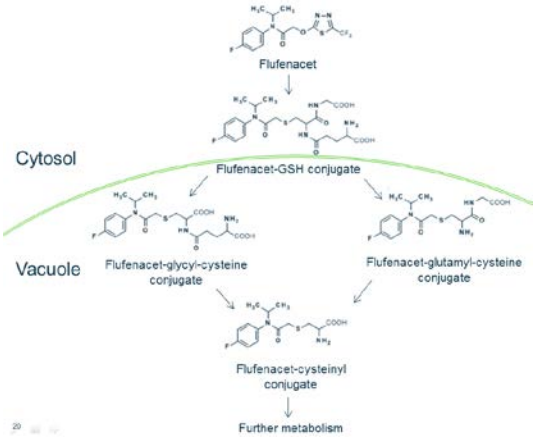


Fig. 4 Summary of flufenacet degradation pathways evidenced by HPLC and LC-MS / MS analyses in rye-grass and black-grass.

Abb. 4 *Zusammenfassung des Degradationspfades von Flufenacet in Weidelgras und Acker-Fuchsschwanz (analysiert mit Hilfe von HPLC und LC-MS / M).*

Discussion and Conclusion

In a few populations of rye-grass and black-grass, a decreased sensitivity to flufenacet was observed with a higher frequency in rye-grass than in black-grass. Because flufenacet resistance was so far observed only in rare cases in agronomic situations, it is important to decrease the selection pressure as soon as possible. In addition to combinations with agronomic solution (crop rotation, proper soil management, delayed sowing date, false seed bed, etc.) one of the best approaches is to combine flufenacet with other pre-emergence herbicides with other modes of action like DFF and metribuzine or aclonifen. These solutions, as for example, Mateno®, have proven an optimal efficacy on all tested populations so far. Pre-emergence herbicides are essential tools to control grass weeds and have to be used carefully to mitigate resistance evolution. Flufenacet was found to be faster detoxified in less sensitive population, involving glutathione-s-transferases (GSTs). Genomic approaches will be useful to characterize what gene(s) encoding GSTs will be involved (RAVET et al., 2018). This finding allows setting biochemical and molecular tools to perform diagnostics of the evolution of resistance as early as possible and thus define the best active ingredient combinations to obtain and maintain a high efficacy as long as possible. Combined with Integrated Weed Management, there are opportunities to maintain efficient weed control and insure reasonable crop yield production.

References

DÜCKER, R., P. ZÖLLNER, P. LÜMMEN, S. RIES, A. COLLAVO, R. BEFFA, 2019a: Glutathione transferase plays a major role in flufenacet resistance of ryegrass (*Lolium* spp) field population. Pest Manag. Sci. **75**, 3084-3092.

DÜCKER, R., P. ZÖLLNER, E. PARCHARIDOU, S. RIES, L. LORENTZ, R. BEFFA, 2019b: Enhanced metabolism causes reduced flufenacet sensitivity in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) field populations. Pest Manag. Sci. **75**, 2996-3004.

GRESSEL, J., 2009: Evolving understanding of evolution of herbicide resistance, Pest Manag. Sci. **65**, 1164-1173.

PETERSON, M., A. COLLAVO, R. OVEJERO, V. SHIVRAIN, M.J. WALSH, 2018: The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. Pest. Manag. Sci. **74**, 2246-2259.

POWLES, S., Q. YU, 2010: Evolution in action: plants resistant to herbicides. Annu. Rev. Plant Biol. **61**, 317-347.

RAVET, K., E.L. PATTERSEN, H. KRÄHMER, K. HAMOUZOVA, L. FAN, M. JASIENIUK, A. LAWTON-RAUH, J.M. MALONE, J.S. MCELROY, A. MEROTTO, P. WESTRA, Ch. PRESTON, M. VILA-AIUB, R. BEFFA, P. NEVE, T.A. GAINES, 2018: The power and potential of genomics in weed biology and management. Pest Manag. Sci. **74**, 2216-2225.

Autoren – Authors

A

Adolph, Gunter 420
Aliabadi, Mirjam 295
Andert, Sabine 29, 47, 280, 354, 407
Augustin, Bernd 339, 367

B

Back, Hans 16
Bahrs, Enno 16
Beffa, Roland 490, 505
Bein, Harry 121
Bein-Lobmaier, Bettina 121
Belz, Regina G. 498
Berg, Volker 237
Bergmann, Elke 449
Beyer, Marco 64
Bohren, Christian 420
Bøjer, Ole Mission 228
Bonin, Juergen 154
Brabetz, Veronika 505
Brand, Sinja 103
Brändle, Frank 477
Brandsæter, Lars Olav 280
Bröring, Johannes 255
Bückmann, Heidrun 228
Bürger, Jana 211

C

Colbus, Moritz 64
Collavo, Alberto 505
Czerny, Robert 72

D

Dankert, Philipp 192
de Mol, Friederike 47, 109, 205, 354
Dicke, Dominik 344
Drießen, Pascal 261
Duecker, Rebecka 505
Dunekacke, Hilmar 216
Durec, Nora 295

E

Eggert, Marie 174
Eickermann, Michael 64
Eigenmann, Marco 415
Elsäßer, Martin 85
Ergas, Benjamin 261, 438
Ewert, Katrin 449

F

Feise, Dirk 216
Festner, Thomas 149, 182, 319, 395, 400
Fishkis, Olga 264
Freitag, Joachim 127

G

Gehring, Klaus ... 149, 182, 319, 339, 367, 395, 400, 460
Gerhards, Roland 432
Gerowitt, Bärbel .. 47, 109, 186, 205, 280, 354, 407, 464
Glemnitz, Michael 205
Goertz, Dörte 169
Golla, Burkhard 216, 286
Götze, Philipp 90
Grant, Kerstin 85
Gummert, Annett 246
Günther, Jannik 286

H

Haas, Hans Ulrich 200
Haberlah-Korr, Verena 360
Hall, Rea Maria 72, 121, 295
Helbig, Jan 246
Henneken, Iris 360
Hermann, Anastasia 438
Herrmann, Johannes 333, 490
Herrmann, Marco 216
Heß, Martin 333
Heyer, Wolfgang 192
Hiltbrunner, Jürg 301
Hoffmann, Lucien 64
Hofmann, Diana 387
Hüsgen, Kerstin 460

J

Jahncke, Daniel 216, 286
Jeanneret, Philippe 290
Jilg, Annette 85

Jochmann, Jan 354
Jöring, Tobias 471

K

Kalfa, Antje-Viola 360
Karpinski, Isabella 36, 216, 286
Karrer, Gerhard 72, 121, 295
Kaul, Hans-Peter 72, 121
Kehlenbeck, Hella 246
Keil, Sven 477
Keller, Martina 116, 415
Kleinhenz, Benno 216
Knopp, Annika 237
Koch, Heinz-Josef 90, 264
Koch, Maximilian 261, 438
Koch, Wernfried 192
Kochersperger, Philip 200
Köhler, Lisa 161, 371, 378, 387, 441, 471
Krato, Christoph 135, 186
Krauss, Jürgen 116, 415
Kuhlmann, Josef 471
Kunz, Axel 154

L

Ladewig, Erwin 142
Laufer, Daniel 142
Lepke, Janin 490
Löbmann, Anja 477
Luemmen, Peter 505

M

Matthiesen, Asmus 216
Meinlschmidt, Ewa 344, 449, 460
Meßmer, Hans-Jürgen 182
Messner, Jörg 85
Moebs, Philipp 182
Mohr, Manfred 182
Mücke, Markus 270

N

Neuweiler, Reto 116
Nordmeyer, Henning 15, 216, 222
Novak, Johannes 121

P

Paap, Madeleine 246
Pannwitt, Heike 47, 186
Parcharidou, Evlampia 505
Pentschew, Silke 192
Peters, Juliane 200
Petersen, Jan 237, 326, 477
Pflanz, Michael 222
Pohl, Jan-Philip 216, 222
Pütz, Thomas 387

R

Radziewicz, Markus 387
Raffel, Hans 326
Rajmis, Sandra 36, 216, 286
Rasmussen, Jesper 280
Richter, Otto 490
Ries, Susanne 505
Rischen, Marie 169
Rissel, Dagmar 486
Risser, Peter 438
Robin, Marie-Helene 280
Röhrig, Manfred 216
Runge, Fabian 477
Rydahl, Per 228

S

Salonen, Jukka 280
Sander, Reinhard 216
Schappert, Alexandra 432
Schenke, Ewald 169
Schmalstieg, Heiko 449
Schönhammer, Alfons 127
Schulte, Martin 135, 200
Schulz, Julia 109
Schulz, Marleen 307
Schulz, Thomas 154
Schumacher, Matthias 432
Schwager, Friedhelm 307
Schwarz, Jürgen 51, 97
Sinn, Christoph 216, 286
Söchting, Hans-Peter 57, 103, 427
Sölter, Ulrike 80
Steiger, Simon 64
Steinger, Thomas 290
Steinmann, Horst-Henning 22
Stieg, Detlef 427
Strahm, Simon 301
Strehlow, Becke 307
Stuke, Franz 360

T

Tamms, Laura 205

Tanner, Lukas 420
Thiele, Katja 174
Tholen, Tobias 261
Thyssen, Stefan.. 149, 182, 319, 395, 400, 460
Tørresen, Kirsten S. 280
Total, René 116
Treer, Sergiu 64
Tümmler, Christine 449, 460

U

Ulber, Lena 15, 486
Urban, Bernhard 295

V

Valantin-Morison, Muriel 280
Verschwele, Arnd 80, 228
Vogelgsang, Susanne 290
von Bargen, Frank 216
von Hörsten, Dieter 216, 255
von Redwitz, Christoph 211

W

Wagentristl, Helmut 72
Wagner, Jean 333
Warnecke-Busch, Goßswinth... 161, 270, 371, 378, 387, 441, 471
Weeber, Hartmut 460
Wegener, Jens Karl 216
Wellhausen, Christina 216, 222
Werner, Bernhard 441
Wienberg, Jens 464
Winter, Anna 72
Wirth, Judith 290
Witte, Felix 16
Wolber, Dirk Michael 161, 371, 378, 387, 441, 471

Z

Zamani-Noor, Nazanin 103
Zant, Lisa 295
Zhang, Han 47, 280
Ziesemer, Andrea 29
Zoellner, Peter 505
Zorn, Alexander 290
Zwerger, Peter 15, 57

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

29. 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 sowie der Resistenzanalyse, Populationsdynamik und Biodiversität, Verfahren zur Herbizidreduktion, Alternativen im Unkrautmanagement, Gewässerschutz und Ökonomie. Die Themen werden in Workshops vertieft. 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).

29th 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 and resistance analysis, population dynamics and biodiversity, methods for herbicide reduction, alternatives in weed management, water protection and economics. Thematic workshops will deepen these discussions. 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).

JKI
Julius Kühn-Institut
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

ISBN 978-3-95547-088-3