

4 6 8

Julius-Kühn-Archiv

Lena Ulber, Dagmar Rissel

Tagungsband

30. Deutsche Arbeitsbesprechung
über Fragen der

Unkrautbiologie und – bekämpfung

22. - 24. Februar 2022, online

Proceedings

30th German Conference on

Weed Biology and Weed Control

February 22-24, 2022, Braunschweig, online



Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI)

Das Julius Kühn-Institut ist eine Bundesoberbehörde und ein Bundesforschungsinstitut im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Es umfasst 17 Institute zuzüglich gemeinschaftlicher Einrichtungen an 10 Standorten. 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, Pflanzenzüchtungsforschung, Pflanzenbau, Pflanzenernährung und Bodenkunde sowie Pflanzenschutz, Bienenschutz 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 Institute (JKI) is the Federal Research Centre for Cultivated Plants in Germany and an autonomous superior federal authority in the portfolio of the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL). It is structured into 17 institutes and several research service units on 10 sites. 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, breeding research, agronomy, plant nutrition and soil science as well as plant protection, bee protection and plant health. On this basis, the JKI networks all important departmental tasks relating to cultivated plants – whether grown in fields and forests, in the glasshouse or in an urban environment – and develops integrated concepts for plant cultivation as a whole, ranging from plant production to plant care and plant usage. Research and sovereign functions are closely intertwined.

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

**Gemeinschaft der Förderer und Freunde
des Julius Kühn-Instituts, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen e.V. (GFF)**
Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg,
Tel.: 03946 47-200, E-Mail: GFF@julius-kuehn.de
Internet: <http://www.julius-kuehn.de/> Bereich "Das JKI/Wer wir sind/Fördervereine"

4 6 8

Julius-Kühn-Archiv

Lena Ulber, Dagmar Rissel

Tagungsband

30. Deutsche Arbeitsbesprechung
über Fragen der

Unkrautbiologie und – bekämpfung

22. - 24. Februar 2022, online

Proceedings

30th German Conference on

Weed Biology and Weed Control

February 22-24, 2022, Braunschweig, online



Herausgeber

Lena Ulber, Dagmar Rissel

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland

Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig

Programmkomitee

Regina Belz (Universität Hohenheim)

Herwart Böhm (Thünen-Institut)

Klaus Gehring (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft)

Bärbel Gerowitt (Universität Rostock)

Verena Haberland-Korr (Fachhochschule Südwestfalen)

Jan Petersen (Technische Hochschule Bingen)

Boris Schröder-Esselbach (Technische Universität Braunschweig)

Martin Schulte (ehemals Syngenta Agro GmbH)

Dagmar Rissel (Julius Kühn-Institut)

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

Drohne über Gerstenfeld mit Windhalm- und Distelbesatz; Arno Littmann, Julius Kühn-Institut

Wir danken herzlich für die wissenschaftliche Begutachtung der Tagungsbeiträge durch:

We like to thank all reviewers for their effort

Regina Belz (Universität Hohenheim)

Heidrun Bückmann (Julius Kühn-Institut)

Thomas Eggers (ehemals BBA)

Thomas Engelke (Julius Kühn-Institut)

Bärbel Gerowitt (Universität Rostock)

Christoph Kämpfer (Julius Kühn-Institut)

Jeannette Lex (Julius Kühn-Institut)

Jan Petersen (Technische Hochschule Bingen)

Christoph von Redwitz (Julius Kühn-Institut)

Dagmar Rissel (Julius Kühn-Institut)

Martin Schulte (ehemals Syngenta Agro GmbH)

Jürgen Schwarz (Julius Kühn-Institut)

Hans-Peter Söchting (Julius Kühn-Institut)

Ulrike Sölter (Julius Kühn-Institut)

Lena Ulber (Julius Kühn-Institut)

Arnd Verschwele (Julius Kühn-Institut)

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 10.5073/20220117-064519



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

Vorwort	9
Preface	
Einleitende Referate	10
Keynote presentations	
Was kommt nach der "Chemie"? - Herausforderungen für die Unkrautforschung	10
What comes after "chemistry"? - Challenges for weed research	
Herbicide resistance: Can German researchers and farmers learn from experiences in Australia and North America?	14
Herbizidresistenz: Können deutsche Wissenschaftler und Landwirte von den Erfahrungen in Australien und Nordamerika lernen?	
Sektion 1: Biodiversität	
Session 1: Biodiversity	
Reintroduction of rare arable weeds under various farming practices and their influence on ecosystem services and yield	18
Wiederansiedlung seltener Ackerwildkräuter unter verschiedenen Anbaumethoden und ihr Einfluss auf Ökosystemdienstleistungen und Ertrag	
Zeitliche Dynamik von Blütenangebot und Samenreichtum einer mehrjährigen Blühpflanzenmischung	27
Time dynamics of flower richness and seed abundance of a perennial wildflower mixture	
Zur Frage der Regulierung von Blühpflanzen aus ehemaligen Blühflächen in ackerbaulichen Folgekulturen	34
On the question of regulating flowering plants from former flowering areas in subsequent arable crops	
Einfluss von Unkraut-, Zwischenfrucht- und Blühstreifenarten auf die Epidemiologie und Pathogenität von <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	41
Effect of weeds, cover crop cultivation and flowering plant strips on epidemiology and pathogenicity of <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	
Ackerunkräuter in Deutschland unterstützen die Artenvielfalt von Arthropoden und Vögeln	48
Common arable weeds in Germany support the biodiversity of arthropods and birds	
Analyse der Unkrautflora in deutschlandweiten Herbizidversuchen im Zuckerrübenanbau (1995–2020)	55
Analysis of the weed flora in Germany-wide herbicide trials (1995–2020)	
Potential of herbicide reduction by automatic spot spraying in sugar beet with regard to weed control and biodiversity	60
Potenzial der Herbizideinsparung durch automatisiertes Spot-Spraying in Zuckerrüben im Hinblick auf Unkrautbekämpfung und Biodiversität	
Session 2: In focus - arable perennial weeds	
Sektion 2: Im Focus - Mehrjährige Ackerunkräuter	
The challenges of arable creeping perennial weeds in research, management and perception addressed in the joint project AC/DC-weeds	68
Herausforderungen perennierender Ackerunkräuter für Forschung, Management und Wahrnehmung im Gemeinschaftsprojekt AC/DC-weeds	
Praxiserfahrungen zu Wurzelunkräutern im Ackerbau	73
Farmers' perspectives of perennial weeds in arable farming	

Mechanical disturbance of <i>Cirsium arvense</i> - Results from a multi-year field study	79
Mechanische Kontrolle von <i>Cirsium arvense</i> - Ergebnisse eines mehrjährigen Feldversuchs	
The herbicidal potential of Pelargonic Acid to control <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop. in relation to the timing of application and the application volume	86
Die Wirkung von Pelargonsäure zur Kontrolle von <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop. in Abhängigkeit von Applikationszeitpunkt und -volumen	
IPSIM-Cirsium, a qualitative expert-based model to predict infestations of <i>Cirsium arvense</i>	94
IPSIM-Cirsium, ein qualitatives, expertenbasiertes Modell zur Vorhersage der Befallsstärke von <i>Cirsium arvense</i>	
Autumn mowing and pelargonic acid can suppress <i>Elymus repens</i> abundance especially when combined with increased crop competition	100
Die Kombination aus Schröpfen, dem Einsatz von Pelargonsäure und einer erhöhten Konkurrenz der Kulturpflanzen kann das Vorkommen von <i>Elymus repens</i> unterdrücken	
Visualizing growth of <i>Cirsium arvense</i> (L.) scop. for farmers	105
Visualisierung des Wachstums von <i>Cirsium arvense</i> (L.) scop. für Landwirte	
Sektion 3: Unkräuter in Nutzungssystemen	
Session 3: Weeds in cropping systems	
Management von Wasser-Greiskraut (<i>Jacobaea aquatica</i>) in der konventionellen Grünlandbewirtschaftung	110
Management of marsh ragwort (<i>Jacobaea aquatica</i>) in conventional grassland cultivation	
Management von Wasser-Greiskraut (<i>Jacobaea aquatica</i>) in Wirtschaftsgrünland des ökologischen Landbaus	117
Management of Marsh Ragwort (<i>Jacobaea aquatica</i>) in organic grassland	
Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Wasser-Greiskraut (<i>Jacobaea aquatica</i>) und landschaftlichen sowie landwirtschaftlichen Faktoren in Bayern	122
Relationship between the occurrence of marsh ragwort (<i>Jacobaea aquatica</i>) and factors of landscape and farming in Bavaria (Germany)	
Mehrjährige Schwarzbrache: Eine geeignete Methode zur Erdmandelgras-Bekämpfung	128
Several years of fallow: an appropriate method for yellow nutsedge control	
Precision weed control: a spatially explicit individual based model	141
Präzise Unkrautkontrolle: ein räumlich-explizites, Individuen-basiertes Modell	
Einfluss der Fruchtfolge auf die Verunkrautung	147
Influence of crop rotation on weed infestation	
Einfluss der Intensität der Herbizidbehandlung auf die Entwicklung der Unkrautflora und die Ökonomik im Ackerbau - Erfahrungen aus einem Dauerversuch	155
Influence of the intensity of herbicide treatment on the development of weed flora and the economics of agriculture	
Auswirkungen reduzierter Herbizidaufwandmengen auf den Unkrautdeckungsgrad dikotyler Unkräuter – Ergebnisse aus einem Dauerfeldversuch	161
Effects of reduced herbicide application rates on weed coverage of dicotyledonous weeds - results from a long-term field trial	
Auswirkungen von Pflanzenschutz und Düngung auf den Unkrautauflauf – Vergleich von Fruchtfolgen	167
Effects of pesticides and fertilization on weed emergence - comparison of crop rotations	

Untersuchungen zur Lebensdauer der Diasporen von <i>Datura stramonium</i> L.	173
Studies on the longevity of the diaspores of <i>Datura stramonium</i> L.	
Utilisation of old, extensive pig breeds for yellow nutsedge (<i>Cyperus esculentus</i>) control - A non-chemical and appealing approach	182
Einsatz von alten, extensiven Schweinerassen zur Erdmandelgrasbekämpfung – ein nicht-chemischer, attraktiver Ansatz	
Sektion 4: Resistenzmanagement	
Session 4: Resistance management	
Management of herbicide resistant weeds in a crop rotation with an Acetolactat-synthase-inhibitor tolerant sugarbeet variety	187
Kontrolle von herbizidresistenten Unkräutern in einer Fruchtfolge mit einer Acetolactat-Synthase-Hemmer toleranten Zuckerrübensorte	
Möglichkeiten der digitalen Unkraut- und Resistenzmanagement-Beratung basierend auf Praxisdaten aus einem deutschlandweiten Monitoring der Jahre 2019-2021	194
Potential for a digital weed and resistance management tool based on field data of a monitoring conducted in Germany between 2019-2021	
Ergebnisse eines deutschlandweiten Gräser-Monitorings der Jahre 2019 - 2021: Befalls- und Resistenzentwicklung	199
Results of a weed monitoring 2019-2021: Development of infestation and resistance situation	
Resistenzsituation in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen sowie Empfehlungen der Pflanzenschutzdienste zu Antiresistenz-Strategien am Beispiel von Ackerfuchsschwanz (<i>Alopecurus myosuroides</i>)	206
On the issue of herbicide resistance in the federal states Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia and recommendations of the official plant protection service for the control of <i>Alopecurus myosuroides</i>	
Sektion 5: Resistenzanalyse	
Session 5: Resistance analysis	
Resistance patterns of a bur chervil (<i>Anthriscus caucalis</i> M. Bieb.) population with a point mutation within the acetolactate synthase gene in comparison with sensitive bur chervil and further weedy Apiaceae species	214
Resistenzmuster einer Hundskerbel- (<i>Anthriscus caucalis</i> M. Bieb.) Population mit Punktmutation innerhalb des Acetolactat-Synthase-Gens im Vergleich mit sensitivem Hundskerbel und weiteren Schaddoldenblütlern	
Untersuchungen zur Selektion metabolischer Resistenz bei <i>Alopecurus myosuroides</i> Huds. durch Pinoxaden und Pyroxulam in Dosis-Wirkungsversuchen im Gewächshaus – Analyse der F1-Generation	222
Studies on the Selection of Metabolic Resistance in <i>Alopecurus myosuroides</i> Huds. to Pinoxaden and Pyroxulam in Dose-Response Experiments in the greenhouse - Analysis of the F1 Generation	
Investigation of glutathione transferases at the gene regulation level in flufenacet resistant black-grass populations (<i>Alopecurus myosuroides</i> Huds.)	230
Untersuchung von Glutathiontransferasen auf Genregulationsebene in Flufenacet-resistenten Ackerfuchsschwanzpopulationen (<i>Alopecurus myosuroides</i> Huds.)	
Einsatz moderner Resistenz-Diagnostik für die Generierung repräsentativer Daten als Basis für ein Algorithmen-gestütztes Herbizidmanagement	237
Use of modern resistance diagnostics for the generation of representative data as the basis for an algorithm-based herbicide management	
Herbicide resistance prediction: a mechanistic model vs a random forest model	244
Vorhersage der Herbizidresistenz: ein mechanistisches Modell vs. ein Random Forest-Modell	

Glyphosatresistenz bei Mäuseschwingel (<i>Vulpia myuros</i>)	250
Glyphosate resistance of Rat's-tail Fescue (<i>Vulpia myuros</i>)	
Sektion 6: Elektro-Weeding	
Session 6: Electro weeding	
Alternative Unkrautregulierung in Zuckerrüben – Überprüfung der Effizienz mechanischer und elektrischer Zwischenreihenbehandlung	255
Alternative weed control in sugar beet - verification of the efficiency of mechanical and electrical inter-row treatment	
Möglichkeiten eines elektrophysikalischen Verfahrens zur Sikkation in Frühkartoffeln und Bekämpfung von ausdauernden Unkräutern	262
Possibilities of an electrical - physical technology for desiccation of early potatoes and control of perennial weeds	
Could electricity be an alternative method of weed control in the vineyard?	269
Kann Strom eine alternative Methode in der Unkrautregulierung im Weinberg sein?	
Electrical weed control and its effect on soil organisms	277
Elektrische Unkrautbekämpfung und ihre Wirkung auf Bodenorganismen	
Ackerunkrautkontrolle mit UV-C Strahlung am Beispiel der Modellpflanze Ölrettich, <i>Raphanus sativus</i> var. <i>oleiformis</i>	283
Weed control with UV-C radiation using oil radish, <i>Raphanus sativus</i> var. <i>oleiformis</i> as model plant	
Sektion 7: Herbizid-Innovation und -Management	
Session 7: Herbicide innovation and management	
Einsatz des neuen bodenwirksamen Herbizids LUXIMO® zur Bekämpfung von Ungräsern in Getreide im Herbst	290
Use of the new soil-effective herbicide LUXIMO® for control of grass weeds in cereals in autumn	
Chemische Regulierung von Acker-Fuchsschwanz (<i>Alopecurus myosuroides</i>) in der Wintergerste – Erfahrungen aus einer 30-jährigen Versuchsserie	298
Chemical regulation of black-grass (<i>Alopecurus myosuroides</i>) in winter barley – experiences from a 30-year series of field trials	
Hält der späte Saattermin, was er verspricht? Auswertungen zur Herbizid-Intensität in Winterweizen und Wintergerste	306
On-farm herbicide use in winter wheat and barley in response to the seeding date	
Zur Frage der Bekämpfung von Weidelgras (<i>Lolium</i> spp.) mit chemischen und ackerbaulichen Maßnahmen in Raps und Getreide	313
On the question of ryegrass (<i>Lolium</i> spp.) control with chemical and agronomic measures in oilseed rape and cereals	
CALARIS® MAXX - Eine Neuformulierung zur Kontrolle von Unkräutern und Ungräsern unter sich ändernden Anforderungen im Maisanbau	319
CALARIS® MAXX – A new formulation for control of weeds and grasses under changing requirements in maize cropping	
CONVISO® SMART Stewardship: internationale Erfahrungen zu erfolgreichem Management herbizidtoleranter Zuckerrüben	326
CONVISO® SMART Stewardship: international experiences on successful management of herbicide-tolerant sugar beet	

Wirksamkeit der Bandapplikation von Conviso® One in Zuckerrüben	331
Efficacy of Conviso One as band application in sugar beet	
Effect of cinmethylin (LUXIMO®) in combination with non-chemical measures against <i>Alopecurus myosuroides</i> Huds. in winter cereals	339
Einfluss von cinmethylin (LUXIMO®) in Kombination mit nicht-chemischen Verfahren gegen <i>Alopecurus myosuroides</i> Huds. in Wintergetreide	
Betrieblicher Herbizid-Einsatz zur Kontrolle von <i>Cirsium arvense</i> in Winterweizen	345
On-farm herbicide use to control <i>Cirsium arvense</i> in winter wheat	
Control of hoary cress (<i>Lepidium draba</i> L.) in strawberry production	353
Bekämpfbarkeit von Pfeilkresse (<i>Lepidium draba</i> L.) im Erdbeeranbau	
Named Entity Recognition (NER) von Warndienstmeldungen im Gartenbau: Eine empirische Studie zu Design, Entwicklung und Bewertung der statistischen und Deep-Learning benutzerdefinierten NER-Modelle	360
Named Entity Recognition (NER) of warning messages in gardening: An empirical study of the design, development, and evaluation of statistic and deep-learning user-defined NER models	
Sektion 8: Mechanische Unkrautkontrolle	
Session 8: Mechanical weed control	
Optimierung der nicht-chemischen Unkrautbekämpfung in flachwachsenden Aroma- und Heilpflanzenkulturen	366
Optimisation of techniques in weed management in medicinal and aromatic flat growing herbs	
Auswirkungen von Grundboden- und wiederholter flacher Frühjahrsbearbeitung auf die Dichte und Artenzusammensetzung der Segetalflora im Melisseanbau (<i>Melissa officinalis</i>)	372
Combined effects of primary and spring tillage on weed density and composition in sown lemon balm (<i>Melissa officinalis</i>)	
Betriebliche Erfahrungen zur mechanischen Unkrautkontrolle in Winterraps	378
Farmers' perspectives of mechanical weed control in winter oilseed rape	
Systeme zur mechanischen und mechanisch-chemischen Unkrautregulierung Winterraps (<i>Brassica napus</i> subsp. <i>napus</i>) - Versuche in Niedersachsen	385
Mechanical and mechanical-chemical weed control in rape (<i>Brassica napus</i> subsp. <i>napus</i>) - trials in Lower Saxony	
Systeme zur Unkrautregulierung mit Hacke und Bandspritze in Zuckerrüben (<i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i>) - Versuche in Niedersachsen	392
Mechanical-chemical weed control in sugar beets (<i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i>) with hoes in conjunction with a band spraying equipment - trials in Lower Saxony	
Systeme zur Unkrautregulierung mit dem Striegel in Zuckerrüben (<i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i>) - Versuche in Niedersachsen	400
Mechanical weed control in sugar beets with comb harrow (<i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i>) - trials in Lower Saxony	
Sektion 9: Alternativen im Unkrautmanagement	
Session 9: Alternative measures for weed control	
Zwischenfrüchte als Ersatz für Glyphosat?	407
Catch crops as replacement for Glyphosat?	

Potential von ‘Harvest Weed Seed Control’ zur Kontrolle von Acker-Fuchsschwanz (<i>Alopecurus myosuroides</i> Huds.)	416
Potential of blackgrass (<i>Alopecurus myosuroides</i> Huds.) for Harvest Weed Seed Control	
Studies on the efficacy of pelargonic acid for weed control	424
Untersuchungen zur Wirksamkeit von Pelargonsäure zur Unkrautkontrolle	
Better-Weeds – Next generation weed management	432
Better-Weeds – Unkrautmanagement der nächsten Generation	
LURUU – Lasereinsatz zur Unkrautregulierung bei resistenten Ungräsern und Unkräutern	438
LURUU – Laser application for weed control of resistant weeds and grasses	
Unkrautregulierung durch regelmäßige Bestrahlung mit Blaulicht-Laser als Herbizidersatz	443
Weed control with frequent blue-light laser treatment as an alternative to herbicides	
Projekt „Ausstieg Glyphosat“ – Untersuchung und Bewertung von Verfahren zur Vegetationskontrolle für den geplanten Einsatz im Gleisbereich	448
Project "Exit Glyphosate" - Investigation and evaluation of methods for vegetation control for the planned use in the track area	
Einfluss des Gemengeanbaus verschiedener Körnerleguminosen auf die photosynthetisch-aktive Strahlung (PAR) im Bestand und die Unkrautunterdrückung unter Bedingungen des ökologischen Landbaus	456
Effect of intercropped grain legumes on the photosynthetically active radiation under crop canopy and the weed under the conditions of organic farming	
Einfluss von Kompost auf das Auflaufverhalten von Unkräutern in Zuckerrüben	461
Effect of compost on weed emergence in sugar beet	
Monitoring von Winden (<i>Convolvulus</i> sp.) mit Drohnen	468
Low-cost monitoring of <i>Convolvulus</i> sp. with drones	

Vorwort

Preface

Die 30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung („Unkrauttagung“) kann im Jahr 2022 leider nicht in der gewohnten und von uns angestrebten Form stattfinden. War es uns mit der 29. Unkrauttagung im Jahr 2020 gerade noch gelungen, die Tagung in Präsenz abzuhalten, ist uns das für die diesjährige Tagung aufgrund der immer noch andauernden SARS-CoV-2-Pandemie nicht möglich. So haben sich Veranstalter und Programmkomitee entschieden, die Unkrauttagung erstmalig in einem Online-Format durchzuführen. Diese Entscheidung ist nicht leichtgefallen, da die Tagung auch immer ein Anlass für persönliche Treffen und lebhaftes Diskussions war. Aber auch eine Verschiebung um ein Jahr erschien uns kein gangbarer Weg, da zahlreiche und sehr aktuelle Beiträge für diese Tagung angemeldet wurden. Daher freuen wir uns, Sie hoffentlich bei der nächsten Unkrauttagung im Jahr 2024 wieder persönlich in Braunschweig treffen zu können.

Das Julius Kühn-Institut (JKI), das Institut für Geoökologie der Technischen Universität Braunschweig und der Arbeitskreis Herbiologie der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft (DPG) wollen mit der 30. Unkrauttagung allen an der Herbiologie interessierten Kolleginnen und Kollegen der Hochschulen, Industrie, Beratung und öffentlichen Verwaltung ein Forum zum wissenschaftlichen Austausch bieten. Auch im Online-Format bietet die Unkrauttagung eine einzigartige Möglichkeit, sich über aktuelle Erkenntnisse und neue Forschungsergebnisse im Bereich der Herbiologie auszutauschen sowie innovative Verfahren für die Unkrautbekämpfung vorzustellen und zu diskutieren.

Die wissenschaftlichen Beiträge der Tagung und des vorliegenden Tagungsbandes befassen sich zum einen mit Fragen der Unkrautbiologie und Populationsdynamik mit einem besonderen Fokus auf den perennierenden Unkrautarten. Zum anderen mit aktuellen Schwerpunktthemen wie Biodiversität, Herbizidresistenz und Aspekten eines effektiven Unkrautmanagements in Grünland sowie mit alternativen, nicht-chemischen Verfahren wie mechanischer Unkrautbekämpfung und dem Einsatz von UV-Strahlung und elektrischer Energie. 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.

Gerade die zahlreichen und auch vielfältigen Konzepte und Lösungsstrategien zur Bekämpfung der Unkräuter ohne die Verwendung von chemisch-synthetischen Herbiziden haben uns bewogen, an dem Termin der 30. Unkrauttagung festzuhalten. Für die bevorstehende Transformation der Landwirtschaft im Allgemeinen und der Pflanzenproduktion im Besonderen gilt es, adäquate Anpassungsstrategien jenseits der Herbizide zu entwickeln, die sich an den Erwartungen der Gesellschaft orientieren und in der Politik und der breiten Öffentlichkeit Akzeptanz finden. Die Lösungskonzepte werden aber nur dann tragfähig sein, 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. Dabei sind neben den politischen Akteuren insbesondere auch Forschung, Wissenschaft und Beratung gefordert, Konzepte für eine strategische Neuausrichtung des Acker- und Pflanzenbaus zu erarbeiten.

Braunschweig, im Februar 2022

Lena Ulber, Dagmar Rissel und Peter Zwerger

Einleitende Referate

Keynote presentations

Was kommt nach der "Chemie"? - Herausforderungen für die Unkrautforschung

What comes after "chemistry"? - Challenges for weed research

Urs Niggli^{1*}

¹Institut für Agrarökologie, Aarau, Schweiz

*urs.niggli@agroecology.science

DOI: 10.5073/20220117-070457

Zusammenfassung

Die Farm-to-Fork Strategie der EU-Kommission setzt Reduktionsziele für die Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln bis 2030. Für die Unkrautforschung ist das eine Chance. Systemorientierte Lösungen sind zu entwickeln. Nicht-chemische Maßnahmen werden verbessert. Die Digitalisierung erlebt einen Durchbruch. Und die Unkraut-forschung wird zur Diversifizierung der Landwirtschaft beitragen.

Stichwörter: Biodiversität, nichtchemische Unkrautregulierung

Abstract

The EU Commission's Farm-to-Fork Strategy sets reduction targets for the use of chemical pesticides by 2030. This is an opportunity for weed research. System-oriented solutions are to be developed. Non-chemical measures are being improved. Digitalisation is experiencing a breakthrough and weed research will contribute to the diversification of agriculture.

Keywords: Biodiversity, non-chemical weed control

Einleitung

Die Farm-to-Fork Strategie der EU-Kommission wird die Schwerpunkte der Unkraut-forschung zugunsten des Ökolandbaus und nicht-chemischen Regulierungsmethoden verschieben und wird auch zu einer veränderten Wahrnehmung der Rolle der Unkrautflora in Agrarökosystemen führen.

Was sind die Alternativen zu chemischen Herbiziden?

Die Ernteverluste durch Unkräuter betragen nach OERKE (2006) 7 bis 13 Prozent. Wirtschaftliche Schadschwellen funktionieren bei Unkräutern wegen der hohen standörtlichen Variabilität in der Praxis nicht (ALDRICH, 1987). Neuere Modelle wie FLORSYS werden zurzeit von verschiedenen Teams mit experimentellen Daten gefüttert und parametrisiert (MASSON et al., 2021). Für zahlreiche Anwendungen fehlen neue Herbizide. Folgende Alternativen stehen im Vordergrund:

- Vorbeugende und kulturtechnische Unkrautbekämpfung;
- Physikalische Unkrautbekämpfung;
- Biologische Unkrautbekämpfung;
- Minimale chemische Unkrautbekämpfung.

Vorbeugende und kulturtechnische Unkrautbekämpfung

Vorbeugende Unkrautbekämpfung soll verhindern, dass sich Unkraut in einer Kultur oder im Grünland ansiedelt. Beispiele dafür sind die Verwendung von zertifiziertem unkraut-freiem Saatgut, der Transport von unkrautfreiem Heu, die Reinigung von landwirtschaftlichen Geräten vor dem Transport oder die

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
frühzeitige Erkennung von Unkrautherden, bevor diese sich in einem Feld ausbreiten. Mit Hilfe von Drohnenbildern können solche sich anbahnenden Problemsituationen einfach erkannt werden (SYNGENTA, 2021).

Kulturtechnische Unkrautbekämpfung gestaltet die Feldbedingungen so, dass sich Unkräuter weniger vermehren können. Beispiele dafür sind die Fruchtfolge, die Schaffung von dichten Grasnarben im Grünland, die Verwendung gut angepasster, konkurrenzfähiger Kulturarten und höhere Saatkulturen. Fruchtfolgen variieren die Zeitpunkte für Bodenbearbeitung und Ansaat (Herbst- und Frühling), verändern die Konkurrenz zwischen Kulturpflanzen und Unkräutern im Blatt- und Wurzelbereich oder bilden günstige Habitate für unkrautsamenfressende Rüsselkäfer oder Vögel. Wie wichtig ein diversifizierter Unkrautbestand für nachhaltige Produktionsweisen ist und wie stark diese Diversität durch eine vielfältige Fruchtfolgegestaltung beeinflusst werden kann, zeigte HOFMEIJER (2021). Dem Samenvorrat im Boden wird bei allen Kulturmaßnahmen und in allen Anbausystemen eine hohe Beachtung geschenkt (DUBOIS et al., 1998), um zukünftige Probleme zu vermeiden und um über die Begleitflora die Biodiversität zu erhöhen.

Physikalische Unkrautbekämpfung

Die mechanische Unkrautbekämpfung erfolgt im Acker- und Gemüsebau zwischen den Reihen mit leistungsstarken und effektiven Geräten: Striegel, Hacken, Torsionsjäten, Fingerjäten, Bürstenjäten oder, für ganz schmale Abstände, Krummzackenwalzen (MELANDER et al., 2005; KOLLER und LICHTENHAHN, 2022). Kamerakontrollierte Steuerungen erlauben eine präzise Arbeit bis nahe an die Kulturpflanzen, in Kombination mit GPS und Sensoren auch teilautonom. In den Reihen bestehen noch vereinzelt Probleme. Die nächste Geräte-Generation wird mit automatischen Erkennungssystemen für einzelne Unkräuter in Echtzeit arbeiten, welche gezielte mechanische oder chemische Maßnahmen erlauben (SHANMUGAM et al., 2020; YOUNG et al., 2014).

Thermische Unkrautbekämpfung wie das Abflammen, ist energieintensiv. Neuere Entwicklungen mit heißen Raps- und Sonnenblumenölen mit Durchlauferhitzer und präzise gesteuerten, sparsamen Düsen sind interessant, aber noch nicht praxisreif (PEUKERT et al., 2015). Ebenso sind Geräte mit pulsierende Elektrizität mit einer bestimmten Frequenz mit bis zu 7'000 Volt noch zu wenig praxisreif.

Biologische Unkrautbekämpfung

Die biologische Unkrautbekämpfung setzt natürliche Feinde von Unkrautpflanzen ein, um die Keimung von Unkrautsamen oder die Ausbreitung von Pflanzen zu verhindern. Beispiele dafür im Grünland sind Schafe zur Bekämpfung von Jakobs-Kreuzkraut oder Wolfsmilch, die Zinnobermotte und der Flohkäfer zur Bekämpfung von Jakobs-Kreuzkraut, sowie der Einsatz von Ziegen zur Bekämpfung von Gestrüpp auf Weideland. Im Ackerbau ist die biologische Unkrautbekämpfung ungleich schwieriger. Bioherbizide, für das Unkraut phytotoxische Pilze, Bakterien und Viren, reagieren empfindlicher auf Umweltschwankungen als Herbizide (HARDING und RAIZADA, 2015). Untersuchungen zeigen, dass die wirtsspezifischen Phytotoxine von pathogenen Pilzen und Bakterien Unkräuter vernichten können (STEFANSKI et al., 2020). Zur breiteren Anwendung lassen sich mehrere Pathogene kombinieren, aber die Methoden funktionieren erst unter kontrollierten Bedingungen. Einen anderen Ansatz verfolgt das pelargonsäurehaltige Herbizid. Der im Zwiebel- und Lauchanbau seit 2021 in der Schweiz bewilligte, nicht selektive Wirkstoff ist natürlichen Ursprungs und hat bis zum 4-Blatt Stadium eine gute Wirkung (KRAUSS et al., 2021).

Minimale chemische Unkrautbekämpfung

Die Reduktion von chemischen Herbiziden kann auch mit einer gezielteren Anwendung erreicht werden. An der Identifizierung der Unkrautart und damit eine gezielte, punkt-genaue Anwendung verschiedener Herbizide wird intensiv gearbeitet (YOUNG et al., 2014). Die verschiedenen hochauflösenden Bild- und

Farbauswertungsmethoden direkt an den Geräten oder an Drohnen und Satelliten sind teilweise technische noch nicht ausgereift. Remote Sensing erlaubt in der Regel noch kein exaktes Arbeiten von Geräten (SHANMUGAM et al., 2020). Es wird aber allgemein geschätzt, dass bei einer Erkennung der Unkraut-dichte in den Reihen bis zu 80 Prozent der Herbizidaufwandmengen eingespart werden kann. Obwohl der Ökolandbau viel von der Digitalisierung erwartet, bevorzugt diese Technologie die konventionelle Produktion. Denn es ist leichter, Düsen exakt zu steuern als ein mechanisches Werkzeug.

Unkräuter diversifizieren Agrarökosysteme

Unkräuter sind im Acker- und Gemüsebau wichtig für die Erhöhung der Biodiversität (GABA et al., 2020; GEROWITT et al., 2017; GIBSON et al., 2017). Über verschiedene Maßnahmen, besonders die Fruchtfolge, kann die Selektion von Problemunkräutern verhindert werden (HOFMEIJER, 2021). Eine vielfältige Unkrautpopulation kann sogar die Produktivität erhöhen (ADEUX et al., 2019) und erbringt auch andere Ökosystemleistungen wie Förderung von Bestäubung, Regulierung von tierischen Schaderregern oder Verbesserung der Nahrungsketten bis hin zu den Vögeln.

Literatur

- ALDRICH, R., 1987: Predicting Crop Yield Reductions from Weeds. *Weed Technology* **1**(3), 199-206.
doi:10.1017/S0890037X00029535.
- GEROWITT, B., P.BÁRBERI, H. DARMENCY, S. PETITI, J. STORKEY, P. WESTERMANN, 2017: Weeds and biodiversity. *Weed Research: Expanding Horizons*; Wiley, London, UK, 115-147.
- GABA, S., X. REBOUD, T. PERROT, S. PLUTTI, J.-L. GAUTIER, V. BRETAGNOLLE, 2020: Weeds enhance multifunctionality in arable lands in South-West of France. *Frontiers in Sustainable Food Systems* **4**, 71.
- GIBSON, D.J., B.G. YOUNG, A.J. WOOD, 2017: Can weeds enhance profitability? Integrating ecological concepts to address crop weed competition and yield quality. *Journal of Ecology* **105**, 900-904.
- SYNGENTA GROUP, 2021: Farm of the future provides fertile ground for digital innovation.
<https://www.syngentagroup.com/en/our-stories/farm-of-the-future-provides-fertile-ground-for-digital-innovation>, last visited on January 2, 2021.
- PEUKERT, J., L. DAMEROW, P. SCHULZE LAMMERS, 2017: Unkrautbekämpfung mit heißen Ölen aus nachwachsenden Rohstoffen. *Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL*, Nr. **187**, 61 Seiten.
- DUBOIS, D., C. SCHERRER, L. GUNST, W. JOSSI, W. STAUFFER, 1998: Effect of different farming systems on the weed seed bank in the long-term trials Chaiblen and DOK. *Journal of Plant Diseases and Protection. Special Issue XVI*, 67-74.
- MASSON, S., B. CHAUVEL, C. CARLEN, J. WIRTH, 2021. Neue Entscheidungshilfen für eine nachhaltige Unkrautbekämpfung. *Agrarforschung Schweiz* **12**, 78-89.
- KOLLER, M., M. LICHTENHAHN, 2022: Innovative Hacktechnik für den Gemüsebau. www.bioaktuell.ch.
- YOUNG, S.L., G. MEYER, W. WOLDT, 2014: Future Directions for Automated Weed Management in Precision Agriculture. West Central Research and Extension Center, North Platte.
<http://digitalcommons.unl.edu/westcentreext/79>.
- HARDING, D., N.R. RAIZADA, 2015: Controlling weeds with fungi, bacteria and viruses: a review. *Frontiers in Plant Science*.
- KRAUSS, J., B. BAUR, M. KELLER, 2021: Pelagronsäure: ein neuer Baustein bei der Unkrautbekämpfung in Zwiebeln. *Agroscope Transfer* Nr. **400/2020**.
- STEFANSKI, F.S. et al., 2020: Potential Use of Biological Herbicides in a Circular Economy Context: A Sustainable Approach. *Frontiers in Sustainable Food Systems* Vol **4**, Article 521102.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

HOFMEIJER, M.A.J., 2021: Diversity for diversity; How crop diversity influences weed diversity and trait selection. Dissertation Universität Rostock.

OERKE, E., 2006: Crop losses to pests. The journal of Agricultural Science **144**, 31.

ADEUX, G., E. VIEREN, S. CARLES, P. BARBERI, N. MUNIER-JOLAIN, S. CORDEAU, 2021: Mitigating crop yield losses through weed diversity. Nature sustainability Vol **2**, 1018-1026.

SHANMUGAM, S., E. ASSUNCAO, R. MESQUITA, A. VEIROS, P.D. GASPAR, 2020: Automated Weed detection systems : A review. International Congress on Engineering – Engineering for Evolution, 271-284.

MELANDER, B., I.A. RASMUSSEN, P. BARBERI, 2005: Integrating physical and cultural methods of weed control- examples from European research. Weeds Science **53**, 369-381.

Herbicide resistance: Can German researchers and farmers learn from experiences in Australia and North America?

Herbizidresistenz: Können deutsche Wissenschaftler und Landwirte von den Erfahrungen in Australien und Nordamerika lernen?

Hugh J. Beckie

Australian Herbicide Resistance Initiative (www.ahri.uwa.edu.au), School of Agriculture and Environment,
The University of Western Australia, Perth, Australia

hugh.beckie@uwa.edu.au

DOI: 10.5073/20220117-140938

Abstract

Herbicide resistance is a significant and increasing problem for growers and land managers in input-intensive agricultural systems worldwide. In Australia and North America, herbicides are the main tools for managing problematic agricultural weeds, with recommended non-herbicidal practices used when convenient and deemed effective. However, farmers usually fail to appreciate the synergies in weed control that can be achieved by stacking effective non-herbicidal tactics within the framework of a farming 'system'. All of us can learn something from herbicide resistance experiences (good or bad) in other parts of the world; the question is how relevant, practical and useful will the different tactics or strategies be when applied or adapted to my particular agroclimatic region and farming system? The answers may only become known after local research and demonstration studies.

Keywords: herbicide resistance management; integrated weed management; precision weed management, site-specific weed management; weed resistance

Zusammenfassung

Herbizidresistenzen sind weltweit für Landwirte in intensiv bewirtschafteten landwirtschaftlichen Systemen ein bedeutendes und zunehmendes Problem. In Australien und Nordamerika sind Herbizide das wichtigste Mittel zur Bekämpfung problematischer Unkräuter in der Landwirtschaft, wobei empfohlene nicht-chemische Maßnahmen eingesetzt werden, wenn ihr Einsatz leicht umsetzbar erscheint und als wirksam erachtet wird. Die Landwirte erkennen jedoch in der Regel nicht die Synergien, die sich bei der Unkrautbekämpfung durch die Kombination verschiedener wirksamer nicht-chemischer Maßnahmen im Rahmen eines landwirtschaftlichen "Systems" erzielen lassen. Wir alle können etwas von den (guten oder schlechten) Erfahrungen mit Herbizidresistenz in anderen Teilen der Welt lernen. Die Frage ist, wie relevant, praktisch umsetzbar und nützlich die verschiedenen Taktiken oder Strategien sind, wenn sie in den individuellen agroklimatischen Regionen und Anbausystemen angewendet werden. Die Antworten auf diese Frage werden möglicherweise erst nach regionalen Forschungs- und Demonstrationsstudien feststehen.

Stichwörter: Herbizidresistenz, integrierte Unkrautkontrolle, Resistenzmanagement, teilflächenspezifische Unkrautkontrolle

Introduction

The mission of the Australian Herbicide Resistance Initiative (AHRI) is to research, develop and communicate innovative herbicide-resistant (HR) weed science and technology. Our vision is "more crop, fewer weeds, enduring profitability, and less herbicide dependency". Integrated weed management (IWM) means different things to different people: IWM vs. herbicide resistance weed management (HRWM) vs. integrated herbicide management. The latter (herbicide diversity) is not IWM. In my view, the most

successful IWM programs are synonymous with reduced herbicide use or reduced dependency on herbicides while maintaining good weed control (minimal weed seed bank replenishment). The latter is important since most weed populations in arable fields are now resistant to one or more herbicide modes of action (MoA). In the United States, herbicide use in maize, soybean, cotton, rice and wheat has approximately doubled between the period 1990 and 2015 (KNISS, 2018). In Western Australia, there are averages of 6.3 herbicide applications in a field each year (HARRIES et al., 2020). I would largely agree with this quote: “Non-chemical methods are often adopted as a means of compensating for reduced herbicide efficacy, due to increasing resistance, rather than as alternatives to herbicides” (Moss, 2018). The primary goal should be to reduce herbicide resistance selection pressure in weed populations wherever and whenever possible. Most important is simultaneously reducing herbicide MOA-use intensity and annual weed species population abundance. Therefore we need to reduce the frequency of herbicides always doing the heavy lifting, and use effective combinations of non-herbicidal practices that aid both herbicide performance and crop competition to suppress weed growth and fecundity. In this paper, I summarize the global herbicide resistance challenge and describe the ‘Big 6’ IWM building blocks advocated in Australia. Additionally, I provide my perspective on integration and automation of weed management technologies and tactics for robust and durable farming systems and the promise and potential of precision or site-specific weed management.

Global herbicide resistance challenge

Until recently, there had been over a 30-year drought in introduction of new herbicide MOAs, with the last major MOA being HPPD inhibitors in the 1980s. At the other end, there was a significant rate of loss of pesticides from the marketplace; for example, in Europe the number of available pesticides declined from 945 in 1999 to 336 in 2009, a 64% reduction (Moss, 2010). Meanwhile, the number of HR weed biotypes continues to increase (509 to date) with an average of 12 new cases per year (HEAP, 2021). Australia ranks second behind the United States in the number of HR weed biotypes (currently 89). The five top economic weeds in Australia are *Lolium rigidum*, *Raphanus raphanistrum*, *Avena* spp., *Bromus* spp. and *Echinochloa* spp. Australia is home to 21 of the 55 weed species worldwide that are resistant to glyphosate. The fate of glyphosate, our most important herbicide, lies not only with evolved resistance but its future commercial availability (social license, grain buyer restrictions, etc.). Although wheat is the third largest crop by planted area after maize and rice, it is the crop with the greatest number of HR weed species. The Poaceae or grass family are over-represented in terms of number of selected HR weed species (86). For example, *Lolium rigidum* is resistant to up to 14 herbicide MoA, followed by *Echinochloa crus-galli* at 11 MOA and *Poa annua* at 10 MOA; there are currently over 100 weed species with resistance to multiple MOA and 60 species resistant to multiple MOA within a population (HEAP, 2021). This is the greatest global herbicide resistance challenge.

The ‘Big 6’ WeedSmart in Australia: integrated weed management building blocks

WeedSmart is an industry-sponsored extension platform for communicating IWM in Australia (Fig. 1). It is strongly supported by both industry and academia, with a consistent messaging around IWM and HRWM. AHRI has been, and continues to be involved in research, development and extension in each of the six components, from wheat and canola competition field trials to exploring the power of herbicide mixtures in HRWM. The different harvest weed seed control techniques, such as weed seed destruction via mechanical mills, chaff lining or chaff tramlining (narrow chaff windrows left behind the combine harvester), and chaff collection via chaff carts or crop residue baling, are now widely adopted in Australia and are being assessed in other agroregions globally. Harvest weed seed control is best suited for weed species whose seeds do not readily shatter before harvest and can be captured above the cutting height of the swather or combine

harvester. It has been a transformational practice in reducing the field abundance of *Lolium rigidum* and some other troublesome weeds in Australia.



Figure 1 The 'Big 6' for integrated weed management in Australia (<http://www.weedsmart.org.au>)

Abbildung 1 Die 'Big 6' für das integrierte Unkrautmanagement in Australien (<http://www.weedsmart.org.au>)

Integration and automation of weed management technologies and tactics for robust and durable farming systems

Each of the Big 6 components are not standalone solutions; ideally three or more of the Big 6 need to be stacked or combined for effective synergistic weed management. Crop rotation diversity (annuals and perennials, cereals and dicots, fall/winter and spring/summer crops) remains the cornerstone of IWM and HRWM in Australia, Germany and elsewhere (BECKIE and HARKER, 2017; ULBER and RISSEL, 2018). With continuing advancements in agricultural engineering technologies and platforms, the ongoing shortage and high cost of labour, and necessity of timeliness in operational efficiency within a growing season, IWM tactics will need to be applied in the field through increased automation, such as highlighted in autonomous/robotic controlled traffic farming and precision (variable rate, site-specific) weed management.

The promise and potential of precision weed management

Precision weed management is already proven successful in fallow weed control ('green on brown') through the use of optical sprayers such as Weed-It or GreenSeeker. These sprayers may even be operated autonomously. Herbicide savings of up to 90% have been documented. A recent development in Australia is the Weed Chipper, which has mounted optical cameras that can sense green material against bare soil and 'chip out' weeds through individual hydraulically-controlled tines and thus maintains surface crop

residue cover. Precision weed management, either via prescription weed maps to delineate management zones in the following crop or real time 'green on green' enabled by various sensors, is the most promising route to achieving reduced herbicide dependency. In Australia, the Bilberry real-time weed detection system using artificial intelligence-based algorithms claim to achieve up to 90% broadleaf weed control in cereal crops with travel speeds of 20 km/h. However, the promise and potential of grass weed control in cereal crops remains unknown and the greatest challenge. To date, there is a big divide between the promise/potential and implementation/adoption of precision weed management in broadacre agronomic crops that needs to be closed.

Conclusion

Globally, reduced herbicide dependency is not a reality except in EU member countries where it is incentivized or mandated to varying degrees. International grain markets will likely drive future restrictions on use of specific herbicides in exporting countries through maximum residue levels (MRLs) in importing (key market) countries. Consumer/societal pressures on how their food is grown (traceability) will only continue to increase; grain buyer contracts will become more 'demanding'. I would argue that we have most of the technologies or components to implement farming systems with reduced herbicide dependency. We just need to learn how to best integrate them for maximum profitability and simplicity with minimum time and labour through automation. Herbicides do and will continue to do the heavy lifting in weed management unless growers are forced to reduce the use of specific herbicides or usage overall due to herbicide resistance, government regulations/policies or grain market demands. Globally, the best route to achieving reduced herbicide dependency is precision weed management – based on prescription maps or in real time. Can German researchers and farmers learn from experiences in Australia and North America? Perhaps. Keep in mind that the United States, Australia and Canada are the top three countries for number of HR weed biotypes. We all can always learn something from what is done (or not done) in other parts of the world and try to assess the advantages and disadvantages in our own farming system, given our unique problematic weed species and our unique environment (climate, soils).

References

- BECKIE, H. J., K.N. HARKER, 2017: Our top 10 herbicide-resistant weed management practices. *Pest Management Science* **73** (6), 1045–1052, DOI: 10.1002/ps.4543.
- HARRIES, M., K.C. FLOWER, C.A. SCANLAN, M.T. ROSE, M. RENTON, 2020: Interactions between crop sequences, weed populations and herbicide use in Western Australian broadacre farms: findings of a six-year survey. *Crop and Pasture Science* **71** (5), 491–505, DOI: 10.1071/CP19509.
- HEAP, I., 2021: International herbicide-resistant weed database. Access: 20. November 2021, URL:<http://www.weedscience.org>.
- KNISS, A.R., 2018: Genetically engineered herbicide-resistant crops and herbicide-resistant weed evolution in the United States. *Weed Science* **66** (2), 260–273, DOI: 10.1017/wsc.2017.70.
- MOSS, S., 2010: Herbicide resistance in northern Europe: current status, future issues. *Proc. Pan-American Weed Resistance Conference*, Miami, FL, USA, pp. 44–45.
- MOSS, S., 2018: Integrated weed management (IWM): why are farmers reluctant to adopt non-chemical alternatives to herbicides? *Pest Management Science* **75** (5), 1205–1211, DOI: 10.1002/ps.5267.
- ULBER, L., D. RISSEL, 2018. Farmers' perspective on herbicide-resistant weeds and application of resistance management strategies: results from a German survey. *Pest Management Science* **74** (10), 2335–2345, DOI: 10.1002/ps.4793.

Sektion 1: Biodiversität

Session 1: Biodiversity

Reintroduction of rare arable weeds under various farming practices and their influence on ecosystem services and yield

Wiederansiedlung seltener Ackerwildkräuter unter verschiedenen Anbaumethoden und ihr Einfluss auf Ökosystemdienstleistungen und Ertrag

Rosa Witty*, Matthias Schumacher, Roland Gerhards

University of Hohenheim, Institute of Phytomedicine (360), Department of Weed Science, Otto-Sander-Str. 5, 70599 Stuttgart, Germany

*rosa.witty@uni-hohenheim.de

DOI: 10.5073/20220117-070843

Abstract

Agricultural intensification and changing landscape structure led to decreasing numbers of arable flora and fauna during the last decades. To counteract these declines, weed diversity needs to be supported. It is important to promote regional weed communities including endangered species to ensure adoption to agricultural landscapes, restore their ecosystem services (e.g., pollination, weed and pest control, soil fertility) and mitigate biodiversity loss. To reintroduce rare weed species, two experiments in spring cereals were started in Renningen in 2019 and in Hirrlingen in 2021. In the first experiment, variations of weed control intensity, fertilization and row spacing were compared in regard to their influence on crop yield and biodiversity. Two different mixtures containing rare weed species were used for reintroduction: one commercially available, one self-composed regarding the former occurrences of the species in these regions. Treatments with sown rare species had on average the twice the number of weed species occurring compared to treatments without any sown weeds. Yield was significantly lower in treatments with wider row spacing, reduced fertilization, reintroduction of weed species and no herbicide use. Mechanical and chemical weed suppression did neither differ significantly in yield nor species richness in 2019. Additionally, an on-farm experiment, which started in spring 2021, examines the reintroduction success by different approaches (sowing and topsoil translocation). Besides reintroduction success the pollinator community, ground-dwelling carabid beetles and yield were investigated. The reintroduction of rare weeds was successfully accompanied by an increasing floral diversity.

Keywords: Biodiversity, crop yield, ecosystem services, rare weed species, reintroduction

Zusammenfassung

Die Intensivierung der Landwirtschaft und homogene Landschaftsstrukturen führten in den letzten Jahrzehnten zu einem Rückgang der Biodiversität. Daher ist die Förderung und Erhaltung lokaler Ackerflora und -fauna sehr wichtig. Zur Wiederansiedlung seltener Ackerwildkräuter wurden 2019 in Renningen und 2021 in Hirrlingen je einen Versuch in Sommergetreide angelegt. Im ersten Versuch werden Variationen von Reihenabstand, Düngung und Unkrautbekämpfungsmaßnahmen hinsichtlich ihres Einflusses auf Ertrag und Biodiversität verglichen. Für die Wiederansiedlung wurden zwei verschiedene Mischungen mit seltenen Ackerwildkrautarten verwendet: Eine im Handel erhältliche und eine entsprechend der früheren Ackerflora selbst zusammengestellte. Behandlungen mit eingesäten seltenen Arten zeigten im Durchschnitt die doppelte Anzahl von Ackerwildkrautarten im Vergleich zu Behandlungen ohne eingesäte Ackerwildkräuter. Der Ertrag war bei Behandlungen mit einer Mischung seltener Arten signifikant geringer

als bei solchen ohne. Behandlungen mit mechanischer oder chemischer Unkrautbekämpfung unterschieden sich 2019 weder im Ertrag noch in der Artenvielfalt signifikant. Zusätzlich untersucht das zweite Experiment (Start Frühjahr 2021) den Wiederansiedlungserfolg durch verschiedene Ansätze: Aussaat und Bodenübertrag. Neben dem Wiederansiedlungserfolg wurden Bestäuber, Laufkäfer und Ertrag untersucht. Die Wiederansiedlung der seltenen Ackerwildkräuter war erfolgreich und damit wurde die pflanzliche Diversität erhöht.

Stichwörter: Biodiversität, Ertrag, Ökosystemdienstleistungen, Seltene Ackerwildkräuter, Wiederansiedlung

Introduction

Promoting and preserving biodiversity is a big challenge of our times. Changing landscape structure and agricultural intensification have led to a decreasing diversity of flora and fauna within agricultural landscapes (STOATE et al., 2001; MEYER et al., 2013). Intensive agricultural management including fertiliser and herbicide use among other tools has a large negative impact on biodiversity: from plants (MEYER et al., 2013) to insects (HALLMANN et al., 2013) and birds (DONALD et al., 2013). Therefore, weed diversity needs to be restored and promoted because it has positive effects on other taxa. For example, SCHUHMACHER et al. (2020) showed arable plant diversity having a positive effect on carabid beetle diversity. To restore plant diversity LANG et al. (2018) reintroduced rare segetal plant species and TWERSKI et al. (2021; 2022) could show positive effects on several ecosystem services provided by some rare plant species. In our projects, the reintroduction success is also one of the main parts. Furthermore, we investigate the development of species diversity and yield under varying management systems. Additionally, our second project investigates the ecosystem services of site-adapted weed species mixtures and commonly used flowering mixtures.

Material and methods

Locations

The first experiment was set up in Renningen on the Research Station “Ihinger Hof” of the University of Hohenheim (Latitude / Longitude: 48.744273° / 8.928766°). The long-term mean annual precipitation is 742 mm and the long-term mean of temperature is 8.8 °C. The first experiment started in spring 2018 in spring barley. In autumn 2019 winter wheat was sown and in autumn 2020 rye. The second experiment is located on a farm in Hirrlingen (Latitude / Longitude: 48.387816° / 8.883128°) and started in spring barley in spring 2021. The long-term mean temperature at this location is 8.1°C with a long-term annual mean precipitation of 871 mm.

Study design

Both experiments were set up in a completely randomised block design with four repetitions. At the Ihinger Hof, each plot had 30 m² (3 m x 10 m) and in Hirrlingen 10 m² (2 m x 5 m). At the Ihinger Hof, we established nine different treatments which are listed in table 1. Two treatments contained the site-adapted flowering mixture, they differ in the frequency of sowing (every or every second year). Additionally, two treatments contain a flowering mixture provided by Rieger & Hofmann (Blaufelden-Raboldshausen): the first one was sown without any crop in 2019, the second one contained the crop in all years. In Hirrlingen, we had five different treatments: Control, single seed amount of site-adapted flowering mixture, doubled seed amount of site-adapted flowering mixture, FAKT M1 flowering mixture (species list as provided by LTZ AUGUSTENBERG (2017)) and topsoil translocation. The control treatment had no flowering mixture sown and was treated as the other treatments (no fertilisers and no weed control).

Table 1 List of treatments at Ihinger Hof. Treatments and their row distance (in centimetre) are given. Herbicide use, mechanical weed control and fertiliser use are marked with a cross. Used flowering mixtures are given as well

Tabelle 1 Liste der Behandlungen am Ihinger Hof. Behandlungen und ihre Reihenabstände (in Zentimeter) sind angegeben. Mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen, Herbizid- und Düngereinsatz sind durch Kreuze gekennzeichnet. Verwendete Blühmischungen werden angegeben

	Treatment	Row distance [cm]	Herbicide	Mechanical weed control	Fertiliser	Flowering mixture
1	Herbicide + fertiliser	12.5	X		X	
2	No weed control + no fertiliser	20				
3	Site-adapted mixture	20				Site-adapted flowering mixture
4	Herbicide with insufficient weed control	12.5	X (with insufficient weed control)		X	
5	No weed control + no fertiliser	12.5				
6	Mechanical weed control + fertiliser	12.5		X	X	
7	Rieger & Hofmann (2019 no crop)	20				Rieger & Hofmann flowering mixture
8	Site-adapted mixture (sown every 2 nd year)	20				Site-adapted flowering mixture
9	Rieger & Hofmann	20				Rieger & Hofmann flowering mixture

Reintroduced Weed Species

The sown species mixtures within the experiments were: A flowering mixture (“Feldblumenmischung Nr. 12”) provided by the seed producer Rieger & Hofmann at the Ihinger Hof, which contains rare as well as common weed species. This mixture was chosen due to the fact that it is commercially available. In the second experiment in Hirrlingen, the flowering mixture FAKT M1 (LTZ AUGUSTENBERG, 2017) was used as a comparable, commercially used flowering mixture. The FAKT M1 mixture is part of a funding program for environment, climate protection and animal welfare (FAKT) of Baden-Württemberg (MLR, 2019). Additionally, site-adapted mixtures, which are self-composed by the authors, have been used in both experiments (Tab. 2).

Table 2 List of species of the site-adapted mixtures. Values indicate the seed density in g / 10 m². For Hirrlingen, the single seed density is given. Species names are proposed by WORLD FLORA ONLINE (2021)

Tabelle 2 Artenliste der standortspezifischen Mischungen. Werte geben Saatstärke in g / 10 m² an. Für Hirrlingen ist die einfach Saatstärke angegeben. Artnamen entsprechen der Nomenklatur von WORLD FLORA ONLINE (2021)

Species	Ihinger Hof	Hirrlingen
<i>Adonis aestivalis</i> L.	16	
<i>Agrostemma githago</i> L.	2.67	
<i>Anchusa officinalis</i> L.	4.03	
<i>Bromus secalinus</i> L.		1.8
<i>Buglossoides arvensis</i> (L.) I.M. Johnst.		5.45
<i>Bupleurum rotundifolium</i> L.	1.1	1.4
<i>Campanula rapunculoides</i> L.		0.01
<i>Consolida regalis</i> Gray	0.3	1.1
<i>Cyanus segetum</i> Hill	0.53	2.7
<i>Lathyrus tuberosus</i> L.	10.33	
<i>Legousia speculum-veneris</i> (L.) Durande ex Vill.	0.87	0.2
<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill		0.1
<i>Papaver dubium</i> L.	0.05	0.03
<i>Papaver rhoeas</i> L.	0.18	
<i>Ranunculus arvensis</i> L.		15.9
<i>Scandix pecten-veneris</i> L.		8.8
<i>Tessdalia nudicaulis</i> (L.) W.T. Aiton	0.04	
<i>Viola arvensis</i> Murray	1.87	

These mixtures contained weed species which have been chosen based on the Red List of ferns and spermatophytes in Baden-Württemberg (BREUNIG & DEMUTH, 1999). Most species either have a status of threat or near threatened according to the list. To include a wider spectrum of species traits (e.g., in height, flowering colour) also some non-threatened species were included in the mixtures. Furthermore, the most relevant fact was the former occurrence of the species in the very same regions where the experiments are located in order to have well-adapted species to the chosen sites. In Hirrlingen, the mixture was used two times in the experiment: one treatment with the single seed amount and a second treatment with twice the seed amount. Additionally, in Hirrlingen, a topsoil translocation was performed in March 2021 according to the protocol of PIQUERAY et al. (2020) slightly modified for our purposes. We used 50 L of soil from a field under protection ("Schutzacker") in Rangendingen per plot, mixed it by hand and directly applied it to the field.

Observations

At Ihinger Hof, all treatments were observed regarding their influence on yield (harvested with plot harvester) and weed species diversity (three times counts of individuals per 0.1 m²). In Hirrlingen, species were recorded by the extended Braun-Blanquet Scale (REICHELTE & WILLMANS, 1973) within the whole plot two times in 2021 (June & July). Furthermore, an observation of the pollinators took place: per plot, two subplots (0.1 m²) were monitored for 5 minutes each. All pollinators landing on flowers within this frame were counted and divided in taxonomic groups (honeybees, wild bees, hover flies, flies, beetles). Ground-dwelling arthropods were trapped with pitfall traps (0.3 L volume), set in three transects with four traps each. An edge and a centre transect were set up orthogonally to the experimental blocks. Additionally, a control was set up in the same field, but in distance to the block experiment within the conventionally-

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online managed part of the field. Just before harvest, aboveground plant biomass was cut within two subsamples (each 0.1 m²) per plot.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed with R (R CORE TEAM, 2018). Species richness data from Hirrlingen and the yield in 2019 at the Ihinger Hof were analysed with the standard analysis of variance (ANOVA) and treatment means were compared with a Tukey HSD test. Assumptions for the ANOVA were tested by the Shapiro test for normal distribution and Levene's Test for homogeneity of variance. The data of species richness and yield in 2020 at the Ihinger Hof did not show normal distribution and homogeneity of variance, therefore, a non-parametric test (Kruskal Wallis test) and the Conover-Iman test for pairwise comparison were used. A significance level of $p = .05$ was used for all statistical tests.

Results

Ihinger Hof

The two mixtures at the Ihinger Hof showed quite similar success rates regarding the number of emerged species from the mixtures: on average 10 out of 12 and 14 out of 17 sown species emerged of the site-adapted and the commercial mixture, respectively. Additionally, some species managed to spread to other treatments, for example *Agrostemma githago* L. was spotted at least once during all three years in all treatments without a flowering mixture. The overall species richness significantly differed (Kruskal Wallis test: $\chi^2(8) = 41.592$, $p < .001$) between the various treatments. As shown in Figure 1, the number of species was almost twice as high in treatments with sown rare species compared to the other treatments.

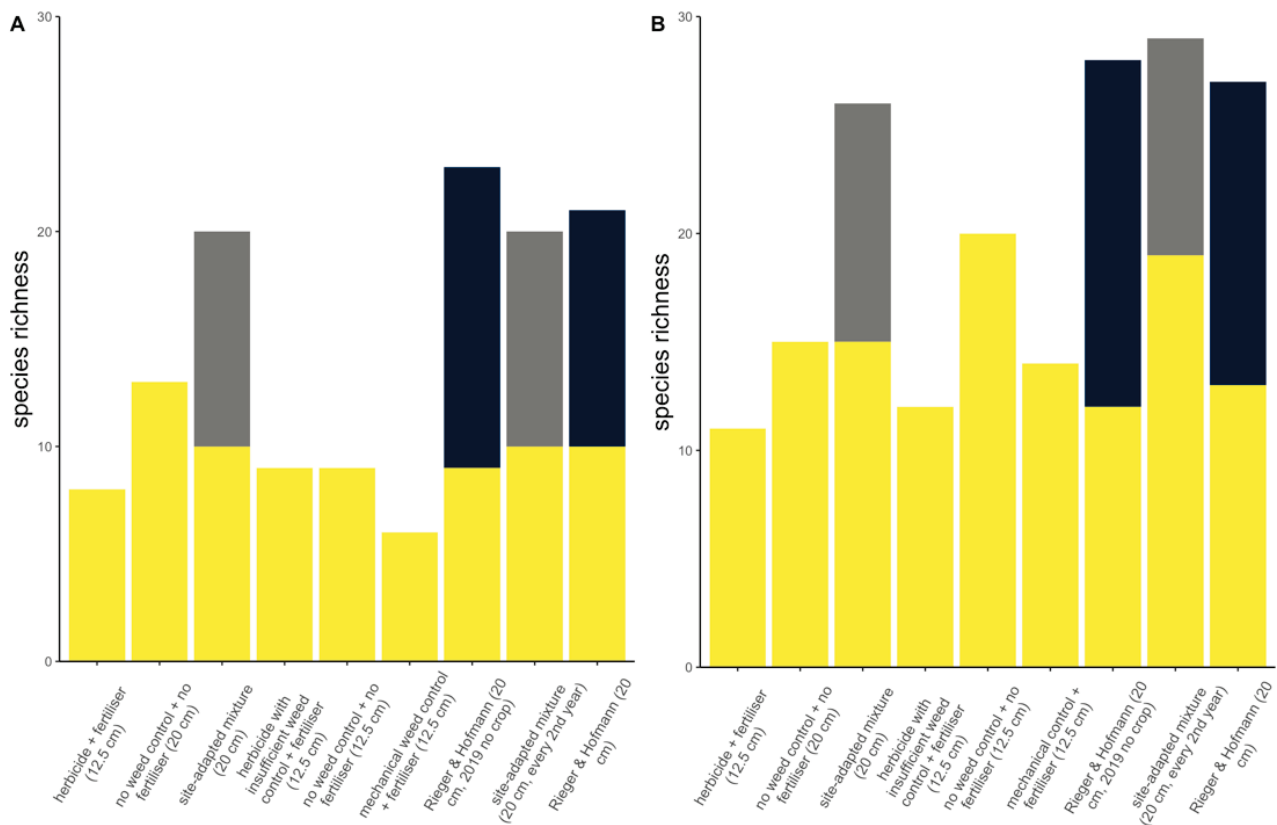


Figure 1 Plant species richness at Ihinger Hof. Species belonging to the site-adapted flowering mixture are highlighted in grey and species of the Rieger & Hofmann flowering mixture in dark blue. In parentheses, the row distance of the cereal crop is given. The site-adapted mixture treatments differ in the frequency of sowing rare arable plants (every or every second year). The first treatment with the Rieger & Hofmann flowering mixture had no crop in 2019. A is the data of 2019 in spring barley and B of 2020 in winter wheat.

Abbildung 1 Artenreichtum der Flora auf dem Ihinger Hof. Arten, welche zur standortspezifischen Blümmischung gehören, sind in Grau hervorgehoben, und Arten, welche zur Blümmischung von Rieger & Hofmann gehören, in Dunkelblau. In Klammern sind die Reihenabstände des Getreides angegeben. Die Behandlungen mit der standortspezifischen Blümmischung unterscheiden sich in der Frequenz der Aussaat (jedes oder alle zwei Jahre). Die erste Behandlung mit der Blümmischung von Rieger & Hofmann wurde 2019 ohne Getreide ausgesät. **A** stellt die Daten für 2019 in Sommergerste dar und **B** die Daten von 2020 im Winterweizen.

Bupleurum rotundifolium L. reached an average density of 11.55 plants per m² in all treatments containing flowering mixtures in 2019 and 2020. Even *Bupleurum rotundifolium* spread to the treatment with 20 cm row distance of the crop and no herbicide nor fertiliser use in 2020. Whereas *Papaver dubium* L. only occurred in winter wheat (2020) with an average density of 1.11 plants per m² in three of four treatments with flowering mixtures. The yield, however, does not significantly differ between the treatments where rare arable plants have been sown and the two treatments without weed control and no fertiliser use in 2019. Still, these treatments differ significantly from treatments with weed control and fertiliser use in 2019 and 2020. Weed control (chemical or mechanical) did not have any significant differences in species richness (8 and 6 species, respectively) and spring barley yield (5.14 t/ha and 5.24 t/ha, respectively) in 2019. The sowing of the commercially used mixture without a crop in the first year caused higher weed densities per square meter and significantly lower winter wheat yields (2.21 t/ha) in 2020. This is true even compared to the other three treatments containing rare species (2.92 t/ha). The highest species richness was achieved by a site-adapted mixture (29 species) in 2020.

Hirrlingen

In Hirrlingen, the reintroduction success differed considerably. The topsoil translocation treatment resulted only once in an occurrence of *Buglossoides arvensis* (L.) I.M. Johnst. We could not find a significant difference of species richness comparing the single seed amount mixture to the doubled one. Nevertheless, nine species out of 11 species included in the site-adapted flowering mixtures germinated and flowered in 2021. The commercial flowering mixture had on average a higher species richness compared to all other treatments. However, both the site-adapted flowering mixture (single amount) and the commercial flowering mixture have on average a significantly higher species richness compared to the control and the topsoil translocation (Fig.2). Yet, the alpha diversity did not differ significantly between all treatments. Both, *Legousia speculum-veneris* (L.) Durande ex Vill. and *Scandix pecten-veneris* L., had on average an abundance of 2.2% within each treatment containing the sown rare species. The amount of trapped carabid beetles was significantly higher in the edge transect compared to the control. The number of observed pollinators did not differ between our treatments; however, honey bees had their highest count in the site-adapted mixture with the doubled seed amount.

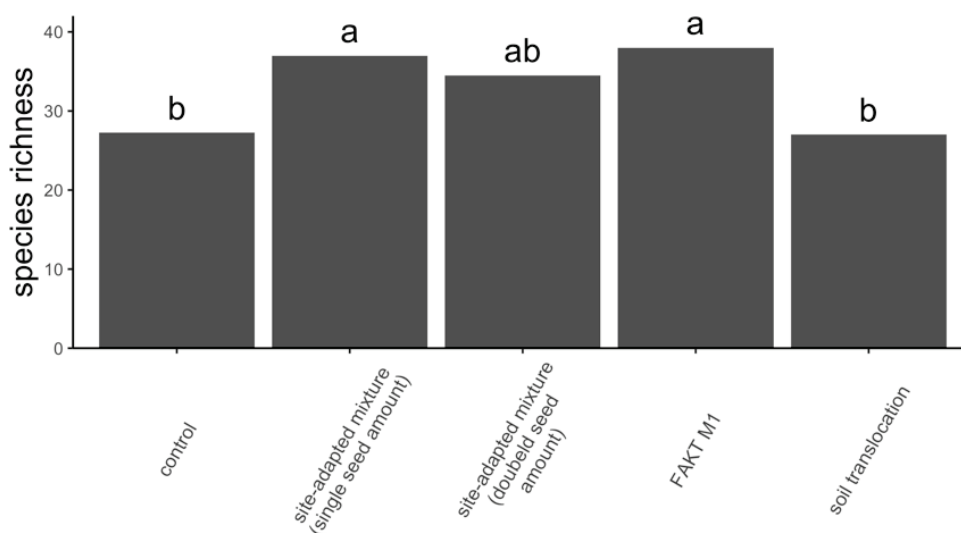


Figure 2 Plant species richness at Hirrlingen. Different letters indicate significant difference (Tukey HSD test; $p \leq .05$).

Abbildung 2 Artenreichtum der Flora in Hirrlingen. Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede hin (Tukey HSD Test: $p \leq .05$).

Discussion

The summer 2021 had a high amount of precipitation and the segetal plants in Hirrlingen started flowering quite late, hence, the first observation of the pollinators was quite difficult due to the fact that barely any plants flowered. But usually the prolonging of flowering season (early as well as late) as well as a diversity of the food resources is increasing the wild bee richness (NEUMÜLLER et al., 2021). Additionally, a determination to species level is needed to state an effect of the more diverse arable plant community on wild bee species. Furthermore, the experiment in Hirrlingen needs observations in the following years to evaluate the reintroduction success. Therefore, we will monitor the seed dispersal along the sowing direction and the soil seed bank as suggested by LANG et al. (2018) for the evaluation of reintroduction. Reintroduction of rare arable plants can be a very good tool to restore diversity (LANG et al., 2018; TWERSKI et al., 2021) which can further increase carabid beetle diversity (SCHUMACHER et al., 2020). Comparing different farming practices at the Ihinger Hof showed that rare weed species reintroduction does not have a negative impact on the yield compared to farming without herbicide and fertiliser use. This corresponds with the results of TWERSKI et al. (2021). The treatments with herbicide and fertiliser use have a higher yield,

however, they are less species-rich compared to the treatments with flowering mixtures. Therefore, the reintroduction process needs some political support (compensation money) to be economically interesting to farmers. Probably a future agricultural landscape should contain a heterogenic structure including fields with high yields, but also refugia with higher plant diversity. A higher plant diversity can promote several ecosystem services ranging from pollination to pest control (STORKEY & NEVE, 2018; SCHUMACHER et al., 2020; TWERSKI et al., 2021). Often commercially available flowering mixtures contain only few species, are composed to provide food resources for honeybees and flower too late for some wild bee species (SCHMID-EGGER & WITT, 2014). They are, however, fast growing and especially mixtures with a higher species richness which might contain even perennial plants can help to increase biodiversity and heterogeneity within landscapes (NEUMÜLLER et al., 2021). Moreover, TWERSKI et al. (2022) showed a positive effect on wild bee richness and abundance of rare arable plants. Hence, ways to sustainably implement conservation and promotion of biodiversity in agricultural landscapes need to be explored; in particular practical approaches.

References

- ALBRECHT, H., J. CAMBECÈDES, M. LANG, M. WAGNER, 2016: Management options for the conservation of rare arable plants in Europe. *Botany Letters* **163** (4), 389–415, DOI: 10.1080/23818107.2016.1237886.
- BREUNIG, T., S. DEMUTH, 1999: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg - Fachdienst Naturschutz – Artenschutz 1999: Rote Liste der Fran- und Samenpflanzen Baden- Württembergs, Vol. 2, Access: 16. September 2021, URL: http://fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/50107/rote_liste_farn_samenpflanzen.pdf?command=downloadContent&filename=rote_liste_farn_samenpflanzen.pdf&FIS=200.
- DONALD, P.F., R.E. GREEN, M.F. HEATH, 2001: Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences* **268** (1462), 25–29, DOI: 10.1098/rspb.2000.1325.
- HALLMANN, C.A., M. SORG, E. JONGEJANS, H. SIEPEL, N. HOFLAND, H. SCHWAN, W. STENMANS, A. MÜLLER, H. SUMSER, T. HÖRREN, D. GOULSON, H. DE KROON, 2017: More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PloS one* **12** (10), e0185809, DOI: 10.1371/JOURNAL.PONE.0185809.
- LANG, M., J. PRESTEL, K. WIESINGER, J. KOLLMANN, H. ALBRECHT, 2018: Reintroduction of rare arable plants: seed production, soil seed bank, and dispersal 3 years after sowing. *Restoration Ecology* **26**, 170–178, DOI: 10.1111/rec.12696.
- LTZ AUGUSTENBERG, 2017: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe, Germany, 2017: *Brachebegrünung mit Blühtmischungen* – mehr als ein Farbtupfer in der Landschaft, Access: 15. November 2021, URL: https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents_E-1276521394/MLR.LEL/PB5Documents/ltz_ka/Arbeitsfelder/Bienen%20in%20der%20Agrarlandschaft/Nahrungsangebot/Nahrungsangebot_DL/Info%20zur%20Brachebegrünung%20mit%20Blühtmischungen%20-%20Mehr%20als%20ein%20Farbtupfer%20in%20der%20Landschaft.pdf.
- MEYER, S., K. WESCHE, B. KRAUSE, C. LEUSCHNER, 2013: *Dramatic losses of specialist arable plants in Central Germany since 1950s/60s* – a cross-regional analysis. *Diversity and Distributions* **19** (9), 1175–1187, DOI: 10.1111/ddi.12102.
- MLR, 2019: Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, 2019: Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT), Access: 15. November 2021, URL: <https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Agrarpolitik/FAKT-Bluehmischung>.
- NEUMÜLLER, U., H. BURGER, H.R. SCHWENNINGER, S. HOPFENMÜLLER, S. KRAUSCH, K. WEIß, M. AYASSE, 2021: Prolonged blooming season of flower plantings increases wild bee abundance and richness in

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online agricultural landscapes. *Biodiversity and Conservation* **30** (11), 3003–3021, DOI: 10.1007/s10531-021-02233-4.
- PIQUERAY, J., V. GILLIAUX, E.R.J. WUBS, G. MAHY, 2020: Topsoil translocation in extensively managed arable field margins promotes plant species richness and threatened arable plant species. *Journal of environmental management* **260**, 110126, DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110126.
- R CORE TEAM, 2021: R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021: A language and environment for statistical computing, Access: 05. October 2021, URL <https://www.R-project.org/>.
- REICHEL, G., O. WILMANN, 1973: Vegetationsgeographie. In: Georg Westermann Verlag, Braunschweig.
- SCHUHMACHER, M., M. DIETERICH, R. GERHARDS, 2020: Effects of Weed Biodiversity on the Ecosystem Service of Weed Seed Predation Along a Farming Intensity Gradient. *Global Ecology and Conservation* **24**, e01316, DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e01316.
- SCHMID-EGGER, C., R. WITT, 2014: *Ackerblühstreifen für Wildbienen – Was bringen sie wirklich?*. Ampulex **6**, Access: 09. September 2021, URL: <http://ampulex.de/ampu6.pdf>.
- STORKEY, J., P. NEVE 2018: What good is weed diversity?. *Weed Research* **58**, 239–243, DOI: 10.1111/wre.12310.
- STOATE, C., N.D. BOATMAN, R.J. BORRALHO, C. RIO CARVALHO, G.R. DE SNOO, P. EDEN, 2001: Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Management* **63** (4), 337–365, DOI: 10.1006/jema.2001.0473.
- TWERSKI, A., C. FISCHER, H. ALBRECHT, 2021: Effects of rare arable plants on plant diversity, productivity and soil fertility in agricultural fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **307**, 107237, DOI: doi.org/10.1016/j.agee.2020.107237.
- TWERSKI, A., H. ALBRECHT, J. FRÜND, M. MOOSNER, C. FISCHER, 2022: Effects of rare arable plants on flower-visiting wild bees in agricultural fields, *Agriculture. Ecosystems & Environment* **323**, 107685–, DOI: 10.1016/j.agee.2021.107685.
- WORLD FLORA ONLINE, 2021: Access: 16. September 2021, URL: <http://www.worldfloraonline.org/>.

Zeitliche Dynamik von Blütenangebot und Samenreichtum einer mehrjährigen Blühpflanzenmischung

Time dynamics of flower richness and seed abundance of a perennial wildflower mixture

Laura Tamms*, Friederike de Mol, Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Arbeitsgruppe Phytomedizin, Satower Straße 48, 18059 Rostock

*laura.tamms@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/20220117-071114

Zusammenfassung

Mehrjährige Blühpflanzenmischungen werden als eine vielversprechende Möglichkeit zur Förderung der Biodiversität und zum Erhalt von Ökosystemdienstleistungen in Agrarökosystemen betrachtet. Um festzustellen, welches Angebot an Blüten und Samen eine mehrjährige Blühmischung während der Vegetationsperiode und über die Standjahre bereitstellt, wurden Blütendokumentationen durchgeführt und Trichter-Samenfallen in Feldversuchen platziert. Zwischen 2014 bis 2018 wurden jedes Jahr Parzellen mit der Blühpflanzenmischung angesät und die Pflanzendichte artspezifisch gezählt. Blühende Arten wurden in einem zweiwöchigen Rhythmus im Jahr 2019 und 2020 dokumentiert und Trichter-Samenfallen wurde im Jahr 2019 und 2020 wöchentlich entleert und im Jahr 2016 und 2017 monatlich. Unsere Studie zeigt, dass die Blühmischung ein kontinuierliches Angebot an Blüten und Samen bietet, die zweijährigen Blühpflanzenbestände die größte Vielfalt an Blüten lieferte sowie die meisten Samen. Im Frühsommer deckt die Spontanvegetation das Angebot an Blüten und Samen. In den Spätsommermonaten (ab Mitte August bis Oktober) komplementieren die Blühpflanzenmischungsarten das Blütenangebot und dominieren das Nahrungsangebot an Samen für die Fauna. Die Gesamtsumme der auf den Flächen verbleibenden Samen nimmt mit zunehmendem Standjahr der Blühpflanzenmischung ab.

Stichwörter: Ackerrandstreifen, Blühmischung, Blütenvielfalt, Naturnahe Landwirtschaft, Ökosystemdienstleistung

Abstract

Perennial wildflower mixtures are promoted to be a successful way to enhance biodiversity and ecosystem services in agroecosystems. In order to determine which supply of flowers and seeds a perennial wildflower mixture provides during the cropping season and over the years, flower surveys were conducted and funnel seed traps were placed in field trials. Between 2014 until 2018, new plots were sown with the mixture every year and the plant densities were counted. Flowers were recorded at two-week intervals in 2019 and 2020 and funnel seed traps were emplaced monthly in 2016 and 2017 and weekly in 2019 and 2020. Our study shows that the wildflower mixtures provide a continuous supply of flowers and seeds, the two-year-old wildflower mixtures provide the greatest diversity of flowers and provide the greatest number of seeds. In the early summer, the spontaneous vegetation provides the flower and seed supply. In the late summer months (from mid-August through October), wildflower mixtures complemented the flower supply and predominated the food source of seeds for the fauna. The total amount of seeds remaining on the surfaces decreases with increasing age of the wildflower mixture.

Keywords: ecosystem services, field margins, flower diversity, flower strips, near-natural agriculture

Einleitung

Die Intensivierung der Landwirtschaft hat zu einer Spezialisierung des Ackerbaus mit engeren Fruchtfolgen, intensiverer Bodenbearbeitung und Ausweitung der landwirtschaftlichen Flächen geführt. Die

Strukturelemente der Feldflur mussten weitestgehend weichen. Die Zerstörung der Biotope und ihrer Vernetzung führte zum Rückgang der Population von Insekten und anderen Wildtieren (CARVALHEIRO et al., 2013). Insekten bieten dabei eine herausragende Ökosystemleistung, die Bestäubung. Mehrjährige Blühpflanzenstreifen auf landwirtschaftlichen Flächen können die biologische Vielfalt in der Agrarlandschaft erhöhen und durch das Vorhandensein von Blüten in allen Farben und Formen positiv auf das Landschaftsbild wirken (HAALAND et al., 2011; UYTENBROECK et al., 2016). Mehrjährige Blühpflanzenstreifen bieten Lebensraum und sind gleichzeitig eine Nahrungsressource für verschiedene Lebewesen (BALZAN et al., 2014). Pflanzen, die blühen, produzieren meistens auch Samen. Ein großer Teil dieser Samen verbleibt auf der Bodenoberfläche. Für die samenfressende Fauna des Agrarökosystems können diese Samen ein wichtiges Nahrungsangebot sein. Um festzustellen, welches Angebot eine Blühpflanzenmischung an Blüten und Samen in der Vegetationsperiode (Mai bis Oktober) bietet sowie um Art und Quantität der vor der Ernte auf dem Acker verbleibenden Samen einzuschätzen, untersuchten wir folgende Aspekte: (1) Wie viele Pflanzenarten blühen wann in der Vegetationsperiode? (2) Wann beginnt der Samenfall in der Vegetationsperiode? (3) Welche Samenmenge verbleibt vor der Ernte auf den Flächen? Dabei ist zu unterscheiden, ob es sich um Arten aus der Blühpflanzenmischung oder der Spontanvegetation handelt.

Material und Methoden

Versuchsaufbau

Der Blühpflanzenmischungsversuch wurde auf den Versuchsflächen der Universität Rostock angelegt. Das Versuchsdesign bestand aus einer Blockanlage mit vier Blöcken, welche jeweils 10 Parzellen (6 m x 5,5 m) beinhaltete. Die Bodenart war lehmiger Sand (Ackerzahl 45). Zwischen 2014 bis zum Jahr 2018 wurden jedes Jahr Anfang Mai vier neue Parzellen mit der Blühpflanzenmischung besät, so dass die Blühpflanzenstreifen 2020 sich in unterschiedlichen Standjahren, von einjährig bis sechsjährig, befanden. Die ausgesäte Blühpflanzenmischung ist die Biogas-Mischung BG70 (Saaten Zeller GmbH & Co. KG) (Tab. 1). Parzellen, die nicht im Jahr mit der Blühpflanzenmischung besät wurden, wurden zur Unkrautunterdrückung mit Grünroggen besät (TAMMS et al., 2021). In jeder Parzelle sind vier mit GPS eingemessenen Punkte mit einer Fläche von je 0,5 m² auf den jeweils im Mai die Pflanzendichte artspezifisch erfasst wurde. Auf zwei der vier Punkten wurde in den Jahren 2019 und 2020 von Mai bis Oktober in einem zweiwöchigen Rhythmus die blühenden Pflanzenarten dokumentiert, es wurden nur die Pflanzen dokumentiert die blühen, es wurden keine Blüten gezählt.

Tabelle 1 Artenzusammensetzung der Biogasmischung BG 70 (Saaten Zeller GmbH & Co. KG). Botanischer Name und Gewichtsanteil in der Mischung (%)

Table 1 Species of the biogasmixture BG 70 (Saaten Zeller GmbH & Co. KG). Botanical name and weight proportion in the mixture (%)

Einjährige Arten	Zweijährige Arten	Mehrfährige Arten
<i>Fagopyron esculentum</i> , 8,0	<i>Echium vulgare</i> , 0,5	<i>Anthemis tinctoria</i> , 0,1
<i>Helianthus annuus</i> , 8,0	<i>Daucus carota</i> , 0,1	<i>Althaea officinalis</i> , 5,5
<i>Malva verticillata</i> , 7,5	<i>Dipsacus sylvestris</i> , 0,5	<i>Artemisia vulgaris</i> , 1,0
	<i>Melilotus officinalis</i> , 7,0	<i>Centaurea nigra</i> , 20,0
	<i>Melilotus albus</i> , 3,5	<i>Cichorium intybus</i> , 2,0
	<i>Reseda luteola</i> , 0,3	<i>Foeniculum vulgare</i> , 4,0
	<i>Verbascum thapsus</i> , 0,5	<i>Inula helenium</i> , 5,0
		<i>Malva alcea</i> , 0,6
		<i>Malva sylvestris</i> , 7,0
		<i>Medicago sativa</i> , 2,0
		<i>Onobrychis viciifolia</i> , 9,0
		<i>Silene dioica</i> , 0,2
		<i>Tanacetum vulgare</i> , 5,0

Die Untersuchung zum Samenfall wurde von Mai bis Oktober in den Jahren 2016, 2017, 2019 und 2020 durchgeführt. Die Trichter-Samenfallen wurden zufällig verteilt in den Parzellen aufgestellt und sind vor dem Mähgang im Oktober entfernt und anschließend wieder an denselben Stellen aufgestellt worden. Im Jahr 2016 und 2017 wurde in den einjährigen und zweijährigen Blühpflanzenbeständen zwei Trichter-Samenfallen aufgestellt und monatlich entleert und in den Jahren 2019 und 2020 wurden in allen Standjahren der Blühpflanzenbestände drei Trichter-Samenfallen aufgestellt, die wöchentlich entleert wurden. Der Aufbau der Trichter-Samenfallen folgte dem von KOLLMANN & GOETZE (1998) beschriebenen Aufbau. Die in die Trichter gefallenen Samen wurden getrocknet, manuell gereinigt und wenn möglich artspezifisch gezählt. Die Bestimmung der Arten wurde auf Grundlage des „Digital Seed Atlas of the Netherlands“ (CAPPERS et al., 2006) durchgeführt. Nicht eindeutig auf Artebene bestimmte Samen wurden zur Gattung zusammengefasst. Insgesamt konnten 20 Gattungen der Blühpflanzenmischung anhand ihrer Samen unterschieden werden.

Datenauswertung

Für die visuell gestützte Auswertung wurde zwischen den Arten aus der Blühpflanzenmischung und der Spontanvegetation unterschieden. Das Blütenangebot wird im Standjahr über die Vegetationsperiode vom Mai bis Oktober dargestellt. In jedem Standjahr wurden auf vier Parzellen (Gesamterhebungsfläche 4m²) die Anzahl der blühenden Pflanzenarten pro Jahr erhoben. Die blühenden Pflanzenarten pro Standjahr wurden für beide Jahre 2019 und 2020 summiert. Aus diesem Grund bezieht sich die gezeigte Artenzahl am Erhebungszeitpunkt im Standjahr auf eine Fläche von 8 m².

Der wöchentliche Samenfall wird exemplarisch für die zweijährigen bis fünfjährigen Standjahre jeweils für die fünf häufigsten Samenarten der Blühpflanzenmischung und der Spontanvegetation dargestellt. Die Samenmenge aus den drei Trichter-Samenfallen wurde innerhalb einer Parzelle gepoolt. Es wurde angenommen, dass Samen von einem Quadratmeter Vegetation in den Fallen landeten. Es wurden die Daten aus den Jahren 2019 und 2020 verwendet.

Der Einfluss des Standjahrs auf die Samendichte und die Pflanzendichte wurde mit dem nicht-parametrischen Kruskal Wallis Test und anschließendem Conover-Test für paarweise multiple Vergleiche als Post-hoc-Test ($\alpha = 0,05$) auf signifikante Unterschiede untersucht. Für diese Auswertung wurden die Daten

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online aus allen Jahren (2016, 2017, 2019 und 2020) verwendet. Für die Berechnungen wurde die Software R (R CORE TEAM, 2020) genutzt. Für die dargestellten Pflanzenarten wird der EPPO Code nach der EPPO Global Database (EPPO, 2021) verwendet.

Ergebnisse & Diskussion

Zeitlichen Dynamik Blütenangebot

In den betrachteten fünfmonatigen Dokumentationszeitraum sind stetig blühende Pflanzen dokumentiert worden. Das Blütenangebot im zeitlichen Verlauf unterschied sich kaum zwischen den Standjahren (Abb. 1). Von Anfang Mai bis Juni blühen kaum Arten der Blühpflanzenmischung. Frühblühende Arten der Spontanvegetation, wie z. B. *Arabis thaliana*, *Viola arvensis*, *Anchusa arvensis* und verschiedene Ehrenpreisarten stellten zu diesem Zeitpunkt das Angebot an Blüten, welche für die blütensuchenden Insekten die erste Nahrungsgrundlage bieten können (PERSSON & SMITH, 2013). Mitte Juni begannen die ersten Arten aus der Blühmischung zu blühen. Im Verlauf der Vegetation nahm die Zahl der blühenden Pflanzenarten zu und erreichte im Juli sein Maximum. Nur im sechsten Standjahr war eine rapide Abnahme des Blütenangebots der Spontanvegetation zu sehen, während sich in den anderen Standjahren ein ähnliches Blütenangebot zeigte. In fast allen Parzellen blühten die Arten *Artemisia vulgaris*, *Centaurea nigra*, *Cichorium intybus*, *Tanacetum vulgare* und die Malvenarten. Komplementiert wurde das Blütenangebot durch *Matricaria ssp.*, *Achillea millefolium* und *Centaurea cyanus* der Spontanvegetation. Ab Ende August sank das Blütenangebot kontinuierlich. Im Oktober blühten noch die Wildpflanzen *C. intybus*, *E. vulgare*, *T. vulgare* und *Verbascum thapsus*. Durch das Zusammenspiel von Spontanvegetation und Blühpflanzenmischung zeigte sich zu jeder Zeit und in jedem Standjahr ein durchgängiges hohes und vielfältiges Blütenangebot. Im Spätsommer blühende Pflanzenarten können eine entscheidende Rolle für das Überleben von Bestäubern spielen (VOLLRATH et al., 2016). Das Anlegen von Blühstreifen kann daher für viele Nützlinge ideale Bedingungen mit langbleibenden Nahrungsquellen in intensiven Agrarlandschaften von Vorteil sein (VOLLRATH et al., 2016; BUHK et al., 2018).

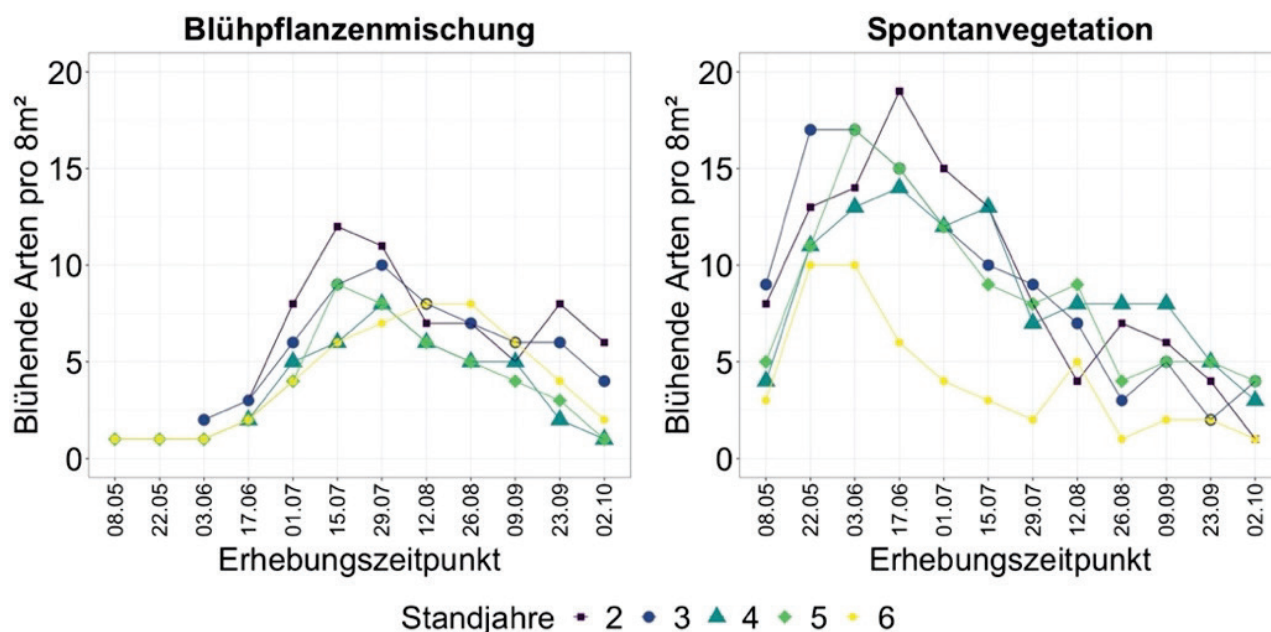


Abbildung 1 Blütenangebot der Arten aus der Blühpflanzenmischung (links) und Spontanvegetation (rechts) am Erhebungszeitpunkt im Standjahr.

Figure 1 The number of flowering species from the wildflower mixture (left) and spontaneous vegetation (right) at time of survey in stand years.

Samenproduktion von ausgewählten Blühpflanzenmischungsarten und Spontanvegetation in Abhängigkeit der Standjahre

Der Samenfall des dritten, vierten und fünften Standjahrs kann in zwei Hälften unterteilt werden. In der ersten Hälfte der Vegetationsperiode, Juni bis Mitte August, sind überwiegend Samen der Spontanvegetation in den Trichter-Samenfallen angefallen (Abb. 2). Diese stehen früh im Jahr für die am Boden lebende Fauna als Nahrung bereit und reduzieren die Anzahl der in die Samenbank gelangenden Samen. Vertebraten und Invertebraten können erhebliche Mengen an Unkrautsamen auf den landwirtschaftlichen Flächen verzehren (WESTERMAN et al., 2003). Die Arten aus der Blühpflanzenmischung sind erst in den späteren Sommermonaten in der generativen Phase. Der Samenfall beginnt hauptsächlich Mitte August. Das Samenangebot der Spontanvegetation und der Blühmischungsarten komplementiert sich und stellt der samenfressenden Fauna eine langanhaltende Nahrungsquelle dar.

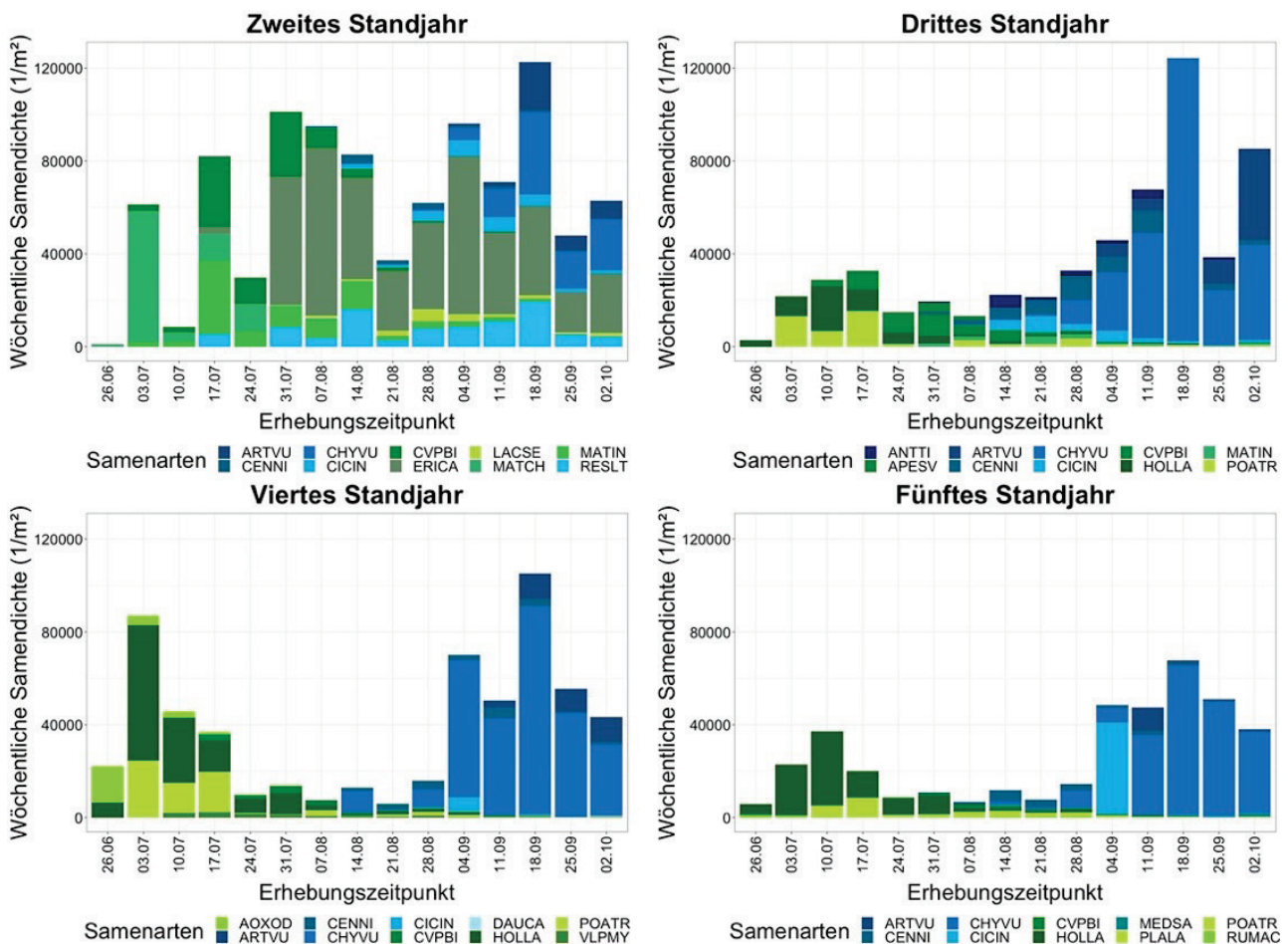


Abbildung 2 Wöchentlicher Samenfall von fünf Arten der Blühpflanzenmischung und fünf Arten der Spontanvegetation. Blau: Samenfall der Blühpflanzenmischung, grün: Samenfall der Spontanvegetation. Das Datum 26.6. beinhaltet den Samenfall von vier Wochen.

Figure 2 Weekly seedfall of five wildflower mixture species and five spontaneous vegetation species. Blue: seed fall of wildflower mixture, green: seed fall of spontaneous vegetation. The date 6/26 includes a four-week seed fall.

Wie zuvor bei der Blütendokumentation sind auch hier in allen Standjahren die Arten *A. vulgaris*, *C. nigra*, *C. intybus* und *T. vulgare* mit hohen Samenerträgen vertreten. Der größte Samenertrag ging von *T. vulgare* aus. Ab dem dritten Standjahr fallen vermehrt Gräser von *Anthoxanthum odoratum*, *Holcus lanatus* und *Poa* spp. an, wobei *H. lanatus* den größten Samenertrag ausmacht. Diese drei genannten Grasarten machten im dritten Standjahr ein Viertel und in dem vierten und fünften Standjahr mehr als die Hälfte des Gesamtsamenertrages der Spontanvegetation aus. Gräser nutzen kleine Lücken aus und können auch

zwischen den Pflanzen der Blühpflanzenmischung wachsen. Die Selektion auf Ungräsern in der Segetalflora kann im nachfolgenden Ackerbau als auch in den Blühpflanzenbeständen Probleme verursachen. In den Samenfallen sind keine Problemunkrautsamen gefunden worden. Der Anteil von Samen der Spontanvegetation war im zweiten Standjahr am größten, 40 % der angefallenen Samen stammten von *Erigeron canadensis*. In den nachfolgenden Standjahren waren kaum noch Samen von *E. canadensis* vorhanden. In den anderen Standjahren ist der Anteil von Samen der Blühmischung höher als von der Spontanvegetation. Das Massenaufreten von *E. canadensis* könnte durch die nicht sehr dichten Bestände im zweiten Standjahr hervorgerufen worden sein. Bei windverbreitenden Arten kann Wind in offenen Landschaften die Anzahl der Samen erhöhen (KOLLMANN & GOETZE, 1998).

Verbleibende Samen auf den Flächen innerhalb der Standjahre des Blühpflanzenstreifens

Die Spontanvegetation wies im ersten Standjahr die höchste Pflanzendichte und Samendichte auf. Hingegen waren diese Werte bei der Blühpflanzenmischung am geringsten (Abb. 3).

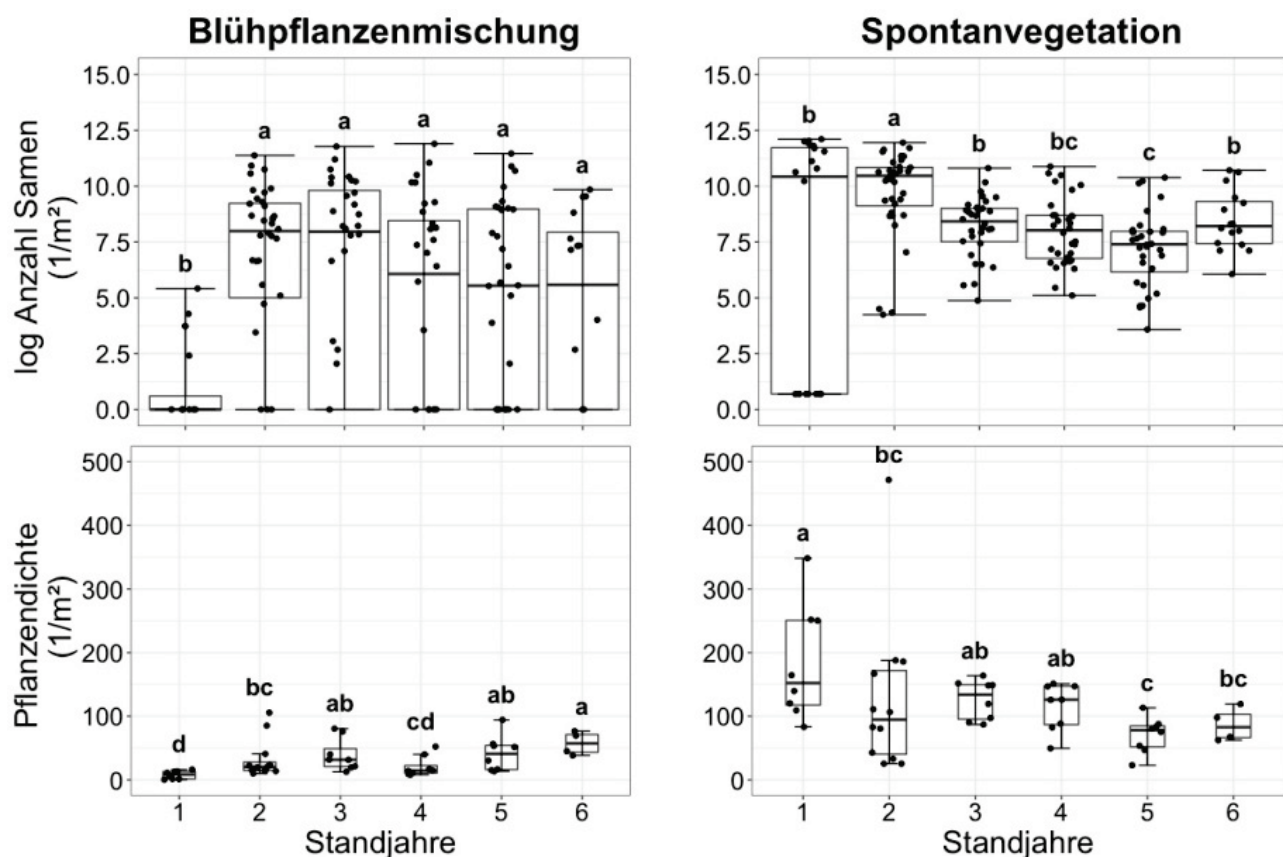


Abbildung 3 Pflanzendichte ($1/m^2$) und logarithmierte Samenzahl ($1/m^2$) in Abhängigkeit der Standjahre getrennt für Blühpflanzenmischung und Spontanvegetation. Die Samenzahl wurde mit $\log(x+1)$ transformiert. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Standjahren (Conover-Test, $\alpha = 0,05$).

Figure 3 Plant density ($1/m^2$) and log seed count ($1/m^2$) during the years of the cropping seasons separately for flowering plant mixture and spontaneous vegetation. Seed count data were $\log(x+1)$ transformed. Different letters indicate significant differences between years (Conover's test, $\alpha = 0.05$).

Der Vergleich mit dem Conover-Test zeigte, dass zwischen den Standjahren signifikante Unterschiede in den Samendichten als auch der Pflanzendichte der Spontanvegetation bestanden. Die Pflanzendichten und die Samendichten sanken mit den Standjahren. Die Pflanzendichte und die Samendichte der Blühpflanzenmischung stiegen nach dem ersten Standjahr an und blieben über die Standjahre nahezu konstant, was auf eine gute Reproduktionsrate hindeutet. Die sehr hohen Samendichten der

Spontanvegetation im ersten Standjahr wird größtenteils durch eine einzige Pflanzenart, *Chenopodium album*, verursacht.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Dörte Zorn, Rosa Minderlen, Justine Michel, Dr. Diana Sicard und Ingolf Gliege bei den agronomischen Arbeiten und für die Mithilfe bei der Aufbereitung und Zählen der Samen. Die Landesgraduiertenförderung Mecklenburg-Vorpommern unterstützt das Promotionsstudium von Laura Tamms an der Universität Rostock mit einem Stipendium.

Literatur

- BALZAN, M.V., G. BOCCI, A.-C. MOONEN, 2014: Augmenting flower trait diversity in wildflower strips to optimise the conservation of arthropod functional groups for multiple agroecosystem services. *Conservation* **18**, 713–728.
- BUHK, C, R. OPPERMAN, A. SCHANOWSKI, R.B. LEIL, J. LÜDEMANN, C. MAUS, 2018: Flower strip networks offer promising long-term effects on pollinator species richness in intensively cultivated agricultural areas. *BMC Ecology*, **18**, 55.
- CAPPERS, R.T.J.; R.M. BEKKER, J.E.A. JANS, 2006: Digital seed atlas of the Netherlands. Barkhuis Publishing. ISBN: 978-9077922118.
- CARVALHEIRO, L.G, W.E KUNIN, P. KEIL, J. AGUIRRE-GUTIÉRREZ, W.E. ELLIS, ET AL, 2013: Species richness declines and biotic homogenisation have slowed down for NW-European pollinators and plants. *Ecology Letters* **16**, 870–878.
- EPPO, 2021: EPPO Global Database (available online). <https://gd.eppo.int>
- HAALAND, C., R.E. NAISBIT, L.F. BERSIER, 2011: Sown wildflower strips for insect conservation: a review. *Insect Conservation and Diversity* **1**, 60-80.
- KOLLMANN, J., D.GOETZE, 1998: Notes on seed traps in terrestrial plant communities. *Flora* **193**, 31-40.
- PERSSON, A., S. H.G. SMITH, 2013: Seasonal persistence of bumblebee populations is affected by landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **165**, 201–209.
- SAATENZELLER GMBH & CO KG, Biogasmischungen für innovative Landwirte. unter: <http://www.saatenzeller.de/landwirtschaft/biogas-i>, aufgerufen am 16.09.2021.
- TAMMS, L., F. DE MOL, M. GLENNITZ, B. GEROWITT, 2021: Weed Densities in Perennial Flower Mixtures Cropped for Greater Arable Biodiversity. *Agriculture* **11**, 501.
- UYTTENBROECK, R., S. HATT, A. PAUL, F. BOERAEE, J. PIQUERAY, F. FRANCIS, S. DANTHINE, M. FREDERICH, M. DUFRÊNE, B. BODSON, A. MONTY, 2016: Pros and cons of flowers strips for farmers. A review *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* **20**, 225-235.
- VOLLRATH, B, A. WERNER, M. DEGENBECK, K. MARZINI, 2016: Energetische Verwertung von kräuterreichen Ansaaten in der Agrarlandschaft - eine ökologische und wirtschaftliche Alternative bei der Biogasproduktion (Phase II), 173-188 unter: https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/energie_aus_wildpflanzen_fnr_abschlussbericht_22005308_in.pdf aufgerufen am 16.09.2021.
- WESTERMAN, P.R., A. HOFMAN, L.E.M VET, W. VAN DER WERF, 2003: Relative importance of vertebrates and invertebrates in epigeic weed seed predation in organic cereal fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **95** (2-3), 417-425.

Zur Frage der Regulierung von Blühpflanzen aus ehemaligen Blühflächen in ackerbaulichen Folgekulturen

On the question of regulating flowering plants from former flowering areas in subsequent arable crops

Johannes Knab¹, Konstantin Becker², Holger Bär³, Dominik Dicke^{4*}

^{1,2}Justus-Liebig-Universität Gießen, Karl Glöckner Straße 12 C, 35394 Gießen

³Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen

⁴Regierungspräsidium Gießen, Pflanzenschutzdienst Hessen, Schanzenfeldstraße 8, 35578 Wetzlar

*dominik.dicke@rpgi.hessen.de

DOI: 10.5073/20220117-071356

Zusammenfassung

Bei der Wiederinkulturnahme ehemaliger Blühflächen können aus ackerbaulicher Sicht Probleme entstehen: Arten aus Blühmischungen treten in Folgekulturen oftmals als Unkräuter auf, die reguliert werden müssen. Feldversuche zur chemischen und mechanischen Regulierung unterschiedlicher Arten, die in Blühmischungen verwendet werden, wurden in Sachsen und Hessen durchgeführt. Neben einer Striegelvariante wurden in ausgewählten Blühmischungsarten, u. a. Buchweizen, Ringelblume, Phacelia, Herbizide geprüft, die in Getreide, Kartoffeln, Leguminosen, Zuckerrüben, Mais und Raps verwendet werden. Die Ergebnisse zeigen, dass beispielsweise Herbizide, die in Soja eingesetzt werden, viele Arten nicht ausreichend bekämpfen können, während Mais- und Getreideherbizide mit einigen Ausnahmen allgemein gute Wirkungsgrade erzielen. Bei der Striegelvariante konnte Öllein sehr gut reguliert werden. Bei anderen Pflanzenarten, insbesondere Ölrettich und Buchweizen, reichten die Wirkungsgrade dagegen nicht aus. Die Erkenntnisse sollen in Beratungsempfehlungen zur Auswahl von geeigneten Blühmischungen im Hinblick auf das Management in Folgekulturen einfließen.

Stichwörter: Blühmischungen, Fruchtfolge, Unkrautregulierung

Abstract

When replanting former flowering areas, problems can arise from an agronomic point of view: Species from flowering mixtures often appear in subsequent crops as weeds that need to be controlled. Field trials on the chemical and mechanical control of different species used in flowering mixtures were conducted in Saxony and Hesse. In addition to a harrow variant, herbicides used in cereals, potatoes, legumes, sugar beet, maize and oilseed rape were tested in selected flowering mixture species, including buckwheat, marigold and phacelia. The results show that herbicides used in soybean, for example, cannot adequately control many species, while maize and cereal herbicides, with some exceptions, generally achieve good efficacy levels. In the harrow variant, oil flax could be regulated very well. For other crops, especially oil radish and buckwheat, the efficacy levels were not sufficient. The findings are to be incorporated into advisory recommendations for the selection of suitable flowering mixtures with regard to management in subsequent crops.

Keywords: crop rotation, flowering mixtures, weed control

Einleitung

Der fachliche Diskurs über negative Einflüsse der Landwirtschaft auf Flora, Fauna und hier insbesondere auf Insektenpopulationen führte zur Forderung nach Strategien, um dem Insektensterben entgegen zu wirken (HAALAND et al., 2011; SÁNCHEZ-BAYO und WYCKHUYS, 2019). Die Anlage von Blühflächen gilt in diesem Kontext als hilfreich, da so Refugien für verschiedene Arten in der Agrarlandschaft etabliert werden

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online (WAGNER et al., 2014). Mit unterschiedlichen Förderprogrammen werden nun deutschlandweit Anreize für Landwirte zur Anlage von Blühflächen geschaffen, die bundeslandspezifisch geregelt werden (HAALAND et al., 2014). Blühflächen erbringen, mit unterschiedlichen Einschränkungen, einen ökologischen Nutzen (NITSCH et al., 2016). Weniger wurde bis zum jetzigen Zeitpunkt die Anlage von Blühflächen aus agronomischer Sicht betrachtet, so z. B. der Einfluss auf die Folgeverunkrautung. Besonders bei Wiederinkulturnahme ehemaliger Blühflächen ist zu befürchten, dass Blühpflanzen, deren Samenbestand im Boden angereichert wurde, in den Folgekulturen als ertragsreduzierende Unkräuter auftreten. Das Problem einer sich aufbauenden Diasporenbank im Boden ist aus Bracheflächen oder dem Zwischenfruchtanbau bekannt, wenn im Nachgang wieder Hauptkulturen angebaut werden (STUDER et al., 2004; KIVELITZ, 2017). Daher müssen Fragen der Bekämpfbarkeit von Blühpflanzen als Unkräuter in Folgekulturen bearbeitet werden. Die Erkenntnisse sollen in die praktische Beratung einfließen, um in Abhängigkeit der jeweiligen Fruchtfolge geeignete Artenzusammensetzungen für Blühflächen zu wählen, damit in Folgejahren keine Probleme mit der Unkrautregulierung in Folgekulturen auftreten.

Material und Methoden

Zur Beurteilung der Wirksamkeit von unterschiedlichen Herbiziden mit Zulassung in den wichtigsten Ackerkulturen wurden Feldversuche in Hessen und Sachsen in den Jahren 2020 und 2021 angelegt. Es handelte sich um Versuchsflächen des Landesbetriebs Landwirtschaft Hessen in Bad Hersfeld sowie des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Nossen.

Bad Hersfeld (Hessen)

Der Versuchsstandort in Hessen befand sich auf den Flächen des Landesbetriebs Landwirtschaft Hessen am Eichhof (50°50'02"N 9°40'31"E) auf 206 mNN, ein grundwasserbeeinflusster Auenboden mit sandigem Lehm (Ls3) als vorherrschende Bodenart in der Ackerkrume. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 10,2 °C mit einem Jahresniederschlag von 643 mm. Aus diesen Standortbedingungen ergibt sich zusammengefasst eine Ackerzahl von 60. Die 12 untersuchten Blühpflanzen waren Borretsch (*Borago officinalis*), Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*), Futtermalve (*Malva sylvestris*), Öllein (*Linum usitatissimum*), Ölrettich (*Raphanus sativus*), Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*), Ringelblume (*Calendula officinalis*), Rotklee (*Trifolium pratense*), Saatwicke (*Vicia sativa*), Serradella (*Ornithopus sativus*), Sonnenblume (*Helianthus annuus*) und Weißer Senf (*Sinapis alba*). Diese wurden streifenförmig in Parzellen (1,5 m × 8 m) ausgesät. Entlang der Drillrichtung wurden die 12 ausgewählten Herbizide (siehe Tab. 1) mittels Handspritzbalken (1,5 m Arbeitsbreite) ausgebracht. Zwischen den Reihen der unterschiedlichen Behandlungen lag ein Abstand von 30 cm. Neben einer unbehandelten Kontrollvariante wurden 10 unterschiedliche Herbizidvarianten sowie eine Striegelvariante mit Federzinkenstriegel (1,5 m Arbeitsbreite) etabliert.

Nossen (Sachsen)

Der zweite Versuchsstandort befand sich auf den Versuchsanlagen des Landwirtschafts- und Umweltzentrums des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Nossen (51°03'26"N 13°16'09"E) auf 255 mNN, einem erodierten Parabraunerde-Pseudogley aus Lösslehm mit einem stark tonigen Schluff (Ut4) als Bodenart. Die Durchschnittstemperatur beträgt im Jahresmittel 9,5 °C mit einem Jahresniederschlag von 675 mm. Die Ackerzahl beträgt 63. Die oben erwähnten 12 Blühpflanzenarten wurden in 3 m breiten Streifen ausgesät. Die Applikationen bzw. Striegeleinsätze erfolgten quer zur Drillrichtung. Zum Einsatz kam ein selbstfahrendes Parzellenspritzgerät sowie ein Federzinkenstriegel (beide Geräte 3 m Arbeitsbreite).

In Hessen wurden 2020 zwei, in Sachsen 2020 und 2021 sowie in Hessen 2021 eine Wiederholung angelegt. Der Zeitpunkt der Anwendungen richtete sich nach dem Zeitpunkt des Auflaufens der Blühpflanzen (siehe

Tab. 1). Variante 1 blieb unbehandelt. In Variante 12 (mechanisch) wurden die Blühpflanzen jeweils 1, 2 und 3 Wochen nach Auflauf der Blühpflanzen gestriegelt. In Sachsen erfolgten die drei Striegeleinsätze jeweils zum Zeitpunkt des Auflaufens der Pflanzen unter Berücksichtigung der Striegelfähigkeit des Bodens. Damit ergaben sich Abstände von 9 bis 13 Tagen. Die Wirksamkeitsbonituren (% Schätzung des Wirkungsgrades) wurden 10 bis 14 Tage nach der letzten Behandlung bzw. 35 bis 42 Tage nach Auflauf der Blühpflanzen durchgeführt.

Tabelle 1 Versuchsplan mit eingesetzten Herbiziden und Zeitpunkt der Anwendungen, 1 Woche (NAK 1), 2 Wochen (NAK 2) und 3 Wochen (NAK 3) nach Auflauf der Keimblätter.

Table 1 Experimental design with herbicides used and timing of applications, 1 week (NAK 1), 2 weeks (NAK 2) and 3 weeks (NAK 3) after cotyledon emergence.

Variante mit Versuchsglied-nummer und Zielart	Voraufbau (l, kg/ha) EC 00	NAK 1 (l, kg/ha) EC 10 -12	NAK 2 (l, kg/ha) EC 12-15	NAK 3 (l, kg/ha) EC 15-25
Kontrolle (1)	Unbehandelt	Unbehandelt	Unbehandelt	Unbehandelt
Ackerbohne/Futter-erbse (2)	Novitron DamTec (2,4)	-	-	-
Kartoffel (3)	Novitron DamTec (2,0)+ Proman (2,0)	-	-	-
Sojabohne (4)	-	-	Harmony SX (0,0075) + Trend (0,3)	Harmony SX (0,0075) + Trend (0,3)
Zuckerrübe (5)	-	Belvedere Duo (1,25) + Goltix Titan (2,0)	Belvedere Duo (1,25) + Goltix Titan (2,0)	Belvedere Duo (1,25)+ Goltix Titan (2,0)
Zuckerrübe (6)	-	Belvedere Duo (1,25) + Goltix Titan (2,0)	Belvedere Duo (1,25) + Goltix Titan (2,0) + Debut (0,03) + Trend (0,25)	Belvedere Duo (1,25) + Goltix Titan (2,0) + Debut (0,03) + Trend (0,25)
Sojabohne (7)	Spectrum Plus (2,75) + Centium 36 CS (0,2) (2021) Spectrum (0,75) + Centium 36 CS (0,2) + Sencor Liquid (0,3) (2020)	-	-	-
Mais (8)	-	Adengo (0,33)	-	-
Raps (9)	-	-	-	Belkar (0,5)+ Synergo 30 SL (0,25)
Getreide (10)	-	-	-	Omnera LQM (1,0)
Getreide (11)	-	-	-	Zypar (1,0)
Mechanisch (12)	-	Striegel	Striegel	Striegel

Ergebnisse

Die in Teilen stark variierenden Wirkungsgrade zeigen, dass der Einfluss der Faktoren Standort und Jahr auf den Wirkungsgrad hoch ist (Abb. 1). Die Arten *Linum usitatissimum*, *Malva sylvestris* und *Trifolium pratense* wurden von vielen Herbiziden über die Standorte hinweg gut bekämpft. Die Wirkungsgrade gegen diese Arten lagen oftmals bei >90 %. Nur sehr vereinzelt ließen sich auch diese Arten nicht effektiv bekämpfen. Beispielsweise erzielte Harmony SX + Trend gegen *Linum usitatissimum* 3mal Wirkungsgrade von <50 %.

Malva sylvestris konnte hingegen unter den chemischen Varianten einzig am Standort Hessen 2020 mit Harmony SX + Trend mit einem Wirkungsgrad von <25 % nicht reguliert werden. Oftmals niedrige Wirkungsgrade von <50 % wurden gegen *Calendula officinalis*, *Fagopyrum esculentum*, *Helianthus annuus* und *Vicia sativa* erzielt. Allerdings konnten auch bei diesen Arten in Abhängigkeit von Standort und Jahr Bekämpfungserfolge mit hohen Wirkungsgraden bonitiert werden. Über alle Standorte und Jahre hinweg zeigten nur die Kombinationen Novitron DamTec gegen *Helianthus annuus* und *Vicia sativa*, Harmony SX + Trend gegen *Linum usitatissimum* und *Ornithopus sativus*, Spectrum + Centium 36 CS + Sencor Liquid / Spectrum Plus + Centium 36 CS gegen *Sinapis alba* und *Vicia sativa*, Novitron DamTec + Proman gegen *Helianthus annuus* sowie Belkar + Synero 30 SL gegen *Raphanus sativus* durchweg niedrige Wirksamkeiten von <75 % und teils deutlich darunter. Die getesteten Herbizide im Voraufbau Novitron DamTec + Proman, die Spritzfolgen mit Belvedere Duo + Goltix Titan (+ Debut) sowie die einmaligen Applikationen von Omnera LQM sowie Zypar zeigten am häufigsten hohe Wirksamkeiten von >90 %. Nach den Anwendungen der Mischungen von Harmony SX + Trend, Spectrum + Centium 36 CS + Sencor Liquid bzw. Spectrum Plus + Centium 36 CS sowie Belkar + Synero 30 SL traten mehrmalig niedrigere Wirkungsgrade von <75 % auf. Es gilt dabei aber, die enormen Schwankungen zu beachten. Vermehrt niedrige Wirksamkeiten wurden mit der mechanischen Bekämpfung mittels Striegel erzielt. Die Wirkungsgrade in dieser Variante lagen oftmals bei 60 %. Der Standort Sachsen im Jahr 2020 hebt sich teilweise, aber deutlich von den Ergebnissen des hessischen Standortes ab. Die Wirkungsgrade der mechanischen Behandlung lagen hier durchweg bei >85 %.

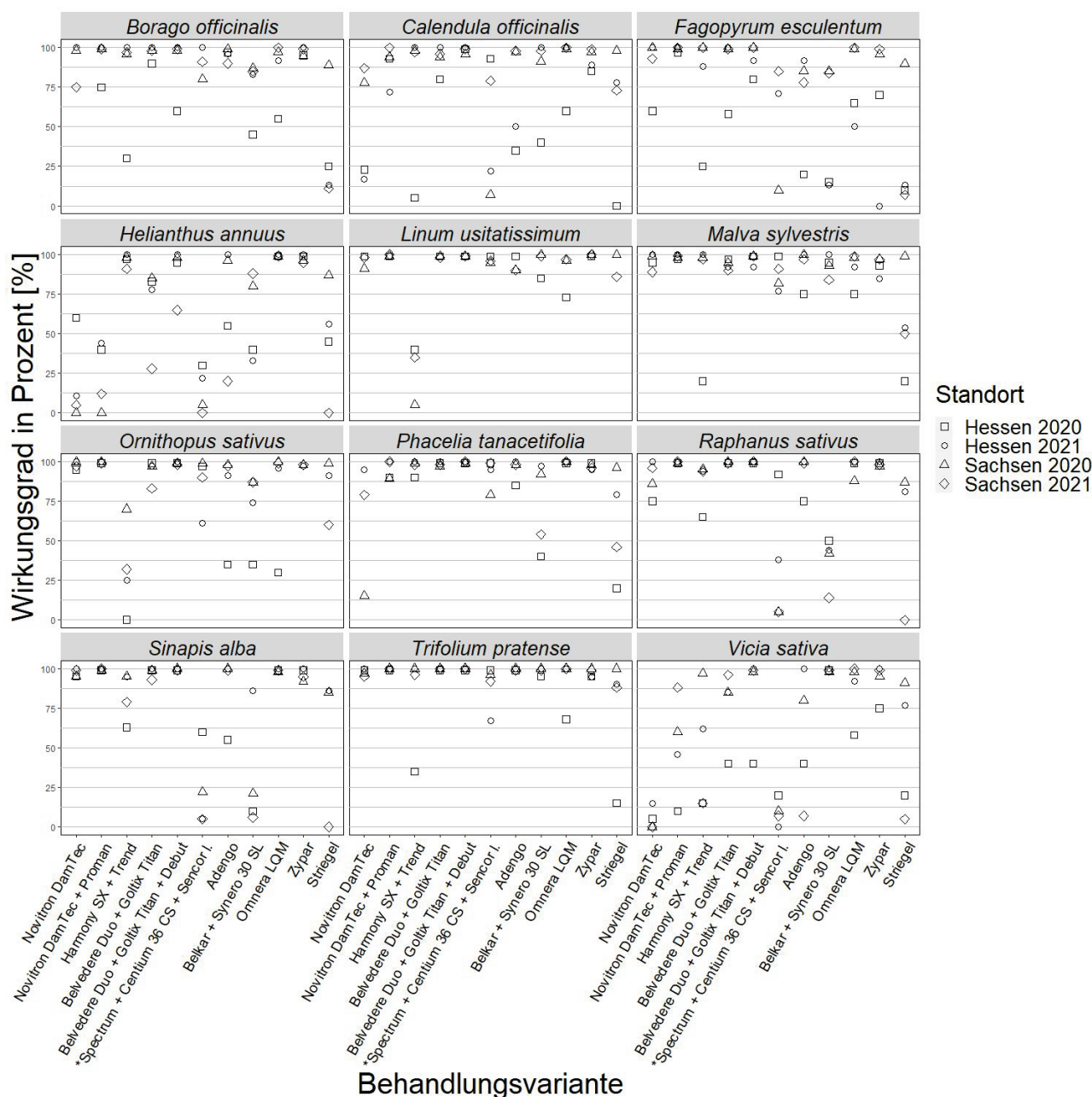


Abbildung 1 Wirkungsgrade in Prozent [%] der unterschiedlichen Behandlungsvarianten gegen die 12 unterschiedlichen Blühpflanzenarten. Zeitpunkt der Bonitur: 35 bis 42 Tage nach Auflauf der Keimblätter. *Im Jahr 2021 wurde diese Variante ersetzt durch Spectrum plus + Centium 36 CS (siehe Tab. 1)

Figure 1 Efficiencies in percent [%] of the different treatment variants against the various flowering plant species. Time of assessment: 35 to 42 days after emergence of the cotyledons. *In 2021, this variant was replaced by Spectrum plus + Centium 36 CS (see Tab. 1)

Diskussion

Die Ergebnisse des Versuches konnten zeigen, dass die Wiederinbetriebnahme ehemaliger Blühflächen in Folgekulturen Probleme mit der Unkrautregulierung bereiten kann. So konnten an keinem Standort und in keinem Jahr mit den in Ackerbohne bzw. Futtererbse zugelassenen Voraufbauherbiziden *Helianthus annuus* (Sonnenblume) und *Vicia sativa* (Saatwicke) erfolgreich bekämpft werden. Das gilt ebenso für *Sinapis alba* (Weißer Senf) und *Vicia sativa* (Saatwicke) mit den verwendeten Voraufbauherbiziden, die in Sojabohne zugelassen sind. Die Nachaufbaubehandlung mit Herbiziden, die in Sojabohne eingesetzt werden, war gegen *Linum usitatissimum* (Öllein) und *Ornithopus sativus* (Saatwicke) nur gering wirksam. Die

Vorauflaufbehandlung mit Herbiziden für Kartoffeln konnte zudem *Helianthus annuus* (Sonnenblume) nicht ausreichend bekämpfen, ebenso wenig wie die Raps-Herbizidmischung *Raphanus sativus* (Ölrettich) nicht unterdrücken konnte. Auch andere Kombinationen aus Herbizid und Blühpflanze zeigten in Abhängigkeit von Standort und Jahr teilweise sehr niedrige Wirkungsgrade. Diese Abhängigkeiten erschweren jedoch verallgemeinernde Aussagen. Weitere Untersuchungen diesbezüglich wären beispielsweise ratsam bei *Vicia sativa* (Saatwicke) und *Calendula officinalis* (Ringelblume). Der in Fachzeitschriften und Beratungskreisen in Zuckerrübenfruchtfolgen oftmals als problematisch geltende *Fagopyrum* (Buchweizen) (HOFFMANN und SCHAPER, 2017) wurde im Versuch mit meist sehr hohen Wirkungsgraden von über 85 % mit den Mischungen Belvedere Duo + Goltix Titan (+ Debut) sehr erfolgreich bekämpft. Diese Ergebnisse reihen sich ein in Erkenntnisse von HABERLAH-KORR et al. (2018) und KÖHLER et al. (2020). Sie geben weiteren Anlass, eine pauschale und verbreitete Aussage über die schwierige Bekämpfung des Buchweizens in Zuckerrüben zu überprüfen.

Die Frage, inwieweit die im Versuch schwer bekämpfbaren Blühpflanzen aber tatsächlich in Konkurrenz zu den jeweiligen Kulturpflanzen stehen und ab welcher Schadschwelle diese in ihrer Entwicklung beeinträchtigen können, war nicht Teil des Versuches. Ebenso gilt es, beim Nachbau von Ackerkulturen auf ehemaligen Blühflächen weitere pflanzenbauliche Aspekte zu beachten. Aus dem Zwischenfruchtanbau ist bekannt, dass auch Blühpflanzen Überträger von Pflanzenkrankheiten sein können, welche für Kulturpflanzen relevant sind (BOLAND und HALL, 1994; KLUTH et al., 2010). Auch das Fördern von Schädlingen wie Nematoden durch Blühpflanzen kann eine bedeutende Rolle bei der Wiederinbetriebnahme ehemaliger Blühflächen spielen. Daher sollte daran gearbeitet werden, sämtliche ackerbaulich relevanten Faktoren zu bündeln, die im Zusammenhang mit Blühflächen und ihrer Integration in Fruchtfolgen stehen. Zusammengefasst ermöglicht dies Antworten auf die Fragen, welche Ackerkulturen im Nachbau einer Blühfläche zu empfehlen sind bzw. von welchen abzuraten ist. So kann es gelingen, die Attraktivität von Blühflächen für Landwirte weiter zu steigern, Pflanzenschutzmaßnahmen zu verringern und die ökologischen und gesellschaftlichen Vorteile von Blühflächen vollumfänglich auszuschöpfen.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Herrn Lars Klingebiel sowie bei Frau Dr. Antje Herrmann für die Unterstützung der Versuche am Eichhof in Hessen. Weiterhin bedanken wir uns bei der Versuchsstation Nossen für die Unterstützung der Versuche in Sachsen.

Literatur

- BOLAND, G.J., R. HALL, 1994: Index of plant hosts of *Sclerotinia sclerotiorum*. Canadian Journal of Plant Pathology **16** (2), 93–108, DOI: 10.1080/07060669409500766.
- HAALAND, C., R.E. NAISBIT, L.-F. BERSIER, 2011: Sown wildflower strips for insect conservation: a review. *Insect Conservation and Diversity* **4** (1), 60–80. DOI: 10.1111/j.1752-4598.2010.00098.x.
- HABERLAH-KORR, V., I. HENNEKEN, F. STUKE, 2018: Versuche zur Bekämpfung aussamender Zwischenfrüchte als Unkraut in nachfolgenden Zuckerrüben. Julius-Kühn-Archiv **458** / 149 KB. DOI: 10.5073/jka.2018.458.072.
- KIVELITZ, H., 2017: Saatzeiten von Zwischenfrüchten optimieren. Hg. v. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen und Fachbereich 61 - Landbau, Nachwachsende Rohstoffe.
- KLUTH, C., C. BUHRE, M. VARRELMANN, 2010: Susceptibility of intercrops to infection with *Rhizoctonia solani* AG 2-2 IIIB and influence on subsequently cultivated sugar beet. Plant Pathology **59** (4), 683–692. DOI: 10.1111/j.1365-059.2010.02274.x.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

KÖHLER, L., D. WOLBER, G. WARNECKE-BUSCH, 2020: Bekämpfung von Zwischenfrüchten in Folgekulturen.

Julius-Kühn-Archiv **464**, Tagungsband 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 3. - 5. März 2020, Braunschweig. DOI: 10.5073/jka.2020.464.023.

NITSCH, H., N. RÖDER, R. OPPERMANN, S. BAUM, J. SCHRAMEK, 2016: Naturschutzfachliche Ausgestaltung von Ökologischen Vorrangflächen. Hg. v. Institut für Ländliche Strukturforchung an der Goethe-Universität Frankfurt am Main. Frankfurt am Main.

SÁNCHEZ-BAYO, F., K.A.G. WYCKHUYS, 2019: Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation* **232**, 8–27. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.01.020.

STUDER, S., K. JACOT, L. EGGENSCHWILER, 2004: Einfluss von Brachemischungen auf die Entwicklung des Samenvorrats im Boden und die Erhaltung von Pflanzenarten in der Folgekultur. DOI: 10.5169/seals-74719.

WAGNER, C., M. BACHL-STAUDINGER, S. BAUMHOLZER, J. BURMEISTER, C. FISCHER, N. KARL, 2014: Faunistische Evaluierung von Blühflächen. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft.

Einfluss von Unkraut-, Zwischenfrucht- und Blühstreifenarten auf die Epidemiologie und Pathogenität von *Sclerotinia sclerotiorum*

*Effect of weeds, cover crop cultivation and flowering plant strips on epidemiology and pathogenicity of *Sclerotinia sclerotiorum**

Sinja Brand, Hans-Peter Söchting, Nazanin Zamani-Noor*

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

*nazanin.zamani-noor@julius-kuehn.de

DOI: 10.5073/20220117-071846

Zusammenfassung

Sclerotinia sclerotiorum ist ein nekrotrophes Pflanzenpathogen mit einem breiten Wirtsspektrum und weltweit großer wirtschaftlicher Bedeutung. In der vorliegenden Studie wurde eine Reihe von Gewächshausversuchen durchgeführt, um die Ausprägung von *S. sclerotiorum*-Symptomen bei 30 Pflanzenarten zu bewerten, die durch zwei unterschiedliche Isolate von *S. sclerotiorum* verursacht wurden. Darüber hinaus wurde die Anzahl der auf den verschiedenen Testpflanzen produzierten Sklerotien bewertet. Die Ergebnisse zeigten, dass die Aggressivität des Erregers einen signifikanten Einfluss auf die *Sclerotinia*-Befallsstärke und die Vermehrungsrate der Sklerotien hat. Pflanzenarten, die mit einem aggressiven Isolat inokuliert wurden, zeigten stärker ausgeprägte Symptome und eine höhere Anzahl von Sklerotien als Pflanzen die mit einem weniger aggressiven Isolat inokuliert wurden. Von allen getesteten Pflanzenarten waren *Aethusa cynapium* (AETCY) und *Leucanthemum vulgare* (CHYLE) vollständig resistent gegen beide Isolate von *S. sclerotiorum*.

Stichwörter: Bodenbürtige Krankheiten, *Brassica napus*, Integrierter Pflanzenschutz, Raps, Weißstängeligkeit

Abstract

Sclerotinia sclerotiorum is a necrotrophic plant pathogen with a wide host range of agricultural and economic importance worldwide. In the current study, a series of greenhouse experiments was conducted to assess the development of Sclerotinia stem rot (SSR) in 30 plant species caused by two isolates of *S. sclerotiorum*. Furthermore, the number of sclerotia produced on different test plants was evaluated. The results showed that the pathogen aggressiveness has significant effect on SSR severity as well as the propagation rate of sclerotia. Plant species that were inoculated with a more aggressive isolate exhibited greater severe symptoms and higher number of sclerotia than plants inoculated with a less aggressive isolate. Among all plant species tested, *Aethusa cynapium* (AETCY) and *Leucanthemum vulgare* (CHYLE) were fully resistant to both isolates of *S. sclerotiorum*.

Keywords: *Brassica napus*, integrated pest management, oilseed rape, Sclerotinia stem rot, soil-borne diseases

Einleitung

Der Zwischenfruchtanbau und die Anlage von Blühstreifen nehmen in Deutschland weiter an Bedeutung zu. Dies wird zum einen bedingt durch die Greening-Anforderungen im Rahmen der Umsetzung der EU-Agrarpolitik, und zum anderen soll die Biodiversität in der Agrarlandschaft gestärkt werden (BMEL – BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2019). Der Anbau von Zwischenfrüchten bringt zudem viele Vorteile mit sich, da die bodenbiologischen, bodenchemischen und bodenphysikalischen Eigenschaften verbessert werden (SODTKE, 2003). Allerdings sind auch negative Effekte nicht

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online auszuschließen. So kann die Dichte bodenbürtiger Krankheitserreger zunehmen, wenn die Zwischenfrucht eine entsprechend geeignete Wirtspflanze darstellt (ZAMANI-NOOR et al., 2020).

Die Weißstängeligkeit, verursacht durch *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, ist weltweit eine der bedeutendsten Krankheiten an Raps. Der Schaderreger *S. sclerotiorum* ist ein bodenbürtiger Pilz, der mittels Sklerotien (Dauersporen) mehrere Jahre im Boden überdauern kann. Zudem ist das Wirtsspektrum des Pilzes sehr vielfältig. Neben Nutzpflanzen wie Raps, Ackerbohnen und verschiedenen Gemüsearten können auch Wildkräuter, Zwischenfrüchte und Zierpflanzen als Wirt fungieren (BOLAND und HALL, 1994). Diese Pflanzen ermöglichen es dem Erreger, zu wachsen, sich zu vermehren und viele Jahre lang zu überleben. Um den Wirtskreis des Pathogens näher zu analysieren, wurde ein Gewächshausversuch auf Basis von 30 Pflanzenarten aus diversen Pflanzenfamilien am Julius Kühn-Institut (JKI) in Braunschweig durchgeführt.

Material und Methoden

In dem Gewächshausversuch wurde die Anfälligkeit der 30 Pflanzenarten an je 5 Pflanzen pro Art gegenüber *S. sclerotiorum* untersucht. Dazu wurde das Prüfsortiment der Pflanzen in vier Gruppen eingeteilt.

- Pflanzenauswahl aus einer handelsüblichen Blütmischung (n=4)
- Kulturpflanzen (n=4)
- Unkräuter (n=15)
- Zwischenfrüchte (n=7)

Eine komplette Übersicht der Arten findet sich in den Tabellen 1 bis 4. Es wurde versucht, ein möglichst großes Spektrum abzudecken. Die Nomenklatur der deutschen sowie der wissenschaftlichen Pflanzennamen erfolgte über die EPPO Global Database und über die Webseite <http://www.floraweb.de/>.

Tabelle 1 Übersicht „Blühpflanzen“

Table 1 Overview „flowering plant strips“

Deutscher Name	Wissenschaftlicher Name	EPPO-Code	Pflanzenfamilie
Färber-Hundskamille	<i>Cota tinctoria</i>	ANTTI	Asteraceae
Wiesen-Margerite	<i>Leucanthemum vulgare</i>	CHYLE	Asteraceae
Echtes Johanniskraut	<i>Hypericum perforatum</i>	HYPPE	Hypericaceae
Gewöhnlicher Dost	<i>Origanum vulgare</i>	ORIVU	Lamiaceae

Tabelle 2 Übersicht „Kulturpflanzen“

Table 2 Overview „crops“

Deutscher Name	Wissenschaftlicher Name	EPPO-Code	Pflanzenfamilie
Feld-Kresse	<i>Lepidium campestre</i>	LEPCA	Brassicaceae
Lupine	<i>Lupinus spec.</i>	LUPXX	Fabaceae
Erbse	<i>Pisum sativum</i>	PIBSA	Fabaceae
Ackerbohne	<i>Vicia faba</i>	VICFX	Fabaceae

Tabelle 3 Übersicht „Unkräuter“**Table 3** Overview “weeds”

Deutscher Name	Wissenschaftlicher Name	EPPO-Code	Pflanzenfamilie
Gewöhnliche Schafgabe	<i>Achillea millefolium</i>	ACHMI	Asteraceae
Hundspetersilie	<i>Aethusa cynapium</i>	AETCY	Apiaceae
Gebräuchliche Ochsenzunge	<i>Anchusa officinalis</i>	ANCOF	Boraginaceae
Spreizende Melde	<i>Atriplex patula</i>	ATXPA	Chenopodiaceae
Graukresse	<i>Berteroa incana</i>	BEFIN	Brassicaceae
Orientalische Zuckerschote	<i>Bunias orientalis</i>	BUNOR	Brassicaceae
Gewöhnliches Hirtentäschel	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	CAPBP	Brassicaceae
Schlitzblättriger Storchschnabel	<i>Geranium dissectum</i>	GERDI	Geraniaceae
Echte Kamille	<i>Matricaria chamomilla</i>	MATCH	Asteraceae
Gemeiner Windenknöterich	<i>Fallopia convolvulus</i>	POLCO	Polygonaceae
Kleiner Sauer-Ampfer	<i>Rumex acetosella</i>	RUMAA	Polygonaceae
Acker-Senf	<i>Sinapis arvensis</i>	SINAR	Brassicaceae
Hohe Rauke	<i>Sisymbrium altissimum</i>	SSYAL	Brassicaceae
Glanz-Rauke	<i>Sisymbrium irio</i>	SSYIR	Brassicaceae
Lösels Rauke	<i>Sisymbrium loeselii</i>	SSYLO	Brassicaceae

Tabelle 4 Übersicht „Zwischenfrüchte“**Table 4** Overview “cover crops”

Deutscher Name	Wissenschaftlicher Name	EPPO-Code	Pflanzenfamilie
Saat-Leindotter	<i>Camelina sativa</i>	CMASA	Brassicaceae
Echter Lein	<i>Linum usitatissimum</i>	LIUUT	Linaceae
Büschelschön	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	PHCTA	Hydrophyllaceae
Ölrettich	<i>Raphanus sativus</i>	RAPSO	Brassicaceae
Weißer Senf	<i>Sinapis alba</i>	SINAL	Brassicaceae
Inkarnat-Klee	<i>Trifolium incarnatum</i>	TRFIN	Fabaceae
Saat-Wicke	<i>Vicia sativa</i>	VICSA	Fabaceae

Die Versuchspflanzen wurden in Einzeltöpfen in Einheitserde ausgesät und im Gewächshaus vorgezogen. Ab einem Entwicklungsstadium (BBCH) von >35 wurden die Pflanzen an zwei Stellen (unterer Teil des Stängels und in einer Blattachsel mittig am Stängel) mit einem Myzel-Agar-Plug ($\varnothing = 5$ mm) inokuliert. Das Myzel wurde 3 Tage vor der Inokulation auf Kartoffel-Dextrose-Agar (Potato dextrose agar (PDA)) angezogen und befand sich noch in der aktiven Wachstumsphase. Auf einen guten Kontakt zur Pflanze wurde geachtet. Es wurden zwei Isolate verwendet, das aggressivere Isolat 6 und das weniger aggressive Isolat 34. Neben dem oben aufgeführten Artenspektrum wurden als Kontroll- und Vergleichspflanzen die Winterraps-Sorten *Brassica napus* cv. Avatar und cv. Kicker verwendet. Nach der Inokulation wurden die Pflanzen unter Gewächshausbedingungen unter Folie bei 16 °C inkubiert. Dabei wurde auf eine nahezu 100 %ige Luftfeuchte unter der Folie geachtet, um eine möglichst optimale Umgebung für den Pilz zu schaffen und ein Austrocknen des Agar-Plugs zu verhindern. Als Kontrolle wurden je Art 3 Pflanzen mit einem nicht bewachsenen PDA-Agar-Plug scheininokuliert und ebenfalls unter Folie inkubiert. Die Pflanzen wurden 9 Tagen nach der Inokulation (9 dpi = days post inoculation) bonitiert. Bei der Bonitur wurde der Infektionsgrad anhand einer 1-4 Skala visuell bestimmt (1 = gesund; 2 = Stängelumfang 1-25 % befallen; 3 = Stängelumfang 26-50 % befallen; 4 = Stängelumfang >50 % befallen). Aus diesem Infektionsgrad wurde mit

Hilfe der folgenden Formel der Befallsstärke-Index (disease severity index (DSI)) ermittelt. Dies ist ein prozentualer Index, der den Infektionsgrad abbildet.

$$DSI (\%) = \frac{\sum(n_1 \cdot 0 + n_2 \cdot 1 + n_3 \cdot 2 + n_4 \cdot 3)}{N \cdot 3} \cdot 100$$

Die Zahlen 1, 2, 3 und 4 geben den unterschiedlichen Infektionsgrad an. N ist die Gesamtzahl der untersuchten Pflanzen, und n_1 , n_2 , n_3 und n_4 sind die jeweilige Anzahl der Pflanzen mit dem entsprechenden Infektionsgrad.

Zum Ende des Versuchs (21 dpi) wurden die Pflanzen auf die Bildung von Sklerotien untersucht. Diese bildeten sich an den Blättern, am Stängel sowie im Stängelinneren. Die gebildeten Sklerotien wurden je Einzelpflanze gesammelt und gezählt. Nachdem die Sklerotien 6 Tage bei Raumtemperatur an der Luft getrocknet wurden, wurde das durchschnittliche Gewicht (mg) und die durchschnittliche Größe (mm) der Sklerotien je Art bestimmt.

Ergebnisse

Es konnte an vielen der untersuchten Arten visuell Krankheitsmerkmale festgestellt werden. Dabei zeigten sich allerdings erhebliche Unterschiede bezüglich der Befallsstärke und der Symptomausprägung zwischen den Arten.

Analyse des Befallsgrads und des Befallsstärke-Index (DSI)

Fast alle Arten wiesen gegenüber dem aggressivem Isolat 6 eine stärkere Anfälligkeit auf als gegenüber dem Isolat 34 (Abb. 1). Ausnahmen waren nur die Arten *Achillea millefolium* (ACHMI), *Aethusa cynapium* (AETCY), *Linum usitatissimum* (LIUUT) und *Phacelia tanacetifolia* (PHCTA). Bei diesen vier Arten wurde ein stärkerer Befall bei dem Isolat 34 bonitiert.

Der Unterschied zwischen den Isolaten zeigt sich sehr deutlich, wenn man die Anzahl an befallenen Arten mit einem mittleren Befallsgrad unter 2 (Stängelumfang 1-25 % befallen) (grüne Linie) vergleicht (Abb. 1). Bei dem aggressiven Isolat 6 waren es nur 4 Arten (13,3 %) die einen milden Befallsverlauf zeigten, bei dem weniger aggressiven Isolat 34 waren es 12 Arten (40 %). Bei der Untersuchung der Arten mit einem Befall von mehr als 50 % des Stängelumfangs (Befallsgrad >3) (rote Linie) zeigt sich ein dazu passendes Bild. 13 Arten (43,3 %) zeigen einen schweren Befall bei Inokulation mit dem Isolat 6 und nur 11 Arten (36 %) mit dem Isolat 34.

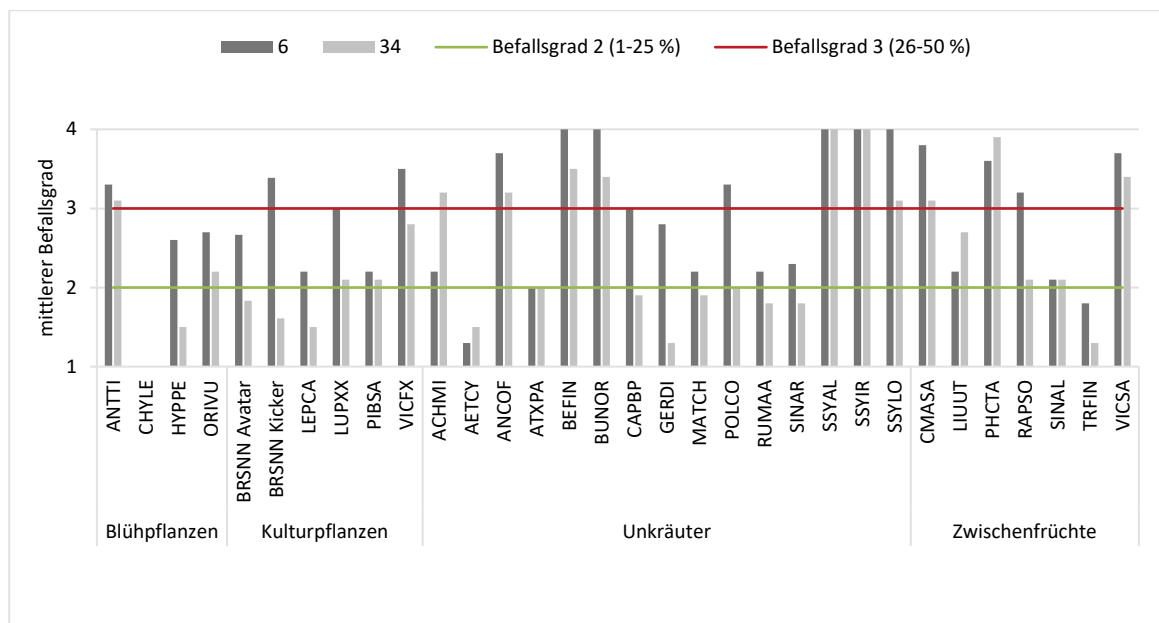


Abbildung 1 Mittlerer Befallsgrad der Versuchspflanzen 9 Tage nach der Inokulation (9 dpi), die mit dem aggressivem *S. sclerotiorum*-Isolat 6 (dunkelgrau) und dem weniger aggressivem *S. sclerotiorum*-Isolat 34 (hellgrau) inokuliert wurden. Die grüne Linie markiert den Grenzwert 2 (Stängelumfang 1-25 % befallen) und die rote Linie den Grenzwert 3 (Stängelumfang 26-50 % befallen).

Figure 1 Mean degree of infestation of the test plants 9 days post inoculation (9 dpi), which were inoculated with the aggressive *S. sclerotiorum* isolate 6 (dark grey) and the less aggressive *S. sclerotiorum* isolate 34 (light grey). The green line marks threshold 2 (stem circumference 1-25 % infested) and the red line means threshold 3 (stem circumference 26-50 % infested).

Bei der Auswertung des Befallsstärke-Indexes (DSI) ergibt ein ähnliches Bild. Zur Bewertung der Aggressivität der Isolate wurde der Befall in vier Befallsklassen eingeteilt (Tab. 5).

Tabelle 5 Klassen zur Einstufung der Befallsstärke der Pflanze durch *S. sclerotiorum*.

Table 5 Classes to classify the infestation level of the plant by *S. sclerotiorum*.

Befallsklasse	Disease severity index (DSI)
I: Kein Befall / gesunde Pflanze	= 0 %
II: Schwacher Befall	≤ 25 %
III: Mittlerer Befall	>25 % ≤ 50 %
IV: Schwerer Befall / Absterben der Pflanze	> 50 %

Nach dieser Einstufung zeigt sich ein deutliches Bild in Bezug auf die Aggressivität der beiden untersuchten Isolate. Die Verteilung ist in den beiden nachfolgenden Diagrammen graphisch dargestellt. Das Isolat 6 weist einen deutlich schweren Befall an den Versuchspflanzen auf als das Isolat 34. 63 % der Arten wurden in die Befallsklasse IV eingeteilt, beim Isolat 34 sind es nur 22 %. Daraus folgt, dass 50 % der Arten beim weniger aggressiven Isolat nur einen Befall der Klasse II aufweisen. Anders sieht es beim aggressiven Isolat 6 aus, dort ist nur eine Art in der Befallsklasse II (*Aethusa cynapium*, AETCY). *Leucanthemum vulgare* (CHYLE) ist die einzige der untersuchten Arten, die von keinem der beiden Isolate befallen wurde. Alle anderen Arten zeigten mindestens einen schwachen Befall. Dies zeigt die Größe des potentiellen Wirtskreises von *S. sclerotiorum* sehr deutlich.

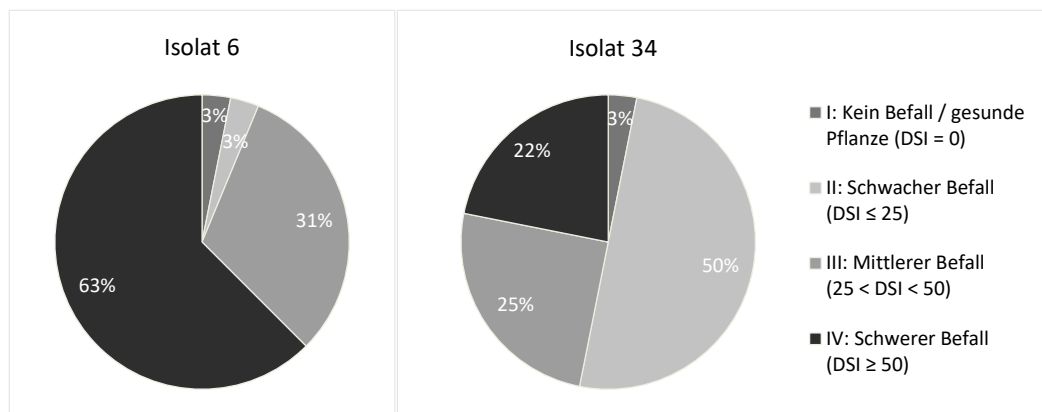


Abbildung 2 Prozentuale Verteilung der 4 Befallsklassen (I-IV) bei den untersuchten Arten (inklusive der beiden Kontroll-Rapssorten) bei den beiden Isolaten 6 (aggressives Isolat) und 34 (weniger aggressives Isolat).

Figure 2 Percentage distribution of the 4 infestation classes (I-IV) in the investigated plant species (including the two control-oilseed rape varieties) in the two isolates 6 (aggressive isolate) and 34 (less aggressive).

Untersuchung der gebildeten Dauersporen (Sklerotien)

Nach der Inokulation mit dem Isolat 6 bildeten 22 der 32 Arten Sklerotien aus, beim Isolat 34 waren es nur 17 Arten. Die Arten *Aethusa cynapium* (AETCY), *Atriplex patula* (ATXPA), *Fallopia convolvulus* (POLCO), *Hypericum perforatum* (HYPPE), *Lepidium campestre* (LEPCA), *Leucanthemum vulgare* (CHYLE), *Matricaria chamomilla* (MATCH), *Pisum sativum* (PIBSA), *Rumex acetosella* (RUMAA) und *Trifolium incarnatum* (TRFIN) bildeten bei keiner der beiden verwendeten Isolate Sklerotien. Die Anzahl, Größe und das Gewicht der Sklerotien waren von Art zu Art unterschiedlich. Die durchschnittliche Anzahl an gebildeten Sklerotien lag bei dem Isolat 6 bei 32,5 und beim Isolat 34 bei 16,9 Sklerotien pro Pflanze. Die meisten Sklerotien pro Pflanze (118 Stück) bildeten sich bei *Sisymbrium altissimum* (SSYAL) nach der Inokulation mit Isolat 6.

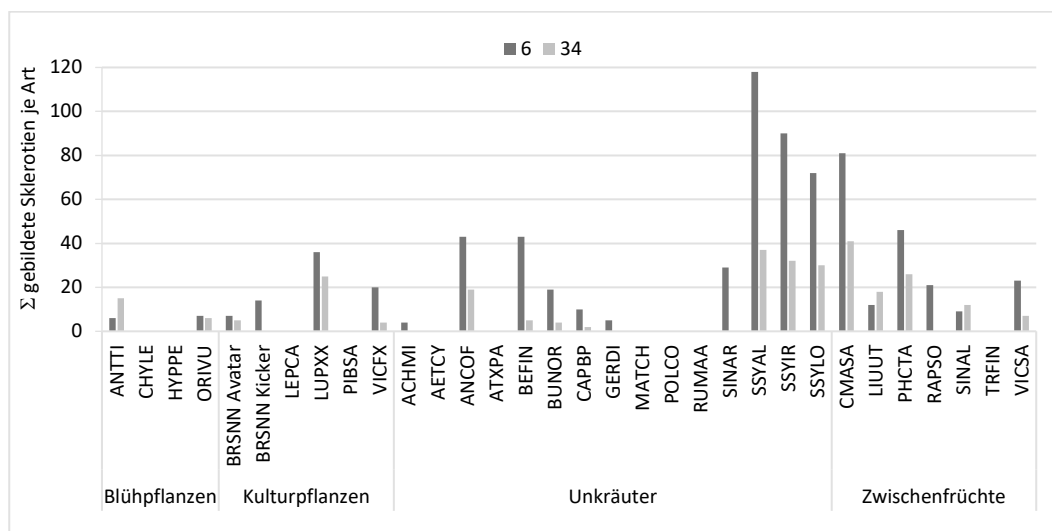


Abbildung 3 Gesamtzahl der gebildeten Sklerotien je Art und *S. sclerotiorum*-Isolat (aggressives Isolat 6 = dunkelgrau; weniger aggressives Isolat 34 = hellgrau).

Figure 3 Total number of sclerotia formed per species and *S. sclerotiorum* isolate (aggressive isolate 6 = dark grey; less aggressive isolate 34 = light grey).

Korrelationen

Die Ergebnisse wurden auf mögliche Korrelationen untersucht. Dabei konnten mehrere Korrelationen festgestellt werden. Die Daten der beiden Isolate korrelierten stark in Bezug auf die Anzahl der Sklerotien und auch mäßig in Bezug auf die Sklerotiengröße und -gewicht. Ebenso korrelieren die Gesamtergebnisse

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
stark in Bezug auf die Sklerotiengröße und deren Gewicht. Mäßige Korrelationen konnten beim Vergleich von DSI und Sklerotienanzahl bzw. -größe, sowie bei der Sklerotienanzahl und Sklerotiengewicht bzw. -größe festgestellt werden.

Diskussion und Fazit

Aus den gezeigten Ergebnissen ist ersichtlich, dass der Schaderreger *S. sclerotiorum* einen sehr weiten Wirtskreis hat und daher die Auswahl an Zwischenfrüchten, Kulturpflanzen sowie Blühpflanzen sehr bewusst gewählt werden sollte. Auch die spezifische Bekämpfung bestimmter Unkrautarten ist wichtig. Beim Anbau von Raps sollte man jedoch auch andere Schaderreger im Blick behalten. So sind zum Beispiel einige der hier untersuchten Arten nicht nur sehr anfällig gegenüber *S. sclerotiorum* (Befallsgrad > 3 und DSI > 50 %), sondern auch anfällig gegenüber dem pilzlichen Schaderreger der Kohlhernie *Plasmodiophora brassicae* (ZAMANI-NOOR et al., 2021). Dies betrifft die Unkrautarten *Capsella bursa-pastoris* (CAPBP), *Sisymbrium altissimum* (SSYAL) und *S. loeselii* (SSYLO) und die Zwischenfruchtart *Camelina sativa* (CMASA). Besonders hervorzuheben sind die Arten, die nach ZAMANI-NOOR et al. (2020) gegenüber Kohlhernie keine Symptome aufwiesen, jedoch in diesem Versuch eine hohe Anfälligkeit gegenüber *S. sclerotiorum* gezeigt haben (ZAMANI-NOOR et al., 2021). Dies sind die Unkrautarten *Bunias orientalis* (BUNOR) und *Fallopia convolvulus* (POLCO), sowie die Zwischenfrüchte *Linum usitatissimum* (LIUUT) und *Phacelia tanacetifolia* (PHCTA). Denn das zeigt, dass eine gute Kenntnis des Standorts wichtig ist, um zu entscheiden, welche Zwischenfruchtarten verwendet werden können.

Für die Zukunft ist eine Überprüfung der erzielten Ergebnisse und ein Test der Keimfähigkeit der geernteten Sklerotien geplant. In der Literatur ist oft beschrieben, dass die Keimfähigkeit signifikant mit der Sklerotiengröße zusammenhängt. Je größer ein Sklerotium ist, desto schneller und besser bildet dieses Apothezien aus (DILLARD, 1995; TAYLOR et al., 2018). Daher könnte man davon ausgehen, dass die Sklerotien von einigen Arten (zum Beispiel *Geranium dissectum* (GERDI) oder *Vicia faba* (VICFX) und *V. sativa* (VICSA)) nicht oder nur sehr wenig keimen, da deren Sklerotien im Durchschnitt kleiner als 2 mm sind.

Literatur

- BMEL – BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT: Diskussionspapier Ackerbaustrategie 2035. Perspektiven für einen produktiven und vielfältigen Pflanzenbau, 2019.
- BOLAND, G.J., R. HALL, 1994: Index of plant hosts of *Sclerotinia sclerotiorum*. Canadian Journal of Plant Pathology **16** (2), 93–108, DOI:10.1080/07060669409500766.
- DILLARD, H.R., 1995: Conditioning *Sclerotia* of *Sclerotinia sclerotiorum* for Carpogenic Germination. Plant Disease **79** (4), 411–415, DOI:10.1094/PD-79-0411.
- SODTKE, R.M., 2003: Ein Entscheidungsunterstützungssystem für den Zwischenfruchtanbau: Konzeption, Entwicklung, Validierung.
- TAYLOR, A., E. COVENTRY, C. HANDY, J.S. WEST, C.S. YOUNG, J.P. CLARKSON, 2018: Inoculum potential of *Sclerotinia sclerotiorum* *sclerotia* depends on isolate and host plant. Plant Pathology **67** (6), 1286–1295, DOI:10.1111/ppa.12843.
- ZAMANI-NOOR, N., S. BRAND, H.-P. SÖCHTING, 2020: Einfluss des Zwischenfruchtanbaus und der Verunkrautung auf die Epidemiologie und Pathogenität von *Plasmodiophora brassicae*. 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv **464**, 29, DOI: 10.5073/JKA.2020.464.014.
- ZAMANI-NOOR, N., S. BRAND, H.-P. SÖCHTING, 2021: Effect of pathogen virulence on pathogenicity, host range and reproduction of *Plasmodiophora brassicae*, the causal agent of clubroot disease. Plant Disease, DOI:10.1094/PDIS-02-21-0410-RE.

Ackerunkräuter in Deutschland unterstützen die Artenvielfalt von Arthropoden und Vögeln

Common arable weeds in Germany support the biodiversity of arthropods and birds

Naomi Bosch, Han Zhang, Bärbel Gerowitt*

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Rostock

*baerbel.gerowitt@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/20220117-072044

Zusammenfassung

Seit 1950 sind sowohl die Artenvielfalt von Ackerunkräutern als auch die Arthropoden und Vögel in Deutschland und darüber hinaus stark zurückgegangen. Es stellt sich die Frage, welche Rolle Ackerunkräuter bei der Unterstützung der Artenvielfalt, insbesondere von Arthropoden und Vögeln, spielen.

In einer Literaturrecherche wurden 51 Ackerunkrautarten und 3 Unkrautgattungen, welche in Deutschland häufig vorkommen, auf ihre Rolle als Nahrung und Lebensraum für die Fauna untersucht. Direkte und indirekte Verbindungen zwischen Ackerunkräutern und Vögeln sowie Arthropoden wurden anhand von Daten aus der veröffentlichten Literatur gezählt. Es wurden 5180 Verbindungen zwischen den Ackerunkräutern und Arthropoden bzw. Vögeln gefunden. Die Daten weisen darauf hin, dass Ackerunkräuter nicht nur die landwirtschaftliche Erzeugung behindern, sondern auch eine Vielzahl von Ökosystemleistungen unterstützen.

Stichwörter: Ackerunkräuter, Biodiversität, Ökosystemleistungen, trophische Ebenen

Abstract

Since 1950, the diversity of arable weeds as well as arthropods and birds has sunk drastically in Germany and beyond. We investigate the role of arable weeds in supporting biodiversity, particularly that of arthropods and birds.

In this study, 51 arable weed species and 3 weed genera that are common in Germany were reviewed for their provision of food and shelter for the fauna. Direct and indirect linkages between weeds and birds and arthropods were counted based on data from published literature. In total, 5180 linkages were found. The data indicates that weeds do much more than impede crop production, as they support a wide range of ecosystem services.

Keywords: Arable weeds, biodiversity, ecosystem services, trophic levels

Einleitung

Unter allen Faktoren, die Ertragsverluste bei Nutzpflanzen verursachen, sind Ackerunkräuter weltweit die bedeutendsten (OERKE, 2006). Ackerunkräuter werden in landwirtschaftlichen Systemen allgemein als unerwünscht angesehen (BLANCO VALDES, 2016). Mit der Intensivierung der Landwirtschaft und dem breiten Einsatz von Herbiziden kam es zu bedeutenden Veränderungen in der Unkrautflora. MEYER et al. (2014) zeigten, dass sowohl die Abundanz als auch die Artenvielfalt von Ackerunkräutern seit 1950 drastisch abgenommen haben. Die Anzahl der vorkommenden Unkrautarten innerhalb von Feldern ist um 71 % gesunken und einige Unkrautarten, die früher sehr häufig waren, sind zwischen 1950 und 2014 um 95-99 % zurückgegangen (MEYER et al., 2014). Parallel zu einem Rückgang der Abundanz und Vielfalt von Ackerunkräutern kommt es weltweit zu einem Verlust der biologischen Vielfalt auf höheren trophischen Ebenen (PE'ER et al., 2017; HALLMANN et al., 2017). Ist dies Zufall? MARSHALL et al. (2003), HYVÖNEN AND HUUSELA-VEISTOLA (2008) und HOLLAND et al. (2005) werteten die Bedeutung von Ackerunkräutern bei der

Unterstützung der Artenvielfalt höherer trophischer Ebenen auf Ackerland aus und bekräftigten mit ihren Ergebnissen, dass Ackerunkräuter unterstützende Ökosystemleistungen für eine Vielzahl an Arthropoden- und Vogelarten erbringen. NEWTON (2004) zeigte, dass ein Rückgang der Abundanz von Primärproduzenten mit einem Rückgang von Arten auf höheren trophischen Ebenen verbunden ist.

Die Wechselwirkungen zwischen Unkrautgemeinschaften und Insekten sowie Arthropoden im Allgemeinen sind von großer Bedeutung für die Artenvielfalt (MARSHALL et al., 2001). Auch Vögel profitieren von Ackerunkräutern. Entweder, indem sie sich direkt von Ackerunkräutern, oder von Arthropoden oder anderen Vögeln, die von Ackerunkräutern angezogen werden, ernähren. Viele Vogelarten, die derzeit im Rückgang begriffen sind, brauchen als Adulte Samen und Pflanzenmaterial, aber während der Brutzeit für die Ernährung ihrer Küken Arthropoden (MARSHALL et al., 2003). Ein Vergleich von mit Herbiziden behandelten und unbehandelten Wintergetreide-Parzellen zeigte deutlich, dass unbehandelte Parzellen eine höhere Unkrautdichte und -vielfalt sowie eine signifikant höhere Anzahl vieler wirbelloser Taxa aufwiesen, insbesondere solche, die für die Ernährung von Feldvögeln wichtig sind (MOREBY, 1999). BIESMEIJER et al. (2006) beobachteten einen parallelen Rückgang von Bestäubern und insektenbestäubten Pflanzen.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Anzahl an Verbindungen zwischen häufigen Ackerunkräutern in Deutschland und bestäubenden und phytophagen Arthropoden, Schädlingen und deren natürlichen Feinden sowie Vögeln zu quantifizieren.

Material und Methoden

Für die Studie wurde eine Gruppe von 51 in Deutschland häufigen Unkrautarten und 3 Unkrautgattungen ausgewählt. Die Artenliste von WERNER et al. (2004) für die Feldfrüchte Getreide und Raps wurde dabei um häufige Maisunkräuter ergänzt (DE MOL et al. 2015). Anschließend wurde eine Literaturrecherche für die Unkrautarten durchgeführt, um ihren Wert für Arthropoden und Vögel auf vergleichbare Weise zu ermitteln. Die Daten zu den Verbindungen wurden aus der veröffentlichten Literatur und aus Datenbanken entnommen. Nach Durchsicht aller Quellen (KÄSTNER ET AL., 2001; UK CENTRE FOR ECOLOGY AND HYDROLOGY, 2008; ALTIERI ET AL., 2015; ELFVING, 1968; HYVÖNEN UND HUUSELA-VEISTOLA, 2008; PRETSCHER UND KLEIFGES, 2000; PETIT ET AL., 2011; NORRIS UND KOGAN, 2005; HOLLAND ET AL., 2005; CLARKE ET AL., 2003; CRAMP, 1983, 1985, 1988; CRAMP AND BROOKS, 1992; CRAMP AND PERRINS, 1994, 1996; NATIONAL MUSEUM OF NATURAL HISTORY SMITHSONIAN, 2018) wurde die Anzahl der Verbindungen für jede Unkrautart/Gattung ermittelt (Tab. 1). Dabei wurde zwischen direkten und indirekten Verbindungen unterschieden. Bei Verbindungen von Ackerunkräutern zu Arthropoden wurden nur direkte Verbindungen erfasst, d. h. Arthropoden aller Lebensstadien, die sich direkt von einem Teil der Pflanze ernähren/leben. Bei Verbindungen von Ackerunkräutern zu Vögeln wurden sowohl direkte Verbindungen, d. h. Vögel, die sich von Ackerunkräutern ernähren, als auch indirekte Verbindungen, also Raubvögel, die sich von Vögeln ernähren, die direkt mit der Wirtspflanze verbunden sind, einbezogen.

Ergebnisse

Die Bedeutung der Ackerunkräuter variiert erheblich hinsichtlich der mit ihnen verknüpften Arthropodenkategorien (Tab. 1). Die zahlreichste Arthropodenkategorie sind die phytophagen Arthropoden. Besonders wichtige Unkrautarten für Arthropoden (mehr als 200 Verknüpfungen pro Wirtspflanze) sind *Rumex acetosella*, *Taraxacum officinale*, *Cirsium arvense* und *Poa annua*. *Rumex acetosella* zeigt auch die größte Anzahl von Verknüpfungen mit Vögeln, gefolgt von *Fallopia convolvulus*, *Polygonum aviculare*, *Chenopodium album*, *Spergula arvensis*, *Stellaria media*, *Geranium dissectum*, *Lamium purpureum* und *Persicaria lapathifolia* mit jeweils mehr als 30 assoziierte Vogelarten.

Eine Reihe von Arthropodenarten ist auf bestimmte Ackerunkräuter angewiesen, um ihren Lebenszyklus zu vollenden. 25 Unkrautarten und 1 Unkrautgattung sind Wirte für insgesamt 92 monophage

Arthropodenarten. Während etwa die Hälfte aller untersuchten Unkrautarten mindestens eine monophage Arthropodenart beherbergt, heben sich *Raphanus raphanistrum* und *Spergula arvensis* als besonders relevant für monophage Arthropoden vor. Natürliche Feinde von Schädlingen sind an *Taraxacum officinale*, *Cirsium arvense* und *Capsella bursa-pastoris* besonders häufig vertreten. *Poa annua* ist die wichtigste Unkrautart für Schädlinge. *Cirsium arvense*, *Taraxacum officinale*, die Gattung *Vicia*, *Sinapis arvensis* und *Raphanus raphanistrum* scheinen besonders wichtig für Bestäuber zu sein.

Die Unkrautarten, die am häufigsten auf dem Speiseplan von Vögeln stehen, sind *Spergula arvensis*, *Rumex acetosella*, *Chenopodium album*, *Stellaria media* und *Raphanus raphanistrum*.

Tabelle 1 Anzahl genannter Verbindungen zwischen den Ackerunkrautarten und der natürlichen Feinde von Arthropoden (Feinde), phytophagen Arthropoden (Phytophag), Arthropoden-Schädlinge (Schädlinge) und Bestäuber, sowie Anzahl der direkt und indirekt mit den Wirtspflanzen verknüpften Vögel

Table 1 Number of arthropods listed as natural enemies, phytophagous arthropods, pest arthropods and pollinators linked to the weed species and number of directly and indirectly linked birds with their host plants

Art	Feinde	Phytophag	Schädlinge	Bestäuber	Vögel	
					Direkt	Indirekt
<i>Aphanes arvensis</i>	0	26	2	0	0	0
<i>Alopecurus myosuroides</i>	3	48	26	3	0	0
<i>Thlaspi arvense</i>	1	17	12	7	6	4
<i>Veronica hederifolia</i>	3	32	11	2	0	0
<i>Veronica agrestis</i>	3	33	12	2	0	0
<i>Veronica</i>	5	57	16	4	1	5
<i>Sonchus arvensis</i>	2	55	10	24	8	10
<i>Sonchus oleraceus</i>	3	51	16	6	2	17
<i>Chenopodium album</i>	3	40	8	7	20	17
<i>Raphanus raphanistrum</i>	0	21	19	28	26	1
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	10	40	13	7	7	0
<i>Aethusa cynapium</i>	0	7	2	1	0	0
<i>Matricaria inodora</i>	3	70	16	11	1	0
<i>Matricaria</i>	2	47	12	13	1	0
<i>Galium aparine</i>	0	147	3	19	8	0
<i>Persicaria lapathifolia</i>	2	58	8	12	6	25
<i>Polygonum persicaria</i>	4	61	9	6	11	22
<i>Polygonum aviculare</i>	2	139	11	24	9	30
<i>Fallopia convolvulus</i>	0	12	2	1	13	27
<i>Centaurea cyanus</i>	3	74	7	28	1	12
<i>Cirsium arvense</i>	14	158	16	107	8	10
<i>Senecio vulgaris</i>	8	79	8	14	6	20
<i>Anchusa arvensis</i>	3	19	3	1	0	0
<i>Lactuca serriola</i>	0	36	6	3	4	21
<i>Papaver rhoeas</i>	1	14	6	4	0	0
<i>Elymus repens</i>	0	49	5	5	2	0
<i>Lapsana communis</i>	0	16	4	13	2	0
<i>Descurainia sophia</i>	0	23	11	6	0	0
<i>Sisymbrium officinale</i>	0	35	16	4	0	0
<i>Poa annua</i>	3	150	34	16	6	10
<i>Chrysanthemum segetum</i>	2	62	17	7	0	0

Art	Feinde	Phytophag	Schädlinge	Bestäuber	Vögel	
					Direkt	Indirekt
<i>Arabidopsis thaliana</i>	0	15	9	1	0	0
<i>Sinapis arvensis</i>	0	49	26	30	6	12
<i>Spergula arvensis</i>	0	14	5	2	33	0
<i>Lithospermum arvense</i>	5	11	2	0	0	0
<i>Viola arvensis</i>	2	49	6	8	13	0
<i>Geranium dissectum</i>	0	28	5	2	5	25
<i>Lamium purpureum</i>	0	73	5	22	5	25
<i>Bromus sterilis</i>	0	35	3	1	0	0
<i>Myosotis arvensis</i>	4	25	2	7	7	0
<i>Stellaria media</i>	7	113	7	15	21	10
<i>Lolium perenne</i>	0	63	5	0	4	18
<i>Convolvulus arvensis</i>	6	76	15	7	5	12
<i>Apera spica-venti</i>	3	36	25	3	0	0
<i>Vicia spec.</i>	2	136	16	31	0	0
<i>Euphorbia helioscopia</i>	7	48	5	10	1	0
<i>Echinochloa crus-galli</i>	3	35	26	8	3	19
<i>Solanum nigrum</i>	1	34	9	3	3	2
<i>Setaria viridis</i>	2	43	27	3	7	18
<i>Digitaria sanguinalis</i>	2	37	25	4	1	24
<i>Amaranthus retroflexus</i>	1	10	8	1	9	15
<i>Rumex acetosella</i>	1	278	13	16	20	23
<i>Taraxacum officinale</i>	16	201	12	56	4	10

Quellen: KÄSTNER ET AL. (2001), UK CENTRE FOR ECOLOGY AND HYDROLOGY (2008), ALTIERI ET AL. (2015), ELFVING (1968), HYVÖNEN UND HUUSELA-VEISTOLA (2008), PRETSCHER UND KLEIFGES (2000), PETIT ET AL. (2011), NORRIS UND KOGAN (2005), HOLLAND ET AL. (2005), CLARKE R. ET AL. (2003), CRAMP (1983, 1985, 1988), CRAMP, S., BROOKS D.J. (1992), CRAMP, S., PERRINS C.M. (1994), CRAMP, S., PERRINS, C.M. (1996), NATIONAL MUSEUM OF NATURAL HISTORY SMITHSONIAN (2018).

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass Ackerunkrautarten eine wichtige Rolle für die Artenvielfalt spielen, indem sie eine beträchtliche Anzahl von Arthropoden- und Vogelarten unterstützen, darunter mehrere monophage Arten. Es ist zudem möglich, Unkrautarten zu identifizieren, die für die biologische Vielfalt von größerer Bedeutung sind. Interessanterweise sind diese Unkrautarten meist nicht die Hauptziele der Unkrautbekämpfung und haben nur eine mittlere oder geringe Konkurrenzskraft.

Dass die Artenvielfalt eine wichtige ökologische sowie ökonomische Rolle spielt, wurde schon in zahlreichen Studien belegt. So erbringt auch die Artenvielfalt von Ackerunkräutern und der damit verbundenen Fauna als Teil von Agrarökosystemen vielfältige Ökosystemleistungen. Generell hat sich gezeigt, dass Biodiversität den Schädlingsdruck reduziert und Agrarökosysteme widerstandsfähiger und selbstregulierend macht (ALTIERI and NICHOLLS, 2004). Zudem wurde eine positive Korrelation zwischen der Anzahl der Arten und der verbesserten Funktion und Produktivität von Ökosystemen beobachtet (HOOPER et al., 2005). Je vielfältiger und komplexer ein Agrarökosystem ist, desto stabiler und produktiver ist es und desto weniger anfällig ist es für Schädlinge und andere ökologische Störungen (NICHOLLS, 2008). Ackerunkräuter können insbesondere Bestäuber (BURKLE & ALARCÓN 2011) und natürliche Feinde (NENTWIG, 1994; BASEDOW, 1988) anziehen, um nur einige Funktionen der Artenvielfalt von Ackerunkräutern zu nennen.

Andererseits gehören die Zerstörung von Lebensräumen und die Intensivierung der Landwirtschaft (einschließlich des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln) zu den wichtigsten Ursachen für den Verlust von Insekten (WAGNER, 2020). Daher führt ein Rückgang der Unkrautvielfalt und -abundanz zu einer Verringerung der Ökosystemleistungen der Landwirtschaft.

Angeichts der Kosten, welche durch Biodiversitätsverluste entstehen (HANLEY and PERRINGS 2019), besteht ein großer Bedarf, den Wert von Ackerunkräutern und das gängige Unkrautmanagement in der Landwirtschaft neu zu bewerten. Auch die zunehmende Anzahl herbizidresistenter Unkrautarten machen dies zu einer dringenden Priorität. Neue, nachhaltigere Ansätze zur Unkrautkontrolle sollten von der Bundesregierung im Rahmen der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie und des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (BUNDESREGIERUNG, 2016; BMEL, 2013) vorgegeben und unterstützt werden.

Förderhinweis

Dieser Text wurde ermöglicht durch ein Vorhaben des Bundesamtes für Naturschutz aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, FKZ 3519840700.

Literatur

- ALTIERI, M.A., C.I. NICHOLLS; M. GILLESPIE; B. WATERHOUSE; S. WRATTEN; G. GBÈHOUNOU; B. GEMMILL-HERREN, 2015: Crops, Weeds and Pollinators. Understanding Ecological Interactions for Better Management. Rome, FAO.
- ALTIERI, M.A., C.I. NICHOLLS, 2004: Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems, 2nd Edition. Binghamton: Haworth Press.
- BASEDOW, T., 1988: Feldrand, Feldrain und Hecke aus der Sicht der Schädlingsregulation. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-, Forstwirtschaft **247**, 129-137.
- BLANCO VALDES, Y., 2016: The role of weeds as a component of biodiversity in agroecosystems. Cultivos Tropicales **37** (4), 34–56. DOI: 10.13140/RG.2.2.10964.19844.
- BMEL, 2013: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.
- BUNDESREGIERUNG, 2016: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016 - Entwurf. Nachhaltigkeitsstrategie 2016. Berlin.
- BURKLE, L.A.; R. ALARCÓN, 2011: The future of plant-pollinator diversity: understanding interaction networks across time, space, and global change. American journal of botany **98** (3), 528–538. DOI: 10.3732/ajb.1000391.
- CLARKE, R.; P. COMBRIDGE; N. MIDDLETON, 2003: Monitoring the diets of farmland winter seed-eaters through raptor pellet analysis. British Birds **96**, 360–375.
- CRAMP, S. (ED.), 1983: The Birds of the Western Palearctic. Oxford: Oxford University Press (vol. 3).
- CRAMP, S. (ED.), 1985: The Birds of the Western Palearctic. vol. 4. Oxford: Oxford University Press.
- CRAMP, S. (ED.), 1988: The Birds of the Western Palearctic. vol. 5. Oxford: Oxford University Press.
- CRAMP, S., D.J. BROOKS (ED.), 1992: The Birds of the Western Palearctic. Oxford: Oxford University Press (6).
- CRAMP, S.; C.M. PERRINS (ED.), 1994: The Birds of the Western Palearctic. Oxford: Oxford University Press (8).
- CRAMP, S.; C.M. PERRINS (ED.), 1996: The Birds of the Western Palearctic. Oxford: Oxford University Press (9).
- 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.
- ELFVING, R., 1968: Die Bienen Finnlands. In Fauna Fennica **21**, 1–69.
- HALLMANN, C.A.; M. SORG; E. JONGEJANS; H. SIEPEL; N. HOFLAND; H. SCHWAN, 2017: More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PloS one **12** (10), e0185809. DOI: 10.1371/journal.pone.0185809.
- HANLEY, N.; C. PERRINGS, 2019: The Economic Value of Biodiversity. Annual Review of Resource Economics **11** (1), 355–375. DOI: 10.1146/annurev-resource-100518-093946.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- HOLLAND, J.M.; M.A.S. HUTCHISO; B. SMITH; N.J. AEBISCHER, 2005: A review of invertebrates and seed-bearing plants as food for farmland birds in Europe. *Annals of Applied Biology* **148** (1) ISSN 0003-4746.
- HOOPER, D.U.; F.S. CHAPIN; J.J. EWEL; A. HECTOR; P. INCHAUSTI; S. LAVOREL, 2000: Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* **75** (1), 3–35. DOI: 10.1890/04-0922.
- HYVÖNEN, T.; E. HUUSELA-VEISTOLA, 2008: Arable weeds as indicators of agricultural intensity – A case study from Finland. *Biological Conservation* **141** (11), 2857–2864. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.08.022.
- KÄSTNER, A.; E.J. JÄGER; R. SCHUBERT, 2001: Handbuch der Segetalpflanzen Mitteleuropas. 1. Ausgabe. Wien, Springer-Verlag.
- MARSHALL, E.J.P.; V.K. BROWN; N.D. BOATMAN; P.J.W. LUTMAN; G.R. SQUIRE; L.K. WARD, 2003: The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research* **43** (2), 77–89. DOI: 10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x.
- MARSHALL, E.J.P.; V. BROWN; N. BOATMAN; P. LUTMAN; G. SQUIRE, 2001: The impact of herbicides on weed abundance and biodiversity. A Report for the UK Pesticide Safety Directorate. IACR-Long Ashton Research Station, UK.
- MEYER, S.; K. WESCHE; B. KRAUSE; C. BRÜTTING; I. HENSEN; C. LEUSCHNER, 2014: Diversitätsverluste und floristischer Wandel im Ackerland seit 1950. *Natur und Landschaft* **89** (9/10), 392-298. ISBN 978-3-00-153293-0.
- MOREBY, S., 1999: Influence of autumn applied herbicides on summer and autumn food available to birds in winter wheat fields in southern England. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **72** (3), 285–297. DOI: 10.1016/S0167-8809(99)00007-9.
- NATIONAL MUSEUM OF NATURAL HISTORY SMITHSONIAN, 2018: Encyclopedia of Life. Access: 2. November 2021, URL: <https://eol.org>.
- NENTWIG, W., 1994: Wechselwirkungen zwischen Ackerwildpflanzen und der Entomofauna. *Berichte über die Landwirtschaft. Sonderheft* **209** (7), 123–135.
- NICHOLLS, C.I., 2008: Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. In *Agroecología* **1**, 37–48.
- NORRIS, R.F.; M. KOGAN, 2005: Ecology of interactions between weeds and arthropods. *Annual Review of Entomology*. 2005;50:479-503. doi: 10.1146/annurev.ento.49.061802.123218.
- OERKE, E.C., 2006: Crop losses to pests. In *Journal of Agricultural Science* **144** (1), 31–43. DOI: 10.1017/S0021859605005708.
- PE'ER, G.; S. LAKNER; G. PASSONI; C. AZAM; J. BERGER; L. HARTMANN, 2017: Is the CAP fit for purpose? An evidence based fitness-check assessment. Preliminary Summary of key outcomes. Leipzig, BirdLife, EEB, NABU, iDiv, UFZ, Uni. Göttingen.
- PETIT, S., A. BOURSALT; M. GUILLOUX; N. MUNIER-JOLAIN; X. REBOUD, 2011: Weeds in agricultural landscapes. A review. In *Agronomy for Sustainable Development* **31** (2), 309–317. DOI: 10.1051/agro/2010020.
- PRETSCHER, P.; P. KLEIFGES, 2000: Die Schmetterlingsdatenbank LEPIDAT des Bundesamtes für Naturschutz (BfN): Grundlage für die Erstellung der Roten Liste gefährdeter Großschmetterlinge Deutschlands. *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz* **65**, 51–70.
- UK CENTRE FOR ECOLOGY AND HYDROLOGY, 2008: Database of British Insects and their Food Plants. Access: 2. November 2021, URL: <https://www.brc.ac.uk/dbif/>.
- WAGNER, D.L., 2020: Insect Declines in the Anthropocene. *Annual review of entomology* **65**, 457–480. DOI: 10.1146/annurev-ento-011019-025151.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

WERNER, B.; F. DE MOL; B. GEROWITT, 2004: Schadensprognosen und Bekämpfungsempfehlungen für Unkräuter in Raps und Getreide mit CeBrUs. *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue* **9**, 981-988.

Analyse der Unkrautflora in deutschlandweiten Herbizidversuchen im Zuckerrübenanbau (1995–2020)

Analysis of the weed flora in Germany-wide herbicide trials (1995–2020)

Christoph Ott^{1,2*}, Christine Kenter², Daniel Laufer², Erwin Ladewig²

¹Arbeitsgemeinschaft für das Versuchswesen Franken, Würzburger Straße 44, 97246 Eibelstadt

²Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstraße 77, 37120 Göttingen

*Korrespondierender Autor, christoph.ott@frankenrueben.de

DOI: 10.5073/20220117-072357

Zusammenfassung

Jährlich werden von den regionalen Arbeitsgemeinschaften Herbizidversuche in den typischen Zuckerrübenanbaugebieten Deutschlands durchgeführt, die das Institut für Zuckerrübenforschung koordiniert. Mittlerweile liegen Ergebnisse aus 26 Versuchsjahren vor.

Die häufigsten Unkräuter in diesen Versuchen waren Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*), Windenknöterich (*Fallopia convolvulus*) und Kletten-Labkraut (*Galium aparine*).

Allerdings unterscheiden sich die verschiedenen Versuchsstandorte nicht nur geografisch voneinander, sondern auch in den Parametern Boden, Temperatur und Niederschlag, weshalb die Standorte in CEPI-6-Cluster aufgeteilt wurden. Hier zeigt sich, dass sich einzelne Cluster in der Anzahl der auftretenden Unkrautarten signifikant voneinander unterscheiden. Neben der Bodenwertzahl der Standorte können auch die Niederschlagssummen sowie die mittleren Temperaturen einen Einfluss auf die Anzahl der auftretenden Unkräuter haben.

Stichwörter: Herbizidversuche, Leitunkräuter, Unkrautflora, Zuckerrübe

Abstract

Every year herbicide trials are conducted by the regional working groups in the typical sugar beet production areas in Germany, coordinated by the institute of sugar beet research. Today the results of 26 trial years are available.

The most common weeds in the field trials were fat hen (*Chenopodium album*), black bindweed (*Fallopia convolvulus*) and cleavers (*Galium aparine*).

The different trial sites did not only differ in their geographic location but also in soil value, temperature and precipitation. Therefore, the trial sites were divided into CEPI-6-Clusters. Significant differences among clusters in the average number of observed weed species became apparent. Soil value, precipitation sum, and average temperature influence the number of observed weeds.

Keywords: herbicide trials, sugar beet, weed flora, weeds

Einleitung

Die Grundlage für einen wirtschaftlichen Zuckerrübenanbau ist eine erfolgreiche Unkrautregulierung. Gelingt diese nicht, kommt es zu hohen Ertragsverlusten und Ernteerschwernissen. Für die chemische Unkrautregulierung stehen boden- und blattaktive Wirkstoffe zur Verfügung. Deren Kombination, Aufwandmengen und Applikationszeitpunkt muss an die jeweilige Verunkrautung sowie die feldspezifischen Bedingungen angepasst werden (GUMMERT et al., 2012).

Die Unkrautflora im Zuckerrübenanbau wird von bestimmten Leitunkräutern dominiert, nach welchen die Herbizidwahl ausgerichtet wird. Laut einer bundesweiten Expertenschätzung überwiegen in

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
Deutschland in den letzten 20 Jahren Gänsefuß- und Knöterich-Arten (BUHRE et al., 2014). Allerdings können regionalspezifische Besonderheiten sowie witterungsbedingte Jahreseffekte auftreten.

Um die Leitverunkrautung bei Zuckerrüben sowie regionale Unterschiede genauer zu analysieren, ist die Betrachtung eines längeren Zeitraums notwendig. Aus einer seit 1995 jährlich durchgeführten Versuchsreihe, die das Institut für Zuckerrübenforschung koordiniert, liegen Unkrautdaten aus 26 Versuchsjahren für die Auswertung vor.

Material und Methoden

Herbizidversuche 1995-2020

In der Versuchsserie wird die Unkrautwirkung unterschiedlicher Herbizidkombinationen im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante untersucht. Die regionalen Arbeitsgemeinschaften in allen Rübenanbauregionen führen die Feldversuche durch und erfassen die dominierenden Unkrautarten und deren prozentuale Anteile an der Gesamtverunkrautung in den unbehandelten Kontrollparzellen. Unkrautarten mit geringem Anteil werden unter sonstige Unkräuter zusammengefasst. Für den Zeitraum von 1995-2020 liegen insgesamt 426 randomisierte und vierfach wiederholte Versuche vor. Die Daten der unbehandelten Kontrollvarianten zeigen das standort- und jahresspezifische Unkrautspektrum. Insgesamt konnten 1690 Kontrollparzellen ausgewertet werden. Für die Auswertung wurde jeweils die abschließende Erfassung nach der letzten Herbizidbehandlung herangezogen.

Aufteilung nach CEPI-6-Cluster

Da sich die einzelnen Versuchsstandorte nicht nur in ihrer geografischen Lage (Abb. 1), sondern auch in den Parametern Boden, Temperatur und Niederschlag innerhalb der jeweiligen Gebiete stark unterscheiden können, wurde auf eine Gliederung nach Anbauregionen verzichtet. Stattdessen erfolgte eine Gruppierung der Versuche nach Clustern zur regionalen Erhebung und Analyse der Pflanzenschutzintensität (CEPI) im Ackerbau (Tab. 1), welche sich in der Ausprägung von Klimaattributen wie auch Bodeneigenschaften unterscheiden (DACHBRODT-SAADEH et al., 2019). Die meisten Versuche konnten Cluster B zugeordnet werden, welcher sich durch die größten mittleren Bodenwertzahlen auszeichnet. In den weiteren Clustern A, C, E und F wurden deutlich weniger Versuche durchgeführt. In Cluster D stehen lediglich 20 bonitierte Parzellen zur Verfügung. Zudem wurde hier letztmals 2008 ein Versuch angelegt. Die Höhe der Bodenwertzahlen in den einzelnen Clustern nimmt in der Reihenfolge B, C, D, F, A und E ab. Die mittleren Niederschlagssummen sind in den Clustern A und B deutlich geringer als in den übrigen Clustern. Zudem sind in diesen beiden Clustern die mittleren Temperatursummen, v.a. während der Vegetationsperiode, am höchsten.

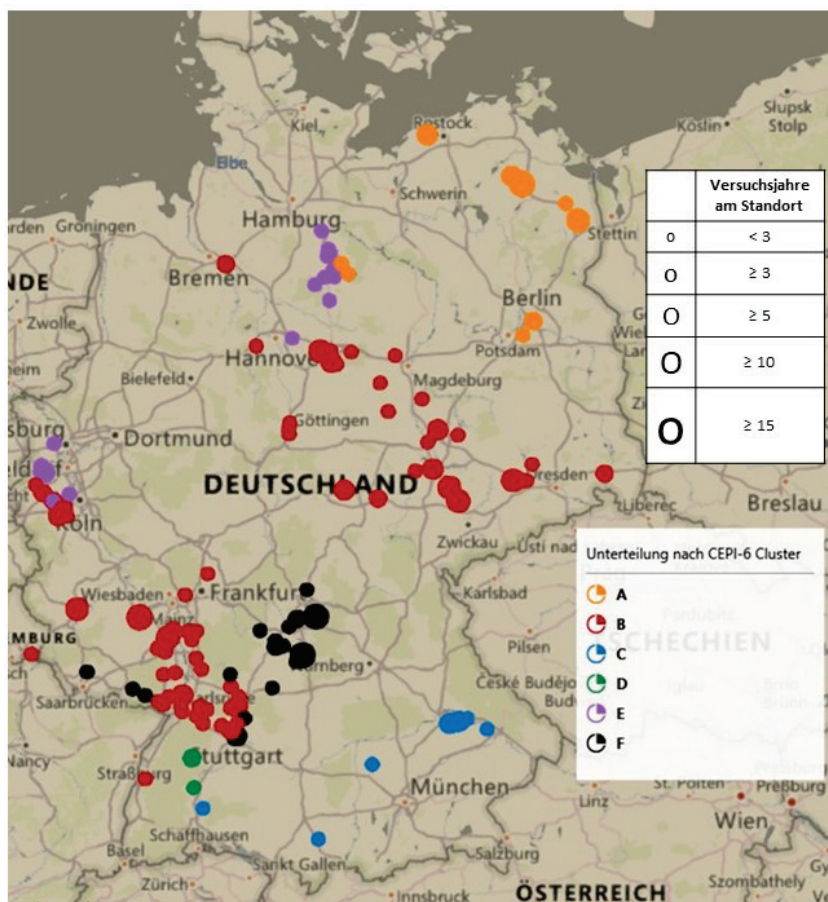


Abbildung 1 Versuchsstandorte der deutschen Herbizidversuche in Zuckerrüben, Deutschland 1995-2020. Farbige Unterteilung der Standorte nach Clustern zur regionalen Erhebung und Analyse der Pflanzenschutzintensität (CEPI) im Ackerbau. Die Größe der Punkte spiegelt die Anzahl der Versuche am Standort im genannten Zeitraum.

Figure 1 Trial sites of the German herbicide trials, 1995-2020. Colors indicate clusters for the regional evaluation and analysis of pesticide use intensity (CEPI) in arable crops. Size of the dots reflects the number of trials during this period.

Tabelle 1 Aufteilung der Versuchsstandorte auf CEPI-6-Cluster. 1690 Kontrollparzellen aus 426 Herbizidversuchen bei Zuckerrüben in Deutschland, 1995-2020

Table 1 Division of trial sites to CEPI-6-Cluster. 1690 untreated plots from 426 herbicide trials in Germany, 1995-2020

Cluster	1995-2000	2001-2010	2011-2020	1995-2020
A	56	124	40	220
B	347	358	265	970
C	27	20	24	71
D	8	12	0	20
E	32	59	23	114
F	87	117	91	295
Gesamt	557	690	443	1690

Ergebnisse und Diskussion

Leitunkräuter

Bei Untersuchung der Bonituren aller Versuche von 1995-2020 wurden acht Leitunkräuter detektiert, welche am häufigsten auftraten (Abb. 2). Dominiert wird die Unkrautflora durch Weißen Gänsefuß (*Chenopodium album*), welcher in 82 % der insgesamt 1690 unbehandelten Kontrollparzellen erfasst wurde.

Auf über der Hälfte der ausgewerteten Parzellen trat Windenknöterich (*Fallopia convolvulus*) auf. An dritter Stelle der Leitunkräuter steht Kletten-Labkraut (*Galium aparine*), dessen Anteil jedoch mit 25 % deutlich geringer ist. Echte Kamille (*Matricaria chamomilla*), Bingelkraut (*Mercurialis annua*) sowie Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*) liegen bei 19 %. Vogelknöterich (*Polygonum aviculare*) war auf 17 % und Acker-Hellerkraut (*Thlaspi arvense*) auf 12 % der Parzellen vorzufinden.

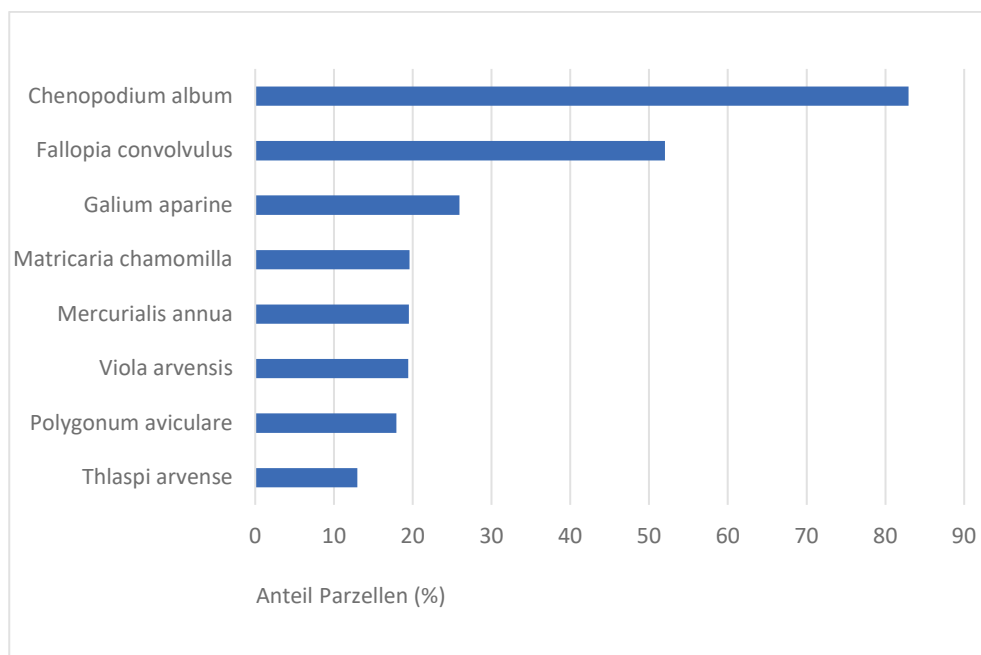


Abbildung 2 Unkrautarten in Herbizidversuchen bei Zuckerrüben in Deutschland 1995-2020 nach Häufigkeit des Auftretens (n=1690 Parzellen ohne Herbizidbehandlung)

Figure 2 Weed species in German wide herbicide trials 1995-2020 according to the frequency of occurrence (n=1690 trial plots without herbicides)

Unkrautflora

Bei der Bonitur werden in den Parzellen ohne Herbizidbehandlung die dominanten Unkräuter und deren Anteil festgehalten. Hieraus lässt sich ableiten, wie viele unterschiedliche Unkräuter in jeder Parzelle auftreten. Unkrautarten, welche am Standort nur vereinzelt und mit sehr geringem Anteil vorkommen, werden gesammelt als sonstige Unkräuter erfasst und nicht näher bestimmt. Diese finden in der folgenden Auswertung keine Berücksichtigung.

Nach Untergliederung der Versuchsstandorte in die CEPI-6-Cluster zeigen sich Unterschiede in der Anzahl der dominanten Unkräuter und somit in der Variabilität der dominierenden Unkräuter am Standort (Abb. 3). In den Kontrollparzellen der Versuchsstandorte in Cluster A war die Anzahl der bonitierten Leitunkräuter mit einem Median von 5 signifikant höher als in allen anderen Clustern. Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, dass in Cluster A neben den kleinsten Bodenwertzahlen auch die niedrigsten Niederschlagssummen sowie höchsten mittleren Temperaturen während der Vegetationsperiode vorliegen (DACHBRODT-SAAAYDEH et al., 2019). Späterer Reihenschluss sowie geringere Unkrautunterdrückung können die Folge sein, woran die Unkrautbekämpfung angepasst werden muss. Bei Cluster D zeigen die Kontrollparzellen mit einem Median von 2,5 die geringste Unkrautvielfalt, was wahrscheinlich auf die geringe Anzahl von fünf Versuchsstandorten zurückzuführen ist. In den Versuchen von Cluster F mit einem Median von 3 traten auch signifikant weniger unterschiedliche Unkräuter in den unbehandelten Kontrollen auf.

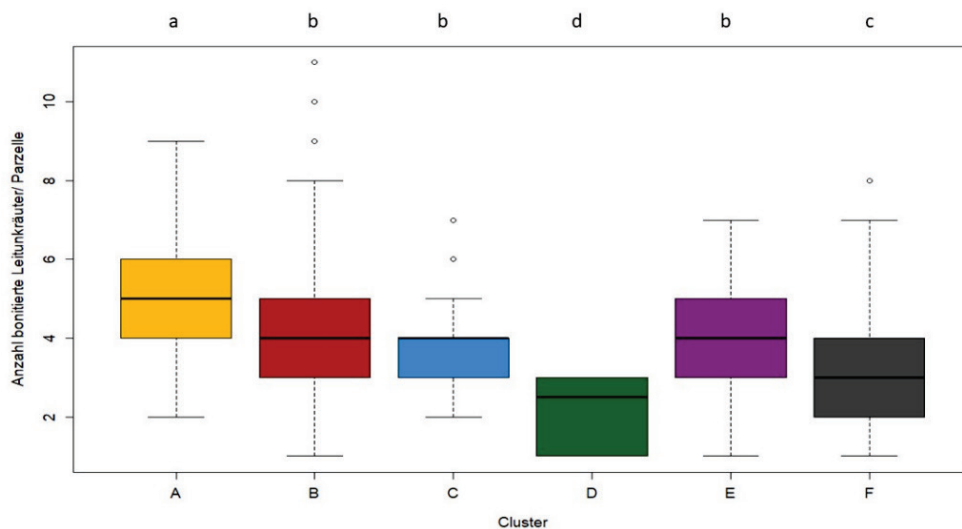


Abbildung 3 Mittlere Anzahl bonitierter Leitunkräuter in den Kontrollparzellen (n=1690) der Herbizidversuche von 1995-2020. Untergliederung der Versuchsstandorte nach CEPI-6-Cluster (DACHBRODT-SAAYDEH et al., 2019). Daten nicht normalverteilt, Shapiro-Wilk-Test ($p < 0.05$). Unterschiedliche Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Clustern Wilcoxon-Test, ($p < 0.05$).

Figure 3 Average number of observed weeds in the untreated trial plots (n=1690) in herbicide trials with sugar beet, Germany 1995-2020. Classification of trial sites according to CEPI-6-Cluster. Data not normally distributed, Shapiro-Wilk test ($p < 0.05$). Different lower case letters indicate significant differences among clusters, Wilcoxon-test ($p < 0.05$).

Aus den Ergebnissen der Herbizidversuche lässt sich ableiten, dass Weißer Gänsefuß, Windenknöterich, Kletten-Labkraut und Echte Kamille die größte Verbreitung im Zuckerrübenanbau in Deutschland besitzen. Dies zeigen bereits die Ergebnisse einer Betriebsbefragung aus dem Jahr 2015, bei der Weißer Gänsefuß, Kletten-Labkraut, Kamille-Arten sowie Windenknöterich von den Betrieben als die häufigsten Unkrautarten oder -familien auf Zuckerrübenflächen genannt wurden (HAUER-JÁKLI et al., 2017). Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass nach Aufteilung der Standorte nach CEPI-6-Cluster Unterschiede in der Unkrautflora erkennbar sind. Die Kombination aus kleiner Bodenwertzahl, hoher Temperatursumme und geringer Niederschlagssumme führte zu einem breiteren Unkrautspektrum.

Literatur

- BUHRE, C., H. BAUER, C. EßER, G. SANDER, E. LADEWIG, 2014: Umfrage Produktionstechnik – regionale Unterschiede in der Zuckerrübenproduktion im Bereich des Pflanzenschutzes. Sugar Industry, 110–116, DOI:10.36961/si15245.
- DACHBRODT-SAAYDEH, S., J. SELLMANN, D. ROßBERG, 2019: Cluster zur REGIONALEN Erhebung und Analyse der Pflanzenschutzintensität (CEPI) im Ackerbau. Journal für Kulturpflanzen, 71 (10), 264-270, DOI:10.5073/JfK.2019.10.02.
- GUMMERT, A., E. LADEWIG, B. MÄRLÄNDER, 2012: Leitlinien für den integrierten Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau: Aspekte der Unkrautregulierung. Julius-Kühn-Archiv 434 (1), 345-352, DOI:10.5073/jka.2012.434.042.
- HAUER-JÁKLI, M., N. NAUSE, K. TRIMPLER, N. STOCKFISCH, B. MÄRLÄNDER, 2017: CONVISO® ONE - Ansätze für eine Systemanalyse der Herbizidstrategie. Sugar Industry, 704–712.

Potential of herbicide reduction by automatic spot spraying in sugar beet with regard to weed control and biodiversity

Potenzial der Herbizideinsparung durch automatisiertes Spot-Spraying in Zuckerrüben im Hinblick auf Unkrautbekämpfung und Biodiversität

Rebecka Dücker¹, Christoph Radloff¹, Svenja Bänsch², Stefan Paulus³, Sebastian Streit^{3*}

¹Georg-August Universität Göttingen, Abteilung. Pflanzenpathologie und Pflanzenschutz, Göttingen, Germany

²Zentrum für Biodiversitätsmonitoring und Naturschutzforschung, Zoologisches Forschungsmuseum Alexander Koenig, Leibniz-Institut für Biodiversität der Tiere, Bonn, Germany

³Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ), Göttingen, Germany

*streit@ifz-goettingen.de

DOI: 10.5073/20220117-072644

Abstract

Reducing pesticide use while maintaining crop productivity is one of the biggest challenges in modern agriculture. Spot spraying systems can achieve significant herbicide savings in weed control. This is true in particular for less competitive crops and with high herbicide treatment indices. In order to test the savings potential under practical conditions in the field, the effectiveness of a spot spraying system (WeedSeeker 2, FarmFacts Germany) was evaluated in a one-year pilot project. The study included two intensity levels in comparison with standard site practice and an untreated control in a sugar beet experimental field with each four replicates. Therefore, the degree of weed coverage, the weed density and the number of weed species present were recorded before and after each of the three treatments by visual assessment. After the last application, the abundance and diversity of soil arthropods was additionally recorded. Finally, the herbicide savings potential at a given weed density, the control success and differences in abundance and diversity of the recorded species between the treatments were compared. Our results show that a considerable decrease in herbicide use is possible with the given technology, however, weed densities remained above the economic threshold for the most dominant weed, *Chenopodium album* L. Additionally, there was a trend of a higher abundance of soil arthropods, including carabids, in the untreated plots in comparison to the different herbicide treatments. However, the biodiversity indicated by the Shannon index was not reduced. Overall, the spot spraying treatment did not lead to an improvement of biodiversity parameters in comparison to the broadcast standard spraying method. Therefore, a continuous improvement of the application technique is required to ensure stable yields while at the same time reducing pesticide use.

Keywords: Biodiversity, carabidae, herbicide, precision farming, soil arthropods, weeds

Zusammenfassung

Die Reduktion des Pflanzenschutzmittelverbrauchs bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Produktivität im Pflanzenbau ist eine der größten Herausforderungen der modernen Landwirtschaft. Durch Spotspraying-Systeme können bei in der Unkrautkontrolle signifikante Einsparungen von Herbiziden erzielt werden. Dies gilt vor allem für Kulturen, die im Vergleich zu anderen Ackerbaukulturen eine geringe Konkurrenzfähigkeit gegenüber Unkräutern aufweisen und einen verhältnismäßig hohen Herbizidbehandlungsindex haben. Um das Einsparungspotenzial unter Praxisbedingungen im Feld zu testen, wurde die Effektivität eines Punktspritzsystems (WeedSeeker 2, FarmFacts, Deutschland) in einem einjährigen Pilotprojekt durchgeführt. Die Untersuchung umfasste zwei Intensitätsstufen im Vergleich zur standortüblichen Praxis und einer unbehandelten Kontrolle in einem Zuckerrübenbestand in vier Wiederholungen. Dazu wurden

vor und nach jeder der drei Behandlungen der Unkrautdeckungsgrad, die Unkrautdichte und die Anzahl der vorkommenden Unkrautarten durch visuelle Bonitur erfasst. Nach der letzten Applikation wurden zusätzlich Abundanz und Diversität von Bodenarthropoden erhoben. Abschließend wurden das Herbizideinsparungspotenzial bei gegebener Unkrautdichte, der Bekämpfungserfolg, sowie Unterschiede in Abundanz und Diversität der erfassten Arten zwischen den Behandlungen verglichen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass der Herbizideinsatz mit dieser Technologie erheblich reduziert werden kann. Die Unkrautdichte blieb jedoch über dem ökonomischen Schwellenwert für das dominanteste Unkraut, *Chenopodium album* L. Darüber hinaus war in den unbehandelten Parzellen im Vergleich zu den verschiedenen Herbizidbehandlungen tendenziell eine höhere Abundanz von Bodenarthropoden, einschließlich Laufkäfern, festzustellen. Die durch den Shannon-Index angezeigte Artenvielfalt wurde jedoch nicht verringert. Insgesamt führte die Spotspraying-Behandlung nicht zu einer Verbesserung der Biodiversitätsparameter im Vergleich zur Standard-Spritzmethode. Daher ist eine kontinuierliche Verbesserung der Anwendungstechnik erforderlich, um stabile Erträge zu gewährleisten und gleichzeitig den Pflanzenschutzmitteleinsatz zu verringern.

Stichwörter: Biodiversität, Bodenarthropoden, Herbizide, Laufkäfer, Präzisionslandwirtschaft, Unkraut

Introduction

Precision agriculture is an important component in facing modern agricultural challenges such as labour shortages, reduction of pesticide usage and promotion of biodiversity, while maintaining agricultural productivity. The reduction potential is particularly high for herbicides (POHL et al., 2018), as weeds are sessile and can be distinguished from cultivated plants relatively well with modern methods (SA et al., 2018). Furthermore, weeds are rarely homogeneously distributed across fields, so intelligent weed control systems can adapt weed control intensity to weed occurrence (KÄMPFER & NORDMEYER, 2021). With the rise of affordable computer vision and efficient image recognition, based on artificial intelligence, various of these systems including hoeing and spraying systems are under development and have advanced particularly over the past decade (ESPOSITO et al., 2021). Spot spraying is a powerful weed control method that potentially provides effective intra row weed control and has high herbicide saving potential. This particularly applies to crops that are sensitive to weed competition and have a high herbicide treatment index. Spot spraying instead of conventional chemical weed control in sugar beet can potentially save significant amounts of herbicide, as significant amounts of herbicide are applied during the usual three herbicide applications with an average treatment index of 2.6 (JULIUS KÜHN-INSTITUT, 2020). This is especially relevant since control thresholds are rarely applied due to the higher effectiveness of weed control at the cotyledon stage (GUMMERT et al., 2011) and as reduced chemical plant protection in sugar beet can have beneficial effects on ground beetles that can deliver important ecosystem services (KOSEWSKA et al., 2020). Herbicides, can have direct, but more importantly, indirect effects on insects via the vegetation cover and plant diversity (NORRIS & KOGAN, 2005). However, the spot spraying technology is still in the beginning and requires constant evaluation and improvement to bring the technology to widespread market maturity. For this reason, the present study investigated the savings potential of a spot spraying system with optoelectronic sensors, discriminating weeds from bare soil, at different herbicide intensities. In addition, the weed control success, as well as the abundance and diversity of the weed flora and the soil arthropods present in the field were recorded.

Material and methods

The field trial was drilled in Bovenden, Germany on April 23, 2021 (variety KWS Annarosa) on a loamy sugar beet production site (88 points). The experiment was designed as a randomized complete block design with four treatments and four replicates with plot sizes of 8.1 x 13.5 m. The blocks were framed by calibration plots and separated by conventionally-treated sugar beet plots.

The herbicide treatments were applied 27, 38, and 49 days after sowing as a combination of 1.5 L Goltix Titan (metamitron + quinmerac) ha⁻¹, 2 L Betasana SC (phenmedipham) ha⁻¹ and 0.5 L Oblix (ethofumesat) ha⁻¹. The only deviation was an increase of the application rate of Betasana to 2 L ha⁻¹ on the second application date. The herbicides were applied using a WeedSeeker 2 system (FarmFacts, Germany) with 12 optoelectronic sensors mounted on the sprayer boom at 45 cm intervals and connected to spraying nozzles controlled via an ISOBUS system. The weed seeker system has been calibrated according to the manufacturer's calibration procedure. To evaluate the sensitivity of the system, two different calibration setups were implemented. The first one with a very high sensitivity which enables the detection of smallest weeds, the second with less sensitivity to concentrate on larger weeds and more herbicide saving. The application was carried out at a speed of 4.5 km h⁻¹ and 2.2 bar.

Vegetation monitorings were carried out two days before the first herbicide application, ten days after the first and the second application and twelve days after the third application. They included the estimation of the sugar beet coverage, the weed coverage and weeds within sampling windows of 2.7 x 6 m were counted and identified.

Soil arthropods were collected during a five-day period in three pitfall traps (8.5 cm Ø) containing 50% ethylene glycol per plot starting three days after the last herbicide application (BARBER, 1931). The number of centipedes (Chilopoda), millipedes (Diplopoda), arachnids (Arachnida) and beetles (Coleoptera) was determined. All ground beetles (Carabidae) were identified at the species level. Collembola and individuals < 2 mm were discarded due to large quantities (several thousands of individuals per trap). Finally, sugar beet yield (fresh mass) was determined after harvest in October, except for the untreated control plots, where the weeds were removed after the last weed assessment. The statistical evaluation included Shapiro-Wilk-tests for normality, which were conducted for all data sets. Statistical differences between treatments were then examined using the Wilcoxon rank-sum test. Additionally, linear regression analyses were conducted for the number of ground beetles as a function of weed density and herbicide application using the package 'ggpmisc'. Additionally, Shannon indices were calculated for carabids and weeds and analysed using linear regressions in a similar way. All analyses were conducted in R statistical software (version 4.0.0, (R CORE TEAM, 2021)).

Results and discussion

This study investigated the potential herbicide reduction by automatic spot spraying in sugar beet, considering biodiversity aspects. It could be shown that in case of the high-intensity spot spraying treatment 17-67% and in case of the low-intensity spot spraying treatment 33-75% of the herbicide quantity was saved compared to the standard treatment (Fig. 1). The average herbicide savings were 39 and 61%, respectively. The weed coverage increased in all plots over the observed period (Fig. 2). After the third treatment, the weed coverage in the control showed with 66.3%, a significantly higher coverage than the treated plots. However, with weed coverage rates of 6.3 and 3.0% also the two spot spraying treatments reached levels below the typical standards of good agricultural practice. As typical for locations with a high percentage of sugar beets in the crop rotation, common lambsquarters (*Chenopodium album* L.) was the predominant weed (PETERSEN & HURLE, 1998). This is particularly true for the untreated control plots, where 94.4% of the weeds were identified as common lambsquarters (Fig. 3C). In the Weedseeker treatments, the proportion of common lambsquarters was at a similar level of 91.6 and 87.2% respectively. Considering the percentage of common lambsquarters and the weed density, this weed reached densities of 62.7 individuals m⁻² in the control plots and 17.7 and 15.0 individuals m⁻² in the spot spraying treatments with low and high intensity, respectively. Therefore, all of these treatments exceeded the sugar beet specific economic threshold of < 10 plants m⁻² (NEURURER, 1976). These results correlate with the sugar beet fresh mass, as the yield was with 74.4 ± 2.2 t ha⁻¹ highest in the standard treatment, followed by the spot spraying treatments with high intensity with 72.1 ± 3.07 t ha⁻¹ and low intensity with 36.1 ± 8.5 t ha⁻¹.

However, these results were statistically not significant. Yet, for the practical application, the effectiveness and reliability of the tested spot spraying system needs to be improved in order to reduce the enrichment of the seedbank with seeds of common lambsquarters to an acceptable level for the farmer. This is of particular importance as these seeds are viable for decades, and under optimal conditions even centuries (THOMPSON et al., 1997). In addition, it is important to minimise the risk of yield reduction by weed competition, as the sugar beet coverage already indicated a yield effect (Fig. 2H). However, this effect was only found to be significant in the untreated control when compared to the standard plots and the high intensity spot spraying treatment. Significant yield reduction was not expected for the plots treated with the standard herbicide applications, where common lambsquarters accounted for only 30.7% of the weeds (0.4 individuals m⁻²). In these plots, common knotgrass (*Polygonum aviculare* L.) with 46.7% was the most dominant weed, presumably due to the efficacy gaps of the herbicides (LAUFER & LADEWIG, 2020). This change in the abundance of common lambsquarters is also evident in the sense that, the biodiversity of weeds in the control plots with a Shannon index of 0.24 was significantly lower than the Shannon index of 0.85, calculated for the standard plots ($p = 0.029$, Fig. 4D). Thus, a weak positive correlation between Shannon index and herbicide use was found with an R^2 of 0.45. A similar, but even much weaker trend ($R^2 = 0.2$), was observed in the diversity of ground beetles (Fig. 4C). This can be attributed to the dominant occurrence of *Pterostichus melanarius* (Illiger), a predator of slugs and aphids (SUNDERLAND, 1975), in the untreated control plots. Unlike most beetles, this species tends to stay in the centre of the field rather than at the edge (FOURNIER & LOREAU, 1999). The next most common beetles were *Bembidion lampros* (Herbst), *Harpalus rufipes* (DeGeer), *Trichocellus placidus* (Gyll.) and *Harpalus affinis* (Schrank). These species occur frequently on arable land, also feed on aphids or weed seeds and therefore provide ecosystem services (SUNDERLAND, 1975; HONĚK & JAROŠÍK, 2000).

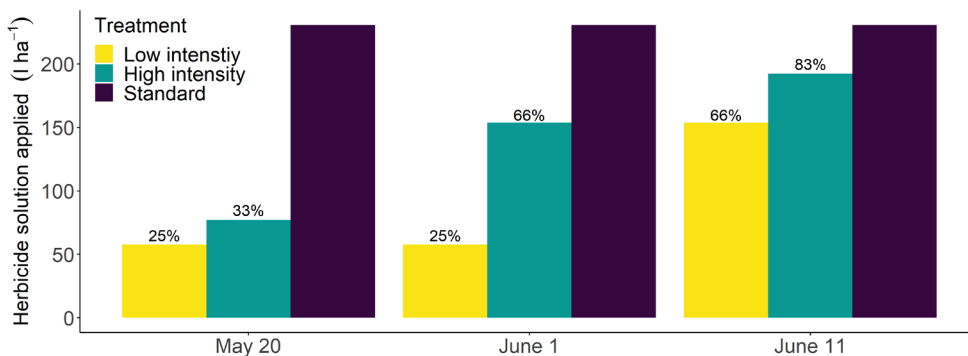


Figure 1 Amount of herbicide solution applied per treatment and application date. The reduction potential of the spot spraying treatments ‘High intensity’ and ‘Low intensity’ are indicated relative (%) to the standard treatment.

Abbildung 1 Menge der ausgebrachten Herbizidlösung pro Behandlung und Anwendungsdatum. Das Reduktionspotenzial der Spotspraying-Behandlungen ‘Hohe Intensität’ und ‘Niedrige Intensität’ ist relativ (%) zur Standardbehandlung angegeben.

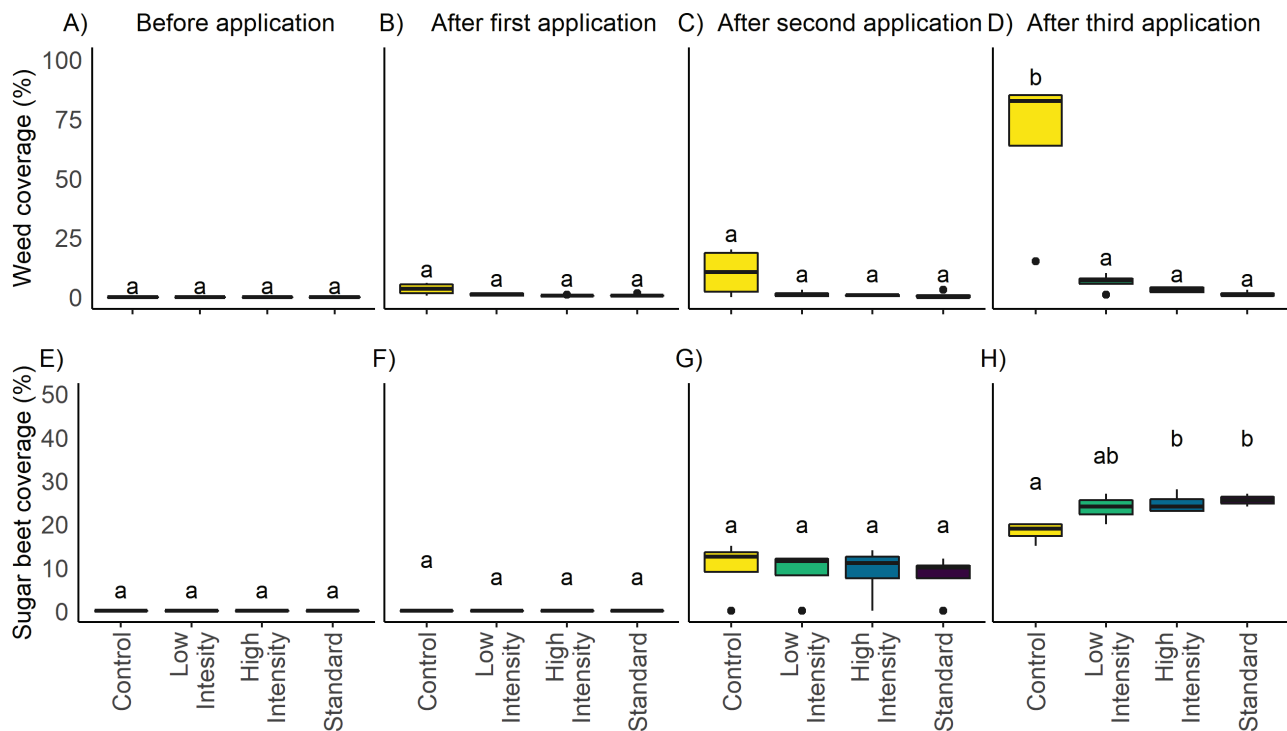


Figure 2 Sugar beet and weed coverage rates in untreated control plots, plots with low intensity spot spraying treatments, high intensity spot spraying treatments and plots with standard site-specific treatment before application, after the first, the second and the third post-emergence application.

Abbildung 2 Zuckerrüben- und Unkrautdeckungsgrade in den unbehandelten Kontrollparzellen, Parzellen mit Spotsprayingbehandlungen mit niedriger Intensität, Spotsprayingbehandlungen mit hoher Intensität und Parzellen mit standorttypischer Standardbehandlung, vor Applikation, nach der ersten, zweiten und dritten Nachauflaufapplikation.

H. rufipes however also feeds on seeds of sugar beet and other crops (BRYGADYRENKO et al., 2014). Among the most common species, *B. lampros* was more abundant in the treated plots, while the overall abundance of ground beetles as well as soil arthropods was higher in the untreated control plots. However the abundance was comparable among the different treated plots (Fig. 3A and 3B), which is in accordance with the literature (SASKA et al., 2014). Yet, with the exception of a rarely found beetle species *Trechus quadristriatus* (Schränk) and other Coleoptera spp. none of these differences were significant. The results should be interpreted with caution, as the arthropod community was only monitored once after herbicide application. Therefore, they only represent a short period of time during the year. Nevertheless, the observed effect of herbicide applications likely due to changes in vegetation cover rather than direct effects (NORRIS & KOGAN, 2005). These is also indicated by the stronger positive correlation between ground beetle abundance and weed density ($R^2 = 0.64$, Fig. 4A) in comparison to ground beetle abundance and herbicide use ($R^2 = 0.30$, Fig. 4B).

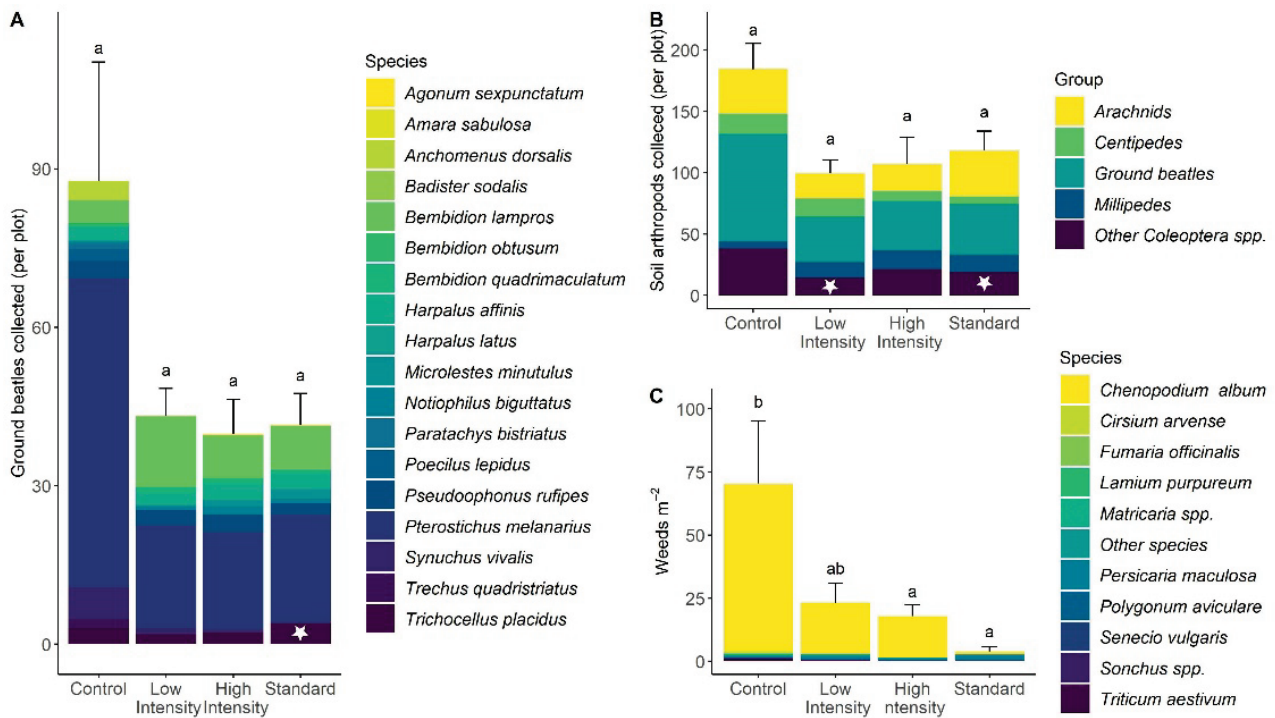


Figure 3 Ground beetles per plot on species level A), soil arthropods (> 2mm) per plot B), and weed species per m² C). Data shown here were collected after the last herbicide treatment. White asterisks indicate statistically significant differences between the treatments 'Standard' and 'High Intensity' ($p < 0.05$) for *Trichocellus placidus* or between the number of other *Coleoptera* spp. in comparison to the control plot ($p < 0.05$).

Abbildung 3 Laufkäfer pro Parzelle auf Artniveau A), Bodenarthropoden (> 2 mm) pro Parzelle B) und Unkrautarten pro m² C). Die hier gezeigten Daten wurden nach der letzten Herbizidbehandlung erhoben. Weiße Asterisken zeigen statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen 'Standard' und 'Hohe Intensität' ($p < 0,05$) für *Trichocellus placidus* oder zwischen der Anzahl anderer *Coleoptera* spp. im Vergleich zur Kontrollfläche an ($p < 0,05$).

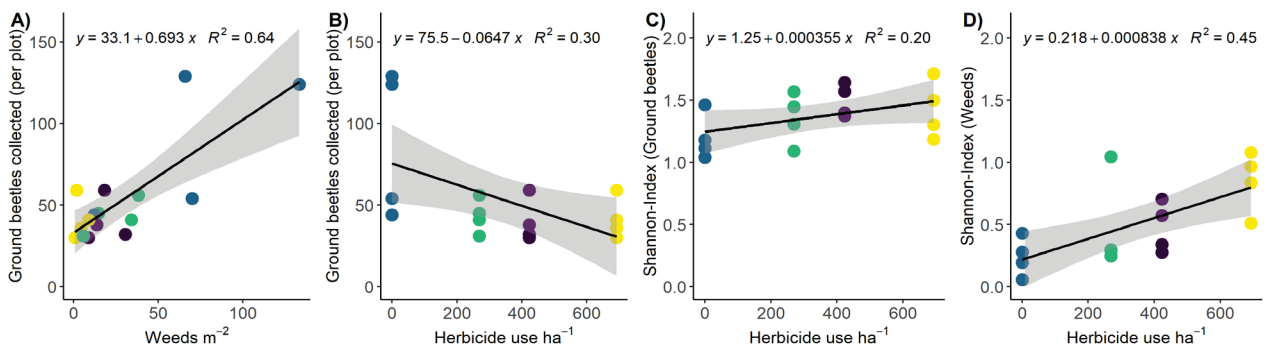


Figure 4 Number of ground beetles collected in control plots (●), low-intensity spot spraying plots (●), high intensity spot spraying plots (●) and standard plots (●) after the last herbicide treatment as a function of weed density A) and herbicide use B) or Shannon-index calculated for ground beetles C) or weeds D) as a function of herbicide use.

Abbildung 4 Anzahl der Laufkäfer, die nach der letzten Herbizidbehandlung in Kontrollparzellen (●), Parzellen mit niedriger Spotspraying-Intensität (●), Parzellen mit hoher Spotspraying-Intensität (●) und Standardparzellen (●) gesammelt wurden in Abhängigkeit von Unkrautdichte A) und Herbizideinsatz B), sowie Shannon-Index für Laufkäfer C) und Unkräuter D) in Abhängigkeit vom Herbizideinsatz.

In this one-year trial, it was possible to reduce the amount of herbicide used considerably. Therefore, the tested technology offers the potential to save herbicide costs, avoid herbicide entries into the environment and groundwater, although risk indices for sugar beet cultivation have been classified mainly into low or very low risk categories (NAUSE et al., 2021). However, in the present trial, the density of common

lambquarters in the plots treated with the spot spraying method exceeded the damage threshold of ten individuals per m² while biodiversity parameters did not improve in comparison to the standard broadcast treatment. However, the repetition of the experiment will allow more reliable conclusion. Therefore, the tested spraying system needs to be further improved to balance the risks and benefits for a large proportion of potential users.

In principle, this consists of bringing the development status of spot spraying from Technology Readiness Level (TRL) 8 (proof of functionality in the field of application) to level 9, which stands for proof of successful application. This includes improving weed detection, especially at the cotyledon stage. One way of achieving these goals is the implementation of advanced sensors and smaller boom sections. However, these improvements often involve several components of the system and often have trade-offs with impact. In addition, there is the need for reliable predictions of the critical period as well as the economic and ecological thresholds of the weeds present. For a successful implementation in agricultural practice, also an adaptation of the herbicide recommendations, e.g. through extension services, should be aimed for. Based on the present trial results, a traditional broadcast application of soil active herbicides in post-emergence at the early cotyledon stage in combination with further spot spraying treatments could achieve a satisfactory herbicide effect while still reducing the amount of herbicide sprayed. Ultimately, new herbicide registrations and herbicide combinations would also be conceivable. Presumably, despite advancing technology, there will probably remain a greater risk of lower yields.

References

- BARBER, H.S., 1931: Traps for cave-inhabiting insects. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society* **46**, 259–266.
- BRYGADYRENKO, V.V., D.Y. RESHETNIAK, 2014: Trophic preferences of *Harpalus rufipes* (Coleoptera, Carabidae) with regard to seeds of agricultural crops in conditions of laboratory experiment. *Baltic Journal of Coleopterology* **14**, 179–190.
- ESPOSITO, M., M. CRIMALDI, V. CIRILLO, F. SARGHINI, A. MAGGIO, 2021: Drone and sensor technology for sustainable weed management: a review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* **8**, 1–11.
- FOURNIER, E., M. LOREAU, 1999: Effects of newly planted hedges on ground-beetle diversity (Coleoptera, Carabidae) in an agricultural landscape. *Ecography* **22**, 87–97.
- GUMMERT, A., E. LADEWIG, P. LUKASHYK, B. MÄRLÄNDER, 2011: Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau. Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen.
- HONĚK, A., V. JAROŠÍK, 2000: The role of crop density, seed and aphid presence in diversification of field communities of Carabidae (Coleoptera). *European Journal of Entomology* **97**, 517–525.
- JULIUS KÜHN-INSTITUT, 2020: Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendungen. Access: 7. September 2020, URL: <https://papa.julius-kuehn.de/index.php?menuid=43>.
- KÄMPFER, C., H. NORDMEYER, 2021: Teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung als ein Baustein von Smart Farming. *Journal für Kulturpflanzen* **73**, 284–291.
- KOSEWSKA, A., K. NIJAK, M. NIETUPSKI, R. KĘDZIOR, E. LUDWICZAK, 2020: Effect of plant protection on assemblages of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in sugar beet crops in four-year rotation. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **66**, 49–68.
- LAUFER, D., E. LADEWIG, 2020: Weed control in sugar beet without the active substances desmedipham and phenmedipham. *Julius-Kühn-Archiv* **464**, 142–148.
- NAUSE, N., J. STRASSEMAYER, A.-K. MAHLEIN, N. STOCKFISCH, 2021: Pesticide use in sugar beet cultivation in Germany and assessment of the associated environmental risks using the risk indicator SYNOPS-GIS. *Pest management science*.
- NEURURER, H., 1976: Geringe Verunkrautung schadet nicht. *Zuckerrübe* **25**, 14–15.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- NORRIS, R.F., M. KOGAN, 2005: Ecology of interactions between weeds and arthropods. *Annual Review of Entomology* **50**, 479–503.
- PETERSEN, J., K. HURLE, 1998: Einführung von herbizidresistenten Sorten: Konsequenzen für die Unkrautbekämpfung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft* **16**, 365–372.
- POHL, J.-P., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, D. VON HÖRSTEN, 2018: Teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung-eine Innovation zur präzisen Applikation im Pflanzenbau. *Gesunde Pflanzen* **28**, 373–378.
- R CORE TEAM, 2021: R: A language and environment for statistical computing (R Version 4.0. 3, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).
- SA, I., M. POPOVIĆ, R. KHANNA, Z. CHEN, P. LOTTES, F. LIEBISCH, J. NIETO, C. STACHNISS, A. WALTER, R. SIEGWART, 2018: WeedMap: A large-scale semantic weed mapping framework using aerial multispectral imaging and deep neural network for precision farming. *Remote Sensing* **10**, 1423.

Session 2: In focus - arable perennial weeds

Sektion 2: Im Focus - Mehrjährige Ackerunkräuter

The challenges of arable creeping perennial weeds in research, management and perception addressed in the joint project AC/DC-weeds

Herausforderungen perennierender Ackerunkräuter für Forschung, Management und Wahrnehmung im Gemeinschaftsprojekt AC/DC-weeds

Bärbel Gerowitt^{1*}, Sabine Andert¹, Lars Olav Brandsæter², Jesper Rasmussen³, Marie-Helene Robin⁴, Jukka Salonen⁵, Kirsten S. Tørresen⁶, Han Zhang¹

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Rostock

*baerbel.gerowitt@uni-rostock.de

¹Crop Health, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, University of Rostock, Satower Straße 48, D-18051 Rostock, Germany

²Department of Plant Sciences, Faculty of Biosciences, Norwegian University of Life Sciences, Ås, Norway

³Department of Plant and Environmental Sciences, University of Copenhagen, Taastrup, Denmark

⁴INRA INPT-ENSAT-EI-Purpan, University of Toulouse, Castanet-Tolosan, France

⁵Natural Resources Institute Finland (Luke), Plant Health, Jokioinen, Finland

⁶Division of Biotechnology and Plant Health, Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO), Ås, Norway

*Corresponding author, baerbel.gerowitt@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/20220117-073359

Abstract

Creeping perennial weeds are widely distributed on arable fields. The common control practices are intensive inversion tillage and chemical herbicides. However, these methods are under pressure as they 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. Focusing on three important perennial species in central and northern Europe (*Sonchus arvensis*, *Cirsium arvense* and *Elymus repens*), the project addresses these species using and combining different methods. In research, the existing information is checked for the contribution to knowledge. New experimental approaches focus research gaps on biology as well as tools and technologies to enable an agro-ecological management. Paying attention to the needs of farming should raise the probability for a practised agro-ecological management of creeping perennials.

Keywords: Agro-ecological management, *Cirsium arvense*, *Elymus repens*, *Sonchus arvensis*

Zusammenfassung

Ausdauernde Wurzelunkräuter sind auf landwirtschaftlichen Flächen weit verbreitet. Die üblichen Bekämpfungsmaßnahmen sind die wendende Bodenbearbeitung und der Herbizideinsatz. Diese herkömmlichen Methoden haben allerdings negative Effekte auf Nicht-Zielorganismen und Umwelt.

Das Ziel des als SusCrop-ERA-NET finanzierten EU-Projektes 'AC/DC-weeds' ist die Einbindung agroökologischer Managementstrategien in den Ackerbau. Im Projekt werden die drei in Mittel- und Nordeuropa wichtigen Arten *Sonchus arvensis*, *Cirsium arvense* und *Elymus repens* untersucht. Dabei werden verschiedene Methoden genutzt und kombiniert. Vorhandene Informationen werden geprüft, wie sie zu Wissen beitragen können. Neue experimentelle Ansätze sollen bestehende Forschungslücken in der

Biologie der Arten schließen sowie neue Werkzeuge und Technologien prüfen, um agroökologisches Management zu ermöglichen. Die Anforderungen der Landwirtschaft einzubeziehen, erhöht dabei die Wahrscheinlichkeit praktikable agroökologische Managementstrategien gegen Wurzelunkräuter zu finden.

Stichwörter: Agrarökologisches Management, *Cirsium arvense*, *Elymus repens*, *Sonchus arvensis*, Wurzelunkräuter

Introduction

Creeping perennial weeds have proliferation organs allowing them survival and vegetative spread. Geophytic perennials creep below ground. Creeping organs produce buds (OTT et al., 2021). These abilities help the species to profit in many farming systems. Conventional as well as organic farming suffers from their infestations. ZHANG et al. (2020) introduced a project focusing three perennial species common in arable farming of Central – Northern Europe: *Cirsium arvense*, *Elymus repens* and *Sonchus arvensis*. Being currently widely distributed on arable fields, model studies of TØRRESEN et al. (2020) indicated that all three species will in one way or another benefit from future climate change conditions.

Although currently often propagated, a generally agreed definition of agroecological management is lacking, it is definitely more than using sustainable tools and technologies (MACLAREN et al., 2020). Therefore, the aim of AC/DC-weeds (“AC/DC-weeds- Applying and Combining Disturbance and Competition for an agro-ecological management of creeping perennial weeds”) is to support a sustainable weed management rooting deeply in agro-ecological understanding and integrating new tools and technologies herein. In an agro-ecological management of creeping perennials the strong dependencies on chemical (glyphosate) and mechanical (ploughing) methods should be reduced. Replacing those by agro-ecological management requires to make use of existing knowledge on biology and ecology, close research gaps, investigate new possibilities to suppress perennials, and support the knowledge and understanding in farming practice for qualified management decisions.

AC/DC-weeds picks-up these requirements in different research approaches. ZHANG et al. (2020) gave the project structure linking seven European partners in different working packages. The proceeded project addressed these challenges using and combining different methods. In research, the existing information needs to be checked for the contribution to knowledge. New experimental approaches focus research gaps on biology as well as tools and technologies to enable an agro-ecological management. Paying attention to the needs of farming should raise the probability for a practised agro-ecological management of creeping perennials.

Tiding-up knowledge

The term agro-ecological management inherently states the importance of ecological knowledge for the management of creeping perennials in arable farming. It became clear that there is no absolute shortage in biological and ecological knowledge about two of the three species when preparing the project. However, though not quantitatively short in citable sources (except for *S. arvensis*), this knowledge seems scattered and a fundamental understanding of the success of creeping perennial weed species was missing.

Therefore, all project partners contributed to a database with relevant articles on the three species. The number of papers collected in this databank so far is 203. These papers were published from 1932 to 2021. The top journals are Weed Science and Weed Research. Three quarters of the papers are comprehensive ones linking management to ecology/biology. Pure biology/ecology papers are only about 10%. About half of the papers focused on investigating and understanding disturbance. Separated for species, *C. arvense* is by far the most investigated one, much more than the second popular species, *E. repens*. In comparison, *S. arvensis* received far less attention in research. In terms of experimental types, field experiments are about double the amount as semi-fields and labs together. Modelling studies are scarce. Two third of the sources

do not concentrate on a main crop. If given, the main crops to investigate creeping perennials are cereals. The type of cropping system is only mentioned in half of the collected papers. Conventional systems are about three times more mentioned than organic systems.

Both, *C. arvense* and *E. repens* were recently each subject of an extended review (FAVRELIÈRE et al., 2020; RINGSELLE et al., 2020). Researchers in AC/DC-weeds therefore concentrate on pooling the existing information, identifying research gaps and deriving practical consequences from aggregated knowledge.

The collaborative project benefits from sharing the work for this joint collection. It performs a fundament to avoid repetitions in experimental approaches. Moreover, identifying and excerpting the robust part of the knowledge must pool expertises to avoid biased perspectives.

New experimental approaches

Perennials challenge field experiments like the farming practice through their patchy occurrence, mainly resulting from clonal growth of plants. Aerial mapping will assist both. Advances in mapping creeping perennials are most successful for *C. arvense* in cereals (RASMUSSEN et al., 2019, 2021) because *C. arvense* is occurring in large and dense patches and leaf shape differs from cereal leave shapes. Accuracy in detection has been demonstrated to be about 95% in commercial fields (RASMUSSEN et al., 2021). It is much more challenging to detect *Elymus* in cereals due to similarities in leaf shape, and accuracy will typically be lower than 80%. However, from a technical point of view, it is possible to achieve much higher accuracy but it requires low flight altitudes, and it prolongs flight times. For example, it takes about 40 minutes per hectare to capture images from 10 m flight altitude and less than 1 minute per hectare from 80 m.

A mechanical tool linked to the wish to reduce or even abstain from ploughing and intensive harrowing operations is the Kverneland horizontal rootcutter. An on-going series of supra national field experiments investigates the effect in cereal based crop rotations. WEIGEL & GEROWITT (2022) introduce the machine. The authors established an innovative experimental approach to overcome the problem of the patchy occurrence. By applying the technique of aerial supervision by drone-photographs and visual ground counts, insight in both, patch quality and quantity offers an improved assessment of the efficacy.

A chemical method to control perennial weeds offsprings from the ban or restriction of glyphosate expected or already implemented in EU-member states. The bio-based herbicidal ingredient pelargonic acid (PA) is non-selective like glyphosate, but far less efficient. However, within a framework of “many little hammers” it could be one option. Moreover, internationally, the ingredient would qualify for uses in organic farming. As broadleaved perennials are more susceptible to PA (ANDERT & GEROWITT, 2020; TRAVLOS et al., 2020). GANJI et al. (2022) clarifies the conditions for efficacy of controlling *C. arvense*. PA affects monocots like *E. repens* much less. Therefore integrating chemical control with PA in a systematic control approach is investigated (TØRRESEN et al., 2022).

Obviously, *S. arvensis* is much less investigated than the other two species. Nevertheless, the reaction of *S. arvensis* on environmental conditions seems to be more complex (TØRRESEN et al., 2020). Therefore, an on-going series of semi-field and field experiments concentrates on the ecology of this species and on timing of various mechanical disturbances on this species.

The project benefits from collaborating in experimental work. Exchanging technologies in perennials mappings enabled innovative field experimental approaches. Aerial monitoring allows better handling of creeping perennials in field experiments. On the other hand, the monitoring technologies profit from ground assessments in the experiments.

Perennials in farming

AC/DC-weeds works on four areas to support farming practice with scientific information. These are: (1) realizing general problems with creeping perennials, (2) specifically knowing where and how much, (3)

deciding how to manage them and (4) improving decisions through fundamental knowledge how the species grow and reproduce.

(1) An on-farm survey in eastern Germany indicates that conventional, conservational or organic arable farms suffer from perennial weeds, but with considerable differences between the individual farms (HAMACHER et al., 2022). While *C. arvense* is the major perennial species for conventional farmer participants, conservational and organic farmers are highly concerned about *E. repens* infestations on their fields. In Denmark, conventional farmers consider perennial weeds problematic and they request alternatives to broad applications of glyphosate (LATI et al., 2021).

(2) All steps from image acquisition with consumer-grade drones to spot spraying against *C. arvense* in cereals have been successfully demonstrated and documented (RASMUSSEN et al., 2019, 2020; LATI et al., 2021). Herbicide savings in conventional fields in the range of 70-90% are common.

(3) Practical management decisions in agro-ecosystem are supported with existing scientific and expert knowledge with the help of qualitative modelling. LACROIX et al. (2021) described the approach in details for *C. arvense*. The model provides an indicator of the risk of *C. arvense* problems according to cropping practices and the considered production situation. ROBIN et al. (2022) summarize the model structure and show practical applications.

As there seems to be no silver bullet to keep creeping perennials under control, their agro-ecological management require individual adaptations in each farming system. Understanding the peculiarities of the species, especially with respect to their subterranean growth and reproduction, will therefore best prepare farmers to develop own concepts adapted to their agro-ecosystem. To support this, the project partners extract their knowledge to feed a visualisation of important processes and stages in the life cycle of creeping perennial weeds (ANDERT et al., 2022).

Outlook

Joint glasshouse, field and semi-field experiments are currently analysed. Tied-up knowledge will further feed applied tools for advice management. Experimental extensions focus on seizing the effects the technologies on energy consumption and farm economic metrics.

Acknowledgements

The project “AC/DC-weeds- Applying and Combining Disturbance and Competition for an agro-ecological management of creeping perennial weeds” is funded by ERA-Net Cofund SusCrop/EU Horizon 2020, Grant no. 771134. National funders are: DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), GE 558/3-1; the Research Council of Norway (project no. 299695); the Finnish MAKERA research grant from the Ministry of Agriculture and Forestry, the French National Research Agency (Projet ANR-18-SUSC-0006 ACDC-weeds), GUDP, Landbrugsstyrelsen, Ministry of Food, Agriculture and Fisheries of Denmark, J.nr. 34009-18-1484).

Literatur

ANDERT, S., M.M. WEIGEL, E. GANJI, B. GEROWITT, 2022: Visualizing growth of *Cirsium arvense* (L.) scop. for farmers. Julius-Kühn-Archiv **468**. DOI: 10.5073/20220117-075544.

ANDERT, S., B. GEROWITT, 2020: Controlling arable weeds with natural substances as bio-based herbicides. Julius-Kühn-Archiv **464**. DOI: 10.5073/jka.2020.464.000.

FAVRELIÈRE, E., A. RONCEUX, J. PERNEL, J.-M. MEYNARD, 2020: Nonchemical control of a perennial weed, *Cirsium arvense*, in arable cropping systems. A review. Agronomy for Sustainable Development **40** (4) [Online]. DOI: 10.1007/s13593-020-00635-2.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- GANJI, E., S. ANDERT, B. GEROWITT, 2022: The herbicidal potential of Pelargonic Acid to control *Cirsium arvense* (L.) Scop. in relation to the timing of application and the application volume. Julius-Kühn-Archiv **468**. DOI: 10.5073/20220117-074121.
- HAMACHER, M., S. ANDERT, H. ZHANG, B. GEROWITT, 2022: Praxiserfahrungen zu Wurzelunkräutern im Ackerbau. Julius-Kühn-Archiv **468**. DOI: 10.5073/20220117-073603.
- LACROIX, O., J. AUBERTOT, M. BOHANEK, S. CORDEAU, D.C. CORRALES, M. ROBIN, 2021: IPSIM-Cirsium, a Qualitative Expert-Based Model to Predict Infestations of *Cirsium arvense*. Frontiers in Agronomy. DOI: 10.3389/fagro.2021.655383.
- LATI, R.N., J. RASMUSSEN, D. ANDUJAR et al., 2021: Site-specific weed management—constraints and opportunities for the weed research community: insights from a workshop. Weed Research **61**, 147–153. DOI: doi.org/10.1111/wre.12469.
- MACLAREN, C., J. STORKEY, A. MENEGAT, H. METCALFE, K. DEHNEN-SCHMUTZ, 2020: An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment. A review. Agronomy for Sustainable Development **40**:24. DOI: 10.1007/s13593-020-00631-6.
- OTT, J. P., J. KLIMEŠOVÁ, D.C. HARTNETT, 2019: The ecology and significance of below-ground bud banks in plants. Annals of botany **123** (7), 1099–1118.
- RASMUSSEN, J., S. AZIM, J. NIELSEN, 2021: Pre-harvest weed mapping of *Cirsium arvense* L. based on free satellite imagery – The importance of weed aggregation and image resolution. European Journal of Agronomy **130**, 126373.
- RASMUSSEN, J., S. AZIM, J. NIELSEN, B.F. MIKKELSEN, R. HØRFARTER, S. CHRISTENSEN, 2020: A new method to estimate the spatial correlation between planned and actual patch spraying of herbicides. Precision Agriculture **21**, 713–728.
- RASMUSSEN, J., J. NIELSEN, J.C. STREIBIG, J.E. JENSEN, K.S. PEDERSEN, S.I. OLSEN, 2019: Preharvest weed mapping of *Cirsium arvense* in wheat and barley with off the shelf UAVs. Precision Agriculture **20**, 983–999. DOI: 10.1007/s11119-018-09625-7.
- ROBIN, M.-H., O. LACROIX, J.-N. AUBERTOT C.M. BOHANEK, S. CORDEAU, 2022: IPSIM-Cirsium, a qualitative expert-based model to predict infestations of *Cirsium arvense*. Julius-Kühn-Archiv **468**. DOI: 10.5073/20220117-074915.
- RINGSSELLE, B., B. de CAUWER, J. SALONEN, J. SOUKUP, 2020: A Review of Non-Chemical Management of Couch Grass (*Elymus repens*). Agronomy **10** (8), 1178. DOI: 10.3390/agronomy10081178.
- TØRRESEN, K.S., H. FYKSE, T. RAFOSS, B. GEROWITT, 2020: Autumn growth of three perennial weeds at high latitude benefits from climate change. Global Change Biology **26**, 2561–2572.
- TØRRESEN, K.S., B. RINGSSELLE, L.O. BRANDSÆTER, J. SALONEN, 2022: Autumn mowing and pelargonic acid can suppress *Elymus repens* abundance especially when combined with increased crop competition. Julius-Kühn-Archiv **468**. DOI: 10.5073/20220117-075252.
- TRAVLOS, I., E. RAPTI, I. GAZOULIS, P. KANATAS, A. TATARIDAS, I. KAKABOUKI, P. PAPASTYLIANOU, 2020: The Herbicidal Potential of Different Pelargonic Acid Products and Essential Oils against Several Important Weed Species. Agronomy **10** (11), 1687. DOI: 10.3390/agronomy10111687.
- WEIGEL, M.W., B. GEROWITT, 2022: Mechanical disturbance of *Cirsium arvense* - Results from a multi-year field study. Julius-Kühn-Archiv **468**. DOI: 10.5073/20220117-073804.
- ZHANG, H., S. ANDERT, L.O. BRANDSÆTER, J. RASMUSSEN, M.-H. ROBIN, J. SALONEN, K.S. TØRRESEN, M. VALANTIN-MORISON, B. GEROWITT, 2020: Future management of arable perennials - an introduction to the project AC/DC-weeds. Julius-Kühn-Archiv **464**, 280 – 285.

Praxiserfahrungen zu Wurzelunkräutern im Ackerbau

Farmers' perspectives of perennial weeds in arable farming

Merle Hamacher*, Sabine Andert, Han Zhang, Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur für Phytomedizin, Satower Straße 48, 18051 Rostock

*merle.hamacher@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/20220117-073603

Zusammenfassung

Mehrfährige Wurzelunkräuter sind im Ackerbau von großer Bedeutung. Der Beitrag stellt Erfahrungen landwirtschaftlicher Praxisbetriebe zu Vorkommen und Managementmaßnahmen von Wurzelunkräutern in der Praxis vor. Die Ergebnisse stammen aus einer im Winter 2020/21 durchgeführten und auf Fragebögen basierenden Erhebung. Konventionell (51 %), konservierend (32 %) und ökologisch wirtschaftende Betriebe (17 %) haben an der Umfrage teilgenommen.

Die Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) tritt als bedeutendste Art im Praxisanbau auf. Quecke (*Elymus repens*), Ackerwinde (*Convolvulus arvensis*) und Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*) kommen bei über 70 % der teilnehmenden Betriebe vor.

Die reduzierte Ertragsmenge und -qualität, die teure und zeitaufwändige Kontrolle, die Ausbreitung des unterirdischen Wurzelsystems im Boden und das beeinträchtigende Erscheinungsbild der Flächen werden als negative Aspekte des Auftretens der Wurzelunkräuter genannt. Insgesamt schätzen die Praxisbetriebe die Kontrolle mehrjähriger Wurzelunkräuter zukünftig als problematisch ein.

Der Einsatz der Fruchtfolge als Kontrollmaßnahme mehrjähriger Wurzelunkräuter erscheint aus Sicht aller teilnehmenden Betriebe wirksam. Ökologische Betriebe schätzen die mechanische Bekämpfung als effizientes Werkzeug zur Kontrolle der Wurzelunkräuter. Die chemische Bekämpfung wird hingegen unter konservierend und konventionell wirtschaftenden Betrieben als wirksamste Managementmethode genutzt.

Nach dem Auslaufen der Wirkstoffgenehmigung für Glyphosat Ende 2022 wird sich das Unkrautartenspektrum konservierend und konventionell wirtschaftender Betriebe verändern. In erosionsgefährdeten Gebieten sind ökologisch wirtschaftende Betriebe aufgefordert die wendende Bodenbearbeitung zu reduzieren. Die Kombination aus mechanischer Störung und Konkurrenz kann zur effizienten Kontrolle der Wurzelunkräuter aller Betriebsformen beitragen.

Stichwörter: Anbau- und Managementmaßnahmen, Online-Umfrage, perennierende Unkräuter

Abstract

Creeping perennial weeds strongly influence arable production. This research aims to demonstrate farmers' perspectives on the occurrence and management measures of perennial weeds. An online farmer survey was conducted in winter 2020/21. Fifty-one percent of participants managed conventional farms, while another smaller share (32%) managed conservation and organic farms (17%).

The farmer participants considered Canada thistle (*Cirsium arvense*) as the most important perennial weed. More than 70% of the farmer participants observed field infestations of Couchgrass (*Elymus repens*), field bindweed (*Convolvulus arvensis*) and field horsetail (*Equisetum arvense*).

Regarding field infestation of perennial weeds, farmers are concerned about decreasing yield quantity and quality, expensive and time-consuming control, comprehensive spread of the below-ground root system and a negative image of the fields. In summary, farmers are concerned about the future control practices of creeping perennial weeds.

Generally, the farmer participants greatly appreciate crop rotations as an effective tool to control perennial weeds. Organic farmers considered mechanical control as another tool with high efficacy to control the weeds, while conservation and conventional farmers prefer chemical control as most effective measurement.

Due to the ban of the herbicide active ingredient glyphosate by the end of 2022, weed control strategies of conservation and conventional farms may change. On soils at risk of erosion, organic farmers are requested to reduce plough-tillage. For all farm types, combining disturbance with competition has the potential to keep perennial weed populations manageable.

Keywords: creeping perennial weeds, cultivation and management measures, online survey

Einleitung

Wurzelunkräuter stellen im Ackerbau ein großes Problem dar. Ertrag und Qualität der Ernte können durch das Vorkommen von mehrjährigen Wurzelunkräutern im Ackerbau beeinträchtigt werden (TURNER et al., 2007; MELANDER et al., 2012). Mehrjährige Wurzelunkräuter überdauern mit unterirdischen Speicherorganen. Diese unterirdischen klonalen Systeme fördern das Wachstum und die räumliche Ausbreitung auf Ackerflächen durch vegetative Vermehrung (TILEY, 2010). Aus diesem Grund nimmt der Besatz an Wurzelunkräutern oftmals trotz intensiver Bodenbearbeitung weiter zu (NADEAU und VANDEN BORN, 1989).

Die Maßnahmen zur Kontrolle von Wurzelunkräutern unterscheiden sich zwischen verschiedenen Betriebstypen. Ackerbausysteme lassen sich nach der Art der Bodenbearbeitung und der Verwendung von chemisch-synthetischen Produktionsmitteln unterteilen in ökologische, konservierende und konventionelle Systeme. Die konservierend wirtschaftenden Betriebe nutzen die nicht wendende Bodenbearbeitung, während konventionelle Betriebe auch den Plug auf ihren Feldern einsetzen. Im ökologischen Landbau ist die Nutzung von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln am stärksten eingeschränkt.

Verbreitete Praktiken zur Kontrolle der Wurzelunkräuter im konservierenden (Mulch-, Direktsaat) und konventionellen Anbau sind der Einsatz chemisch-synthetischer Herbizide (HARKER und O'DONOVAN, 2013). Im ökologischen Anbau ist die mechanische Kontrolle der Wurzelunkräuter mittels wendender Bodenbearbeitung weitverbreitet (MELANDER et al., 2012). Die wendende Bodenbearbeitung und der Einsatz chemisch-synthetischer Herbizide sollen jedoch zukünftig im Ackerbau reduziert werden (Ackerbaustrategie 2035 BMEL, 2021; Farm to Fork strategy EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2020).

Im vorliegenden Beitrag werden Ergebnisse einer Befragung landwirtschaftlicher Praxisbetriebe zum Vorkommen und Managementmaßnahmen von Wurzelunkräutern vorgestellt. Untersuchungsregion sind die ostdeutschen Bundesländer Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Dieser Fokus wurde gewählt, da die mittleren Betriebsgrößen zwischen Ost- und Westdeutschland in der Regel stark variieren (BRODERSEN und THIELE, 2000). In Erhebungen zur Pflanzenschutzintensität ist bekannt, dass die Betriebsgröße viele Managementvariablen, insbesondere die Intensität der Bodenbearbeitung, beeinflusst (ANDERT et al., 2015; ANDERT et al., 2018). Dieser starke Effekt sollte hier klein gehalten werden. Es wird den Fragen nachgegangen, wie die Praxisbetriebe das Vorkommen von Wurzelunkräutern und deren Auswirkungen einschätzen. Zudem werden Aussagen der Betriebe zu den Wirkungen von Managementmaßnahmen zur Kontrolle von Wurzelunkräutern vorgestellt.

Material und Methoden

Die Daten aus der vorliegenden Studie stammen aus einer im Winter 2020/21 durchgeführten und auf Fragebögen basierenden Erhebung zu Wurzelunkräutern, welche als Online-Umfrage durchgeführt wurde. Die Online-Umfrage wurde mit dem Programm EvaSys (Electric Paper Evaluationssysteme GmbH) erstellt. Für eine breite Streuung des Fragebogens wurden verschiedene Wege genutzt. Der Zugangslink der

Umfrage wurde an regionale und überregionale landwirtschaftliche Fachzeitschriften und E-Mail-Verteiler von Landwirtschaftskammern, Pflanzenschutzdiensten, Betriebsberatungen und Bauernverbänden gesendet.

Der Fragebogen beinhaltete elf Frageeinheiten mit insgesamt 27 Fragen. Neben offenen und metrischen Frageformen wurden fachliche Einschätzungen der Befragten mithilfe einer Likert-Skalierung (stimme nicht zu, neutral, stimme zu) abgefragt. Für die vorliegenden Auswertungen wurden Fragen zu betrieblichen Kenndaten, der Bedeutung von Wurzelunkräutern und den betrieblichen Managementmaßnahmen zur Kontrolle mehrjähriger Wurzelunkräuter betrachtet. In der Auswertung wurde zwischen den drei Betriebsformen konventionell, konservierend und ökologisch unterschieden.

Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt haben 41 landwirtschaftliche Betriebe aus Sachsen-Anhalt (39 %), Sachsen (17 %), Thüringen (5 %), Brandenburg (7 %) und Mecklenburg-Vorpommern (32 %) an der Umfrage teilgenommen. Davon sind 17 % ökologisch, 32 % konservierend und 51 % konventionell wirtschaftende Betriebe. Der arithmetische Mittelwert der Größe der Betriebe beträgt 600 ha; trotz des Schwerpunktes in Ostdeutschland lag die Spanne allerdings zwischen 40-5000 ha. Die Verteilung der Stichprobe zeigt aber, dass 98% der Betriebe größer waren als die mittlere Betriebsgröße von 52ha in Westdeutschland (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2016). Als wichtigste Ackerkultur nannten die konventionellen und die konservierenden Betriebe Winterweizen. Die ökologisch wirtschaftenden Landwirte bauen ein breiteres Spektrum an Kulturen an. Hinzu kommen beispielweise Sonnenblumen und Dinkel.

Einschätzungen der Praxisbetriebe zur Bedeutung mehrjähriger Wurzelunkräuter

Abbildung 1 stellt die Einschätzungen der teilnehmenden Betriebe zum Vorkommen bedeutender mehrjähriger Wurzelunkräuter dar.

Die Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) tritt als bedeutendste Art auf. Quecke (*Elymus repens*), Ackerwinde (*Convolvulus arvensis*) und Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*) treten bei über 70 % der teilnehmenden Betriebe auf. Ähnliche Rangordnungen fanden TURNER et al. (2007) bei ihrer Befragung britischer Landwirtschaftsbetriebe. In dieser Studie wurden ebenfalls *C. arvense*, *E. repens* und *Rumex spp.* als hauptsächliche Problemunkräuter auf ihren Betrieben identifiziert (TURNER et al., 2007).

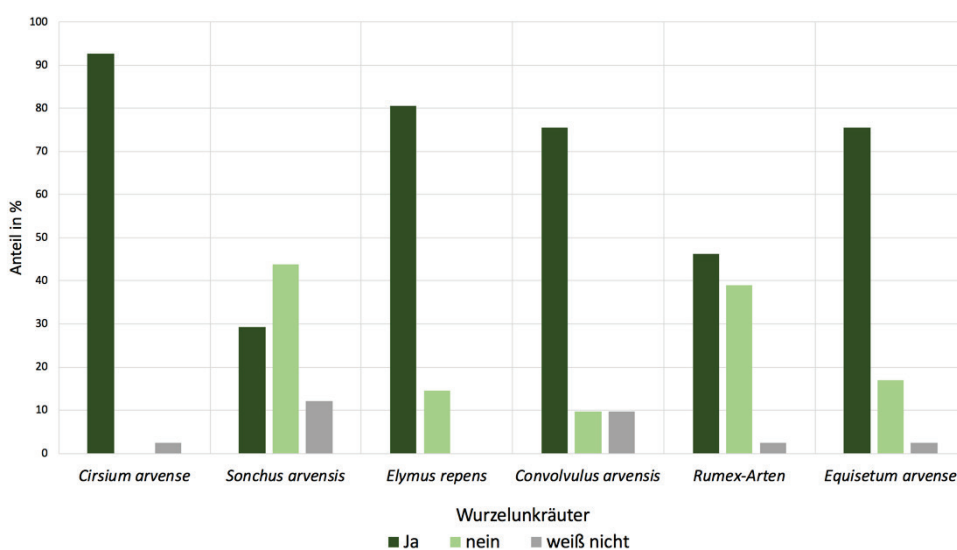


Abbildung 1 Einschätzungen der teilnehmenden Betriebe zum Vorkommen (%) mehrjähriger Wurzelunkräuter.

Figure 1 Farmers' perception of the occurrence (%) of creeping perennial weeds.

Erfahrungen zu den Wirkungen mehrjähriger Wurzelunkräuter

Abbildung 2 stellt die Erfahrungen zu negativen Auswirkungen mehrjähriger Wurzelunkräuter auf den teilnehmenden Betrieben dar. Es wurden elf Aussagen vorgestellt, zu denen die Landwirte von „stimme nicht zu“ bis „stimme zu“ antworten konnten. Die rote Markierung stellt jeweils den Mittelwert aller Antworten dar.

Die reduzierte Ertragsmenge und -qualität, die teure und zeitaufwändige Handhabung, die Ausbreitung des unterirdischen Wurzelsystems im Boden und das beeinträchtigte Erscheinungsbild der Flächen werden als negative Aspekte der Wurzelunkräuter genannt.

Insgesamt schätzt die Mehrheit der teilnehmenden Betriebe (60 %) die Kontrolle mehrjähriger Wurzelunkräuter zukünftig als problematisch ein.

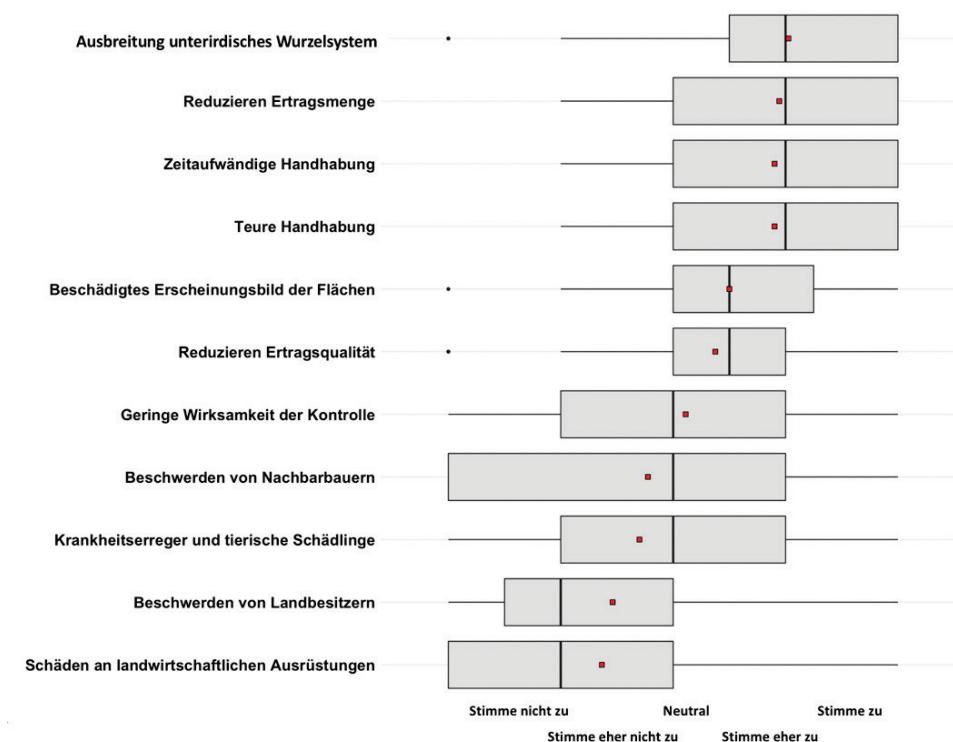


Abbildung 2 Einschätzungen der teilnehmenden Betriebe über negative Auswirkungen des Auftretens mehrjähriger Wurzelunkräuter. Likert-Skalierung (Stimme nicht zu, neutral, stimme zu). Die rote Markierung stellt den Mittelwert dar.

Figure 2 Farmers' perception of main reasons of negative effects of the occurrence of creeping perennial weeds. Likert scale (disagree, neutral, agree). The red mark represents the mean value.

Management mehrjähriger Wurzelunkräuter

Das Management mehrjähriger Wurzelunkräuter der befragten ökologisch, konservierend und konventionell wirtschaftenden Betriebe wird in Abbildung 3 dargestellt. Alle Betriebsformen erachten die Fruchtfolge als wirksame Methode, um mehrjährige Wurzelunkräuter zu regulieren. Für die ökologischen Betriebe sind zusätzlich insbesondere die mechanische Kontrolle in der Stoppelphase und das Pflügen sehr wirksam zur Kontrolle von Wurzelunkräutern. Jedoch wird auch die chemische Kontrolle als sehr effizient angesehen (40 %), ungeachtet der Tatsache, dass die ökologischen Betriebe diese nicht einsetzen dürfen. Die nicht-wendende Bodenbearbeitung wird von den drei Bewirtschaftungsformen ähnlich eingeschätzt und von der Hälfte aller Teilnehmer der Umfrage als wirksam eingestuft.

Die chemische Kontrolle wird bei den konservierend und konventionell wirtschaftenden Betrieben als wirksamste Managementmethode angesehen.

Die verbreiteten Praktiken zur Kontrolle mehrjähriger Wurzelunkräuter stehen jedoch in der aktuellen Diskussion. Nach dem Auslaufen der EU-Wirkstoffgenehmigung für Glyphosat Ende 2022 dürfte sich die Wurzelunkrautkontrolle konservierend und konventionell wirtschaftender Betriebe verändern. Der Einsatz des nicht-selektiven Herbizides wird vermutlich durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen in der Zwischenkulturzeit substituiert werden. Dieses kann jedoch nicht überall umgesetzt werden. In erosionsgefährdeten Gebieten sind selbst ökologische Betriebe aufgefordert die wendende Bodenbearbeitung zu reduzieren. Hier kann die Kombination aus Bodenbearbeitung und Beschattung durch den Anbau von Zwischenfrüchten in konservierenden, konventionellen und ökologischen Anbausystemen zur effizienten Kontrolle der Wurzelunkräuter beitragen (BRANDSÆTER et al., 2012).

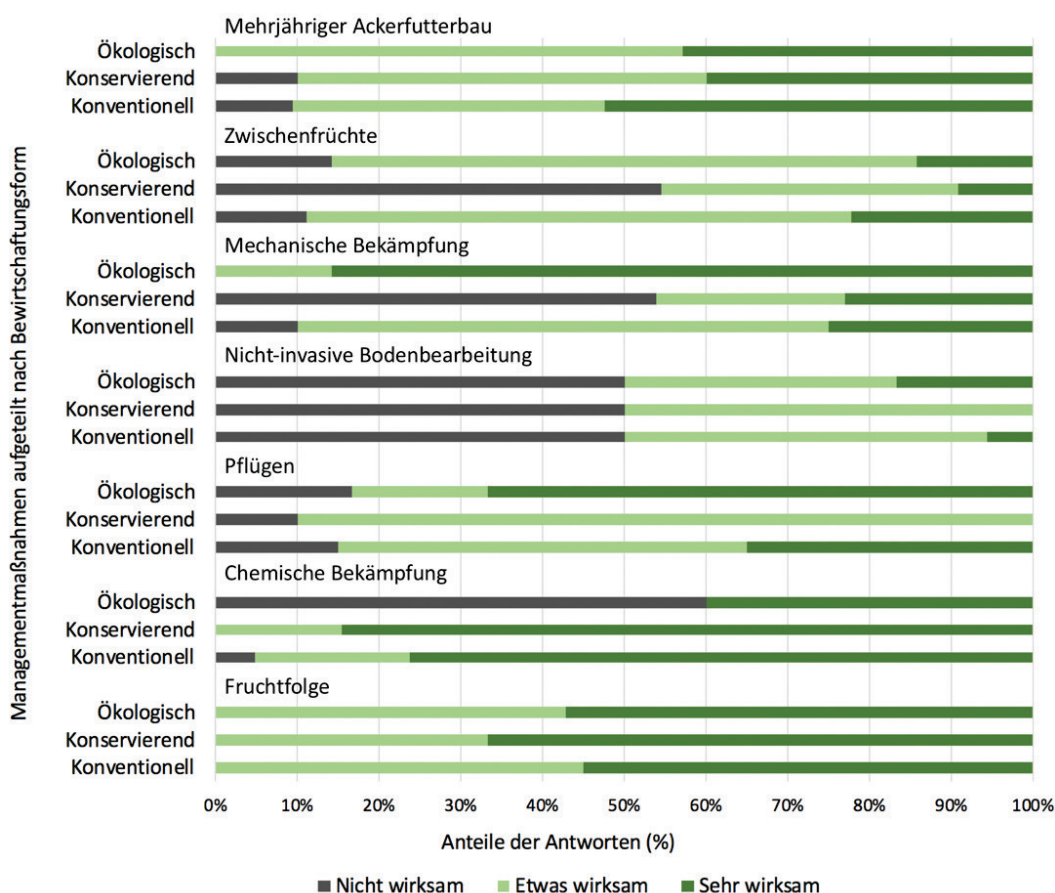


Abbildung 3 Einschätzungen der teilnehmenden Betriebe zu Wirkungen (%) des Managements zur Kontrolle mehrjähriger Wurzelunkräuter unterteilt nach der Bewirtschaftungsform der Betriebe.

Figure 3 Farmers' perception of management effects (%) on creeping perennial weed control.

Danksagung

Die Ergebnisse wurden innerhalb des Projektes "AC/DC-weeds - Applying and Combining Disturbance and Competition for an agro-ecological management of creeping perennial weeds" erarbeitet. AC/DC-weeds wird durch die europäische Initiative ERA-Net Cofund SusCrop/EU Horizon 2020 finanziert (FKZ 771134). Der deutsche Teil wird durch die DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) gefördert (GE 558/3-1).

Für die Unterstützung der Umfrage danken wir den beteiligten Fachzeitschriften, Landwirtschaftskammern, Pflanzenschutzdiensten, Betriebsberatungen und Bauernverbänden. Ausdrücklicher Dank gilt den landwirtschaftlichen Betrieben, die an der Umfrage teilgenommen haben.

Literatur

- ANDERT, S., J. BÜRGER, B. GEROWITT, 2015: On-farm pesticide use in four Northern German regions as influenced by farm and production conditions. *Crop Protection* **75**, 1-10.
- ANDERT, S., J. BÜRGER, 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**, 10.1016/j.eja.2018.04.009.
- BMEL, 2021: Ackerbaustrategie 2035. Zugriff: 20. Oktober 2021, URL: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ackerbaustrategie2035.html;jsessionid=B71B203DC62DAFC38875C88804135FE3.live921>.
- BRANDSÆTER, L.O., M. GOUL 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, DOI:10.1016/j.cropro.2011.09.022.
- BRODERSEN, C.M., H. THIELE, 2000: Effizienzunterschiede in der landwirtschaftlichen Produktion, eine nicht-parametrische Analyse für Deutschland, DOI:10.22004/AG.ECON.210054.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2020: Farm to Fork Strategy: For a fair, healthy and environmentally-friendly food system.
- FAVRELIÈRE, E., A. RONCEUX, J. PERNEL, J.-M. MEYNARD, 2020: Nonchemical control of a perennial weed, *Cirsium arvense*, in arable cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **40** (4), DOI:10.1007/s13593-020-00635-2.
- HARKER, K., J. O'DONOVAN, 2013: Recent Weed Control, Weed Management, and Integrated Weed Management. *Weed Technology*, **27**(1), 1-11. doi:10.1614/WT-D-12-00109.1
- MELANDER, B., N. HOLST, I.A. RASMUSSEN, P.K. HANSEN, 2012: Direct control of perennial weeds between crops – Implications for organic farming. *Crop Protection* **40**, 36–42, DOI:10.1016/j.cropro.2012.04.029.
- NADEAU, L.B., W.H. VANDEN BORN, 1989: The root system of Canada thistle. *Canadian Journal of Plant Science* **69**, DOI:10.4141/cjps89-142.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2016. Zugriff: 24. November 2021, URL: http://www.umweltdaten.landsh.de/agrar/bericht/ar_gra_anz.php?ar_gra_balken_laender.php?nseite=24&ngranr=0&njahr=2016&nbreite=650&Ref=GSB.
- TILEY, G.E.D., 2010: Biological Flora of the British Isles: *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Journal of Ecology* **98** (4), 938–983, DOI:10.1111/j.1365-2745.2010.01678.x.
- TURNER, R.J., G. DAVIES, H. MOORE, A.C. GRUNDY, A. MEAD, 2007: Organic weed management: A review of the current UK farmer perspective. *Crop Protection* **26** (3), 377–382, DOI:10.1016/j.cropro.2006.01.021.

Mechanical disturbance of *Cirsium arvense* - Results from a multi-year field study

*Mechanische Kontrolle von *Cirsium arvense* - Ergebnisse eines mehrjährigen Feldversuchs*

Marian Weigel*, Bärbel Gerowitt

University of Rostock, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Crop Health, Satower Str. 48, 18051, Rostock

*marian.weigel@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/20220117-073804

Abstract

Perennial weeds like *Cirsium arvense* ensure their lifeform by their subterranean storage organs. Current control essentially relies on inversion tillage and herbicides (especially glyphosate). One alternative is the so-called "Kverneland Horizontal Root Cutter". This machine fragments adventitious roots and cuts them off from belowground shoots and deep reaching root parts via horizontally arranged sheers, subsequently leading to a depletion of reserves.

We conducted an experiment between September 2019 and September 2021 on a field carrying *C. arvense* but no crop. Treatments differed in terms of use frequency and working depth of the "Root Cutter". Six cuts per year (twelve in total) reduced the number of shoots by approximately 75% and the aerial expansion of thistle patches by approximately 90%. Lower cut frequencies decreased aerial expansion but failed to reduce number of shoots. HPLC root carbohydrate measurements revealed an exhaustion of reserves by root cutting. Total sugars and inulin reduction increased with cutting frequency. Based on the presented results the "Kverneland horizontal root cutter" can serve as a possible replacement for ploughing for the purpose of combating perennial weeds like *C. arvense*.

Keywords: creeping roots, glyphosate, mechanical weeding, perennial weeds, regenerative capacity

Zusammenfassung

Wurzelunkräuter wie *Cirsium arvense* sichern ihre Lebensform durch ihre unterirdischen Überdauerungsorgane. In der Landwirtschaft beruhen die Kontrollmethoden aktuell auf der wendenden Bodenbearbeitung und dem Einsatz von Herbiziden (vor allem Glyphosat). Eine Alternative hierzu bietet das Gerät „Kverneland Horizontal Root Cutter“. Dieses Gerät schneidet über horizontale Schare Adventivwurzeln und Sprosse ohne wendende Bearbeitung und trennt sie von Tiefwurzeln ab. In der Folge erschöpfen sich die Reservestoffe.

Von September 2019 und September 2021 etablierten wir einen Versuch auf einem Feld, auf dem *C. arvense* wuchs, aber keine Feldfrucht. Die Versuchsvarianten unterschieden sich in der Anwendungshäufigkeit und in der Arbeitstiefe des „Root cutters“. Sechs Cuts pro Jahr (zwölf insgesamt) reduzierten die Anzahl der Sprosse um ca. 75%, während die Befallsfläche der Distelnester um ca. 90 % reduziert wurde. Geringe Einsatzhäufigkeiten des Cutters reduzieren zwar die Befallsfläche, jedoch nicht die Anzahl Sprosse. HPLC Kohlenhydratmessungen der Wurzeln zeigten, dass Reservestoffe durch den Rootcutter erschöpft wurden. Die Gesamtzucker- und Inulin-Reduktion stieg mit der Einsatzhäufigkeit des Rootcutters. Der „Kverneland horizontal root cutter“ kann gemäß den hier präsentierten Ergebnissen das Pflügen bei der Bekämpfung von Wurzelunkräutern wie *C. arvense* ersetzen.

Stichwörter: Glyphosat, Kriechwurzeln, Mechanische Unkrautbekämpfung, Regenerationsfähigkeit, Wurzelunkräuter

Introduction

Chemical weed control with glyphosate as the primary choice to control perennial weeds such as *C. arvense* will be reduced or even, as currently discussed within the EU, completely banned (CLAUSING, 2019). Non-chemical measures to disturb perennial weeds in organic farming systems rely on ploughing the soil (MELANDER et al., 2012, HAKANSSON et al., 1998). Inversion tillage, however, is accompanied by soil erosion, a reduced soil biological activity, high energy consumption und a subsequently high output of CO₂ (MOITZI, 2013; ARONSSON et al., 2015).

One alternative is the so-called “Kverneland Horizontal Root Cutter” (Fig. 1). This machine fragments adventitious roots and cuts them off from belowground shoots and deep rooting root parts via horizontally arranged sheers, subsequently leading to a depletion of reserves.

The aim of this experiment was to understand how an existing thistle infestation is influenced by the “Kverneland horizontal root cutter”. Experimental factors were working depth and cutter use frequency. The impact of the different treatments on *C. arvense* was determined by the changes in shoot density and aerial expansion of the thistle patches before and after.

Materials and methods

We conducted a field experiment from September 2019 to September 2021 in Rostock, Germany (54°03'39.5"N 12°05'03.9"E). The experimental site was located at 45m above sea level, 15km away from the Baltic Sea (YAMAZAKI et al., 2017) on a sandy loam soil type. The mean annual temperature (1981-2010) was 9.2°C, the mean annual precipitation 646mm. In the experimental period (September 2019-September 2021) the mean monthly temperature was 9.7°C with mean monthly precipitation of 55.6mm. Before starting the experiment, the field lay fallow for two years (2018/2019). No field crop was cultivated during the experiment.



Figure 1 The “Kverneland horizontal root cutter” is a tractor pulled 5 sheered tillage machine. Each sheer has a diameter of 50cm and can run up to 30cm deep into the soil, cutting and fragmenting root and shoot parts in the process.

Abbildung 1 Der „Kverneland horizontal root cutter“ ist ein gezogenes Bearbeitungsgerät mit fünf Schaaren. Jedes Schaar hat einen Durchmesser von 50 cm und kann Arbeitstiefen von bis zu 30 cm erreichen um Wurzel und Sprosssteile zu schneiden und zu fragmentieren.

Contrary to classical experimental designs with field plots of the same size, we used individual thistle patches as plots. A randomized block design with two repetitions was set up. The total number of patches limited the total number of available plots. Since two replicates do not qualify to calculate means of treatment effects, Table 2 provides all data collected in the experiments. The experimental factors were the working depth of the cutter (10cm, 20cm, 30cm) and the cutter use frequency (2, 4 and 6 times per year). 10cm and 30cm were only tested two times per year. There were four periods of cutting per year (Tab. 1); two in spring and two in summer. This resulted in twelve plots including the untreated control plots. Cutting was carried out when newly emerged shoots reached their compensation point (low point in reserves; six to eight leaves). A treatment was conducted when 50% of the given shoots in each plot had

acquired the six to eight leaf stage. In spring all shoots of the plot were considered while only newly emerged shoots were considered in summer. All treatments were conducted on the same dates. Being the soil too moist to cut after rainfalls, treatments were advanced or postponed till soil conditions were found to be sufficient for cutting (Tab. 1).

C. arvense were observed as total shoot density per patch, shoots/m² and aerial expansion at the beginning and the end of the experiment. Aerial expansion of the patches was determined via GPS (Pentax-GNSS, Getac-PocketPC). Shoot height was measured on a monthly basis. Root carbohydrate and biomass were measured in September 2021. In each patch, a minimum of five shoots, with each shoot having an approximate foliar radius of 10cm up to a root depth of 30cm, were sampled, a sampling method that had been already introduced for root sampling by WILSON and MICHIELS (2003). Root samples were analyzed for their carbohydrate content via a version of a HPLC-method (High-performance liquid chromatography) introduced by WEIß & ALT (2017) slightly modified for *C. arvense*. Root samples from both patches of one treatment were homogenized and each sample was analyzed twice.

Table 1 Dates and working depths of root cutting operations 2019 - 2021.

Tabelle 1 Daten und Arbeitstiefen der Rootcuttereinsätze 2019 - 2021.

Date/Working depth	10cm	30cm	20cm	20cm	20cm
09/25/2019	x	x	x	x	x
10/09/2019					x
10/23/2019				x	x
04/23/2020	x	x	x	x	x
05/07/2020					x
05/21/2020				x	x
09/24/2020	x	x	x	x	x
10/05/2020					x
10/20/2020				x	x
04/29/2021	x	x	x	x	x
05/11/2021					x
05/27/2021				x	x
abbreviation	10x4	30x4	20x4	20x8	20x12

Results and discussion

Individual thistle patches with different initial shoot densities and sizes treated as plots led to different initial infestation levels. Therefore, no absolute values but percentage changes for number of shoots, shoots/m² and shoot height (cm) are given (Tab. 2). A value of 100 represents the initial infestation level in September 2019.

Aerial expansion

In the control plots, *C. arvense* expanded at the highest rate (Tab. 2). Horizontal root spread of *C. arvense* is reported to be rapid under no disturbance or competition e.g., BAKKER (1960) reported a spread of 6m per season. An approximately tenfold increase as seen in our control patches therefore seemed reasonable.

Table 2 Illustration of parameters defining *C. arvensis* infestation levels. Shoots/m², number of shoots, aerial expansion (m²), and shoot height (cm) represent the differences evaluated between September 2019 and September 2021 in % to initial values.

Tabelle 2 Darstellung von *C. arvensis*-Befall definierenden Parametern. Für shoots/m², number of shoots, aerial expansion (m²), und shoot height (cm) sind die evaluierten Unterschiede in % vom Ausgangswert von September-2019 im September-2021 dargestellt.

Treatment	Control		10 x4		30 x4		20 x4		20 x8		20 x12	
Replicate (R)	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
Shoots/m ²	63	188	349	661	267	344	149	244	266	130	399	295
Shoot number	724	1847	961	1142	178	162	158	145	114	138	22	28
Expansion (m ²)	1083	984	275	199	67	47	35	59	43	59	6	16
Shoot height (cm)	102	106	109	104	92	115	97	100	80	69	16	32

All cutting treatments except 10cm reduced the expansion values below the initial 100% base line. Thus, in order to reduce patch size, it was necessary to cut deep enough to disturb the actual root system. Treatment 20x12 showed the greatest reduction (94 and 84%-points) in patch size (Tab. 2).

Number of shoots, shoots/m²

The higher the cutting frequency, the lower were the total number of shoots (Tab. 2). The treatment 20x12 gave the greatest reduction of initial infestation levels (78 and 72%-points reduction). Treatments 20x8 and 20x4 resulted in lower numbers than the control but for both the number increased with respect to the initial infestation. 20x12 was more effective than 20x8 because 20x12 was the only treatment that did not grow past the flower bud stage before being cut again, which marks another point of low reserves (RODRIGUEZ et al., 2007). In our experiments six cuttings per year in treatment 20x12 reduced the initial level of shoots by more than 70%-points. TILEY (2010) stated that six-to-eight cultivations throughout the season controlled regrowth of *C. arvensis* on a fallow. Thus, we achieved similar results without inverting the soil. Cutting at 20cm depth was more efficient than 30cm (Tab. 2).

Shoots/m² increased in all cutted plots between September 2019 and September 2021 (Tab. 2), highest in the cutting depth 10cm. Cutting depth 20cm decreased the shoot density more than 30cm. Thus, fragmentation increased the shoot density per m². This results that cutting roots into smaller pieces significantly increases the number of adventitious shoots produced per unit length of root is proven by literature (HAMDOUN, 1972; NADEU & VANDEN BORN, 1989). Like in our experiment, initial shallower tillage depths also showed more resprouting than deeper tillage operations (HAKANSSON, 2003).

Carbohydrate content, shoot height, root/shoot weight

The highest root biomass occurred in the control treatment, while it was lower in all other treatments (Tab. 3). This result was expected as disturbing the root system results in new shoot growth by root buds which were inhibited by apical dominance of the aerial shoots prior to fragmentation (LEATHWICK & BOURDOT, 2012). Subsequently new root growth decelerated as reserves are needed for new shoot production (FAVRELIÈRE et al., 2020). Root weight values have the same order like number of shoots, indicating a relation between the reduction of root weight and number of shoots (Tab. 2). Cutting depths of 20cm and 30cm reduced the root biomass more than 10cm. Root biomass was negatively related with the number of cuts performed. The concentration of sugars in g/kg/DW was lowest in treatment 10x4. Cutting in 10cm depth resulted in more shoots; hence resprouting was higher than after deeper cuts (Tab. 2). However, the total amount of sugar (root biomass x concentration of sugars) was not lowest in 10x4 because of a higher root biomass. The cutting frequency decreased the total sugar amount, while cutting depths did not affect it. Shoot height or shoot dry weight were not different between the control and the cutting depth treatments but decreased with more cutting frequency (Tab. 2). A lower total amount of sugars was measured in the

roots after a higher cutting frequency (Tab. 3). GUSTAVSSON (1997) and HAKANSSON (2003) showed that longer and bigger root fragments produce primary shoots with more biomass which also grow taller than shoots originating from shorter/smaller root fragments. In our experiment plants in 10x4, 20x4 and 30x4, produced shoot biomass and height like in the control (Tab. 2 and Tab. 3). We assume that they still had enough reserves left for shoot growth, whereas plants in treatments 20x8 and 20x12 had not. This theory is strengthened when looking at the two sugars inulin and fructose. Inulin is known to be the dominant reserve carbohydrate in underground organs of *C. arvense* (WILSON et al., 2006; RODRIGUEZ et al., 2007). NKURUNZIZA & STREIBIG (2011) proved for *C. arvense* that the hydrolysis of fructan (which inulin belongs to) resulted in free fructose molecules during the early growth of fructan storing organs. In our experiment the control treatment showed the highest concentration and total amount of inulin, together with equal fructose concentrations and higher total fructose amounts compared to the other treatments. Hence, treatments with the “Kverneland horizontal root cutter” in high frequencies (20x8, 20x12) significantly impacted the plants reserve carbohydrates via a reduced number of shoots and also lighter and shorter shoots.

Conclusion

When evaluated by shoot number and infested area our field study showed that the “Kverneland horizontal root cutter” reduced *C. arvense* when cuttings were performed at a frequency of six cuttings per year. Working depths must be deep enough to reach the root system, best at least 20cm deep. We conclude that the “Kverneland horizontal root cutter” could serve as a tool to combat perennial weeds like *C. arvense* without inverting the soil.

Table 3 Influence of “Kverneland horizontal root cutter” working depth and use frequency on amount and concentrations of total sugar, inulin and fructose in *C. arvense* roots. Values are averages of total biomass dry weight (g) of the treatments.

Tabelle 3 Einfluss der Arbeitstiefe und Einsatzhäufigkeit des „Kverneland horizontal root cutter“ auf die Gesamtmenge und die Konzentration von Gesamtzucker, Inulin und Fructose in *C. arvense*-Wurzeln. Die dargestellten Werte sind Mittelwerte.

Treatment	Dry weight (g)		Amount (g)			Concentration in g/kg/DW		
	Shoot	Root	Sugar	Inulin	Fructose	Sugar	Inulin	Fructose
Control	459.7	17.5	3.9	3.13	0.15	221.4	179.17	8.34
10 x4	551.2	8.2	1.5	1.03	0.09	184.6	125.92	10.55
30 x4	447.9	6.8	1.54	0.78	0.12	226.73	114.69	17.9
20 x4	439.2	6.4	1.45	0.9	0.05	226.25	140.38	8.5
20 x8	306.4	4.4	0.93	0.63	0.04	209.25	143.1	9.57
20 x12	114	3.7	0.72	0.46	0.03	195.57	124.8	7.76

Acknowledgments

This research was a part of the project “AC/DC-weeds-Applying and Combining Disturbance and Competition for an agro-ecological management of creeping perennial weeds” funded by ERA-Net Cofund SusCrop/EU Horizon 2020. The German part is funded by DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), GE 558/3-1. Kverneland provided us with the “Kverneland horizontal root cutter”. Jürgen Müller, Kirsten Weiß and Manuela Alt together organized and performed the carbohydrate measurements. Rosa Minderlen, Ingolf Gliege and Rainer Kittel assisted in the field and Sabine Andert with the analyses. We are grateful for all support.

Literature

- ARONSSON, H., B. RINGSSELLE, L. ANDERSSON, G. BERGKVIST, 2015: Combining mechanical control of couch grass (*Elymus repens* L.) with reduced tillage in early autumn and cover crops to decrease nitrogen and phosphorus leaching. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **102** (3), 383–396, DOI:10.1007/s10705-015-9712-7.
- BAKKER, D., 1960: A comparative life-history study of *Cirsium arvense* (L.) Scop. and *Tussilago farfara* L., the most troublesome weeds in the newly reclaimed polders of the former Zuiderzee. *The Biology of Weeds* (ed. J.L. Harper), pp. 205–222, Blackwell Scientific Publications Ltd, Oxford, UK.
- CLAUSING, P., 2019: Glyphosate: The European Controversy – A Review of Civil Society Struggles and Regulatory Failures. *Business and Human Rights Journal* **4** (02), 351–356, DOI:10.1017/bhj.2019.5.
- FAVRELIÈRE, E., A. RONCEUX, J. PERNEL, J.-M. MEYNARD, 2020: Nonchemical control of a perennial weed, *Cirsium arvense*, in arable cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **40** (4), DOI:10.1007/s13593-020-00635-2.
- GUSTAVSSON, A.-M.D., 1997: Growth and regenerative capacity of plants of *Cirsium arvense*. *Weed Research* **37** (4), 229–236, DOI:10.1046/j.1365-3180.1997.d01-37.x.
- HAKANSSON, I., M. STENEBERG, T. RYDBERG, 1998: Long-term experiments with different depths of mouldboard ploughing in Sweden. *Soil and Tillage Research* **46** (3-4), DOI:10.1016/S0167-1987(98)00099-3.
- HAKANSSON, S., 2003: *Weeds and Weed Management on Arable Land: An Ecological approach*, 158-196. Wallingford, UK, CAB International.
- HAMDOUN, A.M., 1972: Regenerative capacity of root fragments of *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Weed Research* **12** (2), 128–136, DOI:10.1111/j.1365-3180.1972.tb01196.x.
- LEATHWICK, D.M., G.W. BOURDÔT, 2012: A conceptual model for the population dynamics of *Cirsium arvense* in a New Zealand pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research* **55** (4), 371–384, DOI:10.1080/00288233.2012.728532.
- MELANDER, B., N. HOLST, I.A. RASMUSSEN, P.K. HANSEN, 2012: Direct control of perennial weeds between crops – Implications for organic farming. *Crop Protection* **40**, 36–42, DOI:10.1016/j.cropro.2012.04.029.
- MOITZI, G., M. HAAS, H. WAGENTRISTL, J. BOXBERGER, A. GRONAUER, 2013: Energy consumption in cultivating and ploughing with traction improvement system and consideration of the rear furrow wheel-load in ploughing. *Soil and Tillage Research* **134**, 56–60, DOI:10.1016/j.still.2013.07.006.
- NKURUNZIZA, L., J.C. STREIBIG, 2011: Carbohydrate dynamics in roots and rhizomes of *Cirsium arvense* and *Tussilago farfara*. *Weed Research* **51** (5), 461–468, DOI:10.1111/j.1365-3180.2011.00866.x.
- RODRIGUEZ, A., L. PRIEUR, L. LAFFONT, M. PRUD'HOMME (Hrsg.), 2007: Étude du transfert des réserves carbonées chez le chardon des champs (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) et conséquences pratiques. 20ème Conférence du COLUMA. Journées Internationales sur la Lutte contre les Mauvaises Herbes, Dijon, France, 276-288, Association Nationale pour la Protection des Plantes (ANPP).
- TILEY, G.E.D., 2010: Biological Flora of the British Isles: *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Journal of Ecology* **98** (4), 938–983, DOI:10.1111/j.1365-2745.2010.01678.x.
- WEIß, K., M. ALT, 2017: Determination of Single Sugars, Including Inulin, in Plants and Feed Materials by High-Performance Liquid Chromatography and Refraction Index Detection. *Fermentation* **3** (3), 36, DOI:10.3390/fermentation3030036.
- WILSON, R.G., A.R. MARTIN, S.D. KACHMAN, 2006: Seasonal Changes in Carbohydrates in the Root of Canada thistle (*Cirsium arvense*) and the Disruption of these Changes by Herbicides. *Weed Technology* **20** (1), 242–248, DOI:10.1614/WT-05-052R1.1.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

WILSON, R.G., A.A. MICHIELS, 2003: Fall herbicide treatments affect carbohydrate content in roots of Canada thistle (*Cirsium arvense*) and dandelion (*Taraxacum officinale*). *Weed Science* **51** (3), 299–304, DOI:10.1614/0043-1745(2003)051[0299:FHTACC]2.0.CO;2.

YAMAZAKI, D., D. IKESHIMA, R. TAWATARI, T. YAMAGUCHI, F. O'LOUGHLIN, J.C. NEAL, C.C. SAMPSON, S. KANAE, P.D. BATES, 2017: A high-accuracy map of global terrain elevations. *Geophysical Research Letters* **44** (11), 5844–5853, DOI:10.1002/2017GL072874.

The herbicidal potential of Pelargonic Acid to control *Cirsium arvense* (L.) Scop. in relation to the timing of application and the application volume

*Die Wirkung von Pelargonsäure zur Kontrolle von *Cirsium arvense* (L.) Scop. in Abhängigkeit von Applikationszeitpunkt und -volumen*

Eliyeh Ganji*, Sabine Andert, Bärbel Gerowitt

University of Rostock, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Crop Health, Satower Straße 48, 18051 Rostock, Germany

*eliyeh.ganji@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/20220117-074121

Abstract

Pelargonic Acid (PA) is a naturally occurring fatty acid that is used as a bio-based herbicide to control both annual and perennial weeds. In this particular study, we investigated the effects of influencing factors on the efficacy of PA on *Cirsium arvense* (L.) Scop. under semi-field and greenhouse conditions. For this purpose, we examined the effects of different timings, application volumes, and adjuvants of PA to control *C. arvense*. Two application volumes (10.9 kg PA at 200 L and 400 L water/ha), and five plant growth stages were tested in a semi-field experiment. In a greenhouse experiment, Paraffin oil, as an adjuvant, was added to both PA application volumes to evaluate the possible increase in PA herbicidal efficacy.

Our results showed that 10.9 kg PA in the volume of 400 L water/ha improved the PA efficacy. Paraffin oil, as an adjuvant, can enhance PA efficacy. The most effective times to control using PA were early-elongation and the seven-to-ten leaf stages for *C. arvense*.

We conclude that 10.9 kg PA with an application volume of 400 L/ha and added adjuvant is a mixture with a herbicidal potential when applied at an earlier stage of *C. arvense*.

Keywords: bio-based herbicide, *Cirsium arvense*, pelargonic acid, perennial weed

Zusammenfassung

Die natürlich vorkommende Fettsäure Pelargonsäure (PA) wird als biobasiertes Herbizid zur Kontrolle einjähriger und ausdauernder Unkräuter und Ungräser eingesetzt. In der vorliegenden Studie werden die Einflussfaktoren Applikationszeitpunkt, Konzentration und Einsatz von Additiven auf die Wirkung von PA zur Kontrolle von *Cirsium arvense* (L.) Scop. getestet. Die Wirkung der PA-Konzentration (10.9 kg PA in 200 l Wasser und 10.9 kg PA in 400 l Wasser/ha) wurden in fünf phänologischen Entwicklungsstadien im Halbfreiland untersucht. Der Zusatz von Paraffin-Öl zu den zwei PA-Konzentrationen wurde im Gewächshaus geprüft.

Unsere Ergebnisse bestätigen die höhere Wirkung der Konzentration 10.9 kg PA in 400 l Wasser/ha zur *C. arvense* Kontrolle. Der Zusatz von Paraffin-Öl erhöhte die Wirkung der PA-Konzentration 10.9 kg PA in 400 l/ha Wasser zusätzlich. Die effektivste Kontrolle durch den Einsatz von PA konnte in den frühen Entwicklungsstadien der Pflanzen erzielt werden.

Wir schlussfolgern, dass Pelargonsäure in der Konzentration 10.9 kg PA in 400 l Wasser/ha und der Zugabe des Additivs ein herbizides Potential hat, wenn es in frühen Entwicklungsstadien von *C. arvense* appliziert wird.

Stichwörter: Biobasiertes Herbizid, *Cirsium arvense*, mehrjähriges Unkraut, Pelargonsäure

Introduction

Cirsium arvense known as creeping thistle is a perennial weed with a creeping root system that is difficult to control in all kinds of farming systems with reduced or no reliance on herbicides (BICKSLER & MASIUNAS, 2009). In recent years, there has been a growing interest in implementing more environmental-friendly practices towards weed management. Bio-based herbicides are alternatives for weed control (ABOUZIENA & HAGAAG, 2016). Since 2015, following the authorization of the active ingredient pelargonic acid, one bio-based herbicide (Beloukha®) is registered within the EU for defoliation (CORDEAU et al., 2016). Pelargonic Acid (PA) is a non-selective and broad-spectrum contact herbicide. Its herbicidal activity is a rapid membrane dysfunction resulting from an intracellular pH-reduction that causes loss of membrane integrity and, finally, cell death. The phytotoxic effects and necrotic lesions are visible within a short time after treatment (TRAVLOS et al., 2020). Yet, it has so far not been tested on controlling perennials.

Previous studies on herbicidal effects of PA recommend further investigation on the improvement of PA efficacy (MUÑOZ et al., 2020; TRAVLOS et al., 2020). Various factors such as growth stage of weeds at the time of herbicide application, carrier volume and, adjuvants affect herbicide efficacy (KNOCHE, 1994; KIELOCH & DOMARADZKI, 2011). Depending on the type of herbicide, increasing carrier volume leads to improved herbicide efficacy (KNOCHE, 1994; BOLAT et al., 2018). Adding adjuvant, e.g., paraffin oil, is commonly used to improve the herbicide performance (BURROUGHS et al., 1999). According to MCWHORTER et al. (1992), droplets of herbicide applied with paraffin oil spread 100 times greater than when the herbicide is applied alone. As PA is an emulsifiable contact herbicide with a hydrophobic characteristic (KEGLEY et al., 2010), a potential exists for paraffin oil to enhance the PA performance by reducing surface tension and spreading droplets on the leaf surface.

The specific objectives of this study are to determine whether (1) the efficacy of PA on *C. arvense* enhances by increasing the application volume, (2) the growth stage of *C. arvense* at application time affects PA efficacy and (3) paraffin oil increases the PA efficacy on this weed.

Material and methods

Experimental setup

This study contains two experiments that were carried out at the University of Rostock. In December 2019, creeping roots of *C. arvense* were collected from Rostock university field and planted and kept in culture by propagation in pots at the greenhouse. For both experiments, roots of >3 mm in diameter were cut into pieces of 5 cm length and were planted directly at 5 cm soil depth, one piece each pot. Pot size in the first experiment was 12 L and in the second 4 L. The selection of various pot sizes was due to the final plant size, plant growth, and experiment duration. The soil mixture was ½ field soil, ¼ potting soil, and ¼ compost. In this research, Beloukha® (680 g/L of pelargonic acid) was used as PA and Promanal HP® (830 g/L of paraffin oil) used as Paraffin oil. Promanal HP® is registered as plant protection product in Germany (Register of Plant Protection Products, 2021). We used Promanal HP® due to the high content of paraffin oil per liter.

Experiment 1

In spring 2020, a factorial pot experiment with four replicates was set up under semi-field conditions to examine the effects of application volume and growth stage on PA efficacy. Roots of *C. arvense* were planted at five different dates with ten-day intervals to have five growth stages at the application date. Treatments were applied using a plot spraying device with a pressure of 2.1 bar and speed of 4 kilometres per hour. Flat jet nozzles size 02 and 04, respectively, were used for 200 L and 400 L application volume. The treatments are given in Table 1.

Experiment 2

To test the improvement of PA efficacy on the best growth stage by increasing the application volume and adding an adjuvant, the second experiment was designed as a completely randomized pot experiment with six replicates. This experiment was conducted in November 2020 and repeated in February 2021 under greenhouse conditions. Plants were at the seven-to-ten leaf stage at the application date. Treatments were applied using a stationary application system with a speed of 0.675 km/h at a pressure of 1.8 bar. The treatments are given in Table 1.

Assessments

Above and below ground dry biomass were measured. Percent reduction of dry weight compared to the untreated control plants was defined as the efficacy of the treatments, and the calculation was as follow (JAVID & TANVEER, 2013):

$$\text{Herbicide Efficacy(\%)} = \frac{\text{dry biomass of untreated control} - \text{dry biomass of treated plant}}{\text{dry biomass of untreated control}} \times 100$$

In experiment 2, the growth parameters such as shoot height were measured at 1, 3, 7, 14 and 21 days after treatment (DAT).

Table 1 Treatments in Experiments 1 and 2

Tabelle 1 Versuchsglieder in Experiment 1 und 2

Experiment 1	Experiment 2
Growth stage	Adjuvant
Early-development = 17 < BBCH	PR = 6.2 kg/ha Paraffin oil
Seven-to-ten-leaf = 17 ≤ BBCH < 21	PA2 = 10.9 kg/ha Pelargonic Acid in 200 L Water
Side-shoot-formation = 21 ≤ BBCH < 30	PA4 = 10.9 kg/ha Pelargonic Acid in 400 L Water
Early-elongation = 30 ≤ BBCH < 38	PA2_PR = PA2 + PR
Late-elongation = 38 ≤ BBCH ≤ 45	PA4_PR = PA4 + PR
	Ctrl = Untreated Control
Application volume	
Untreated control	
PA200 = 10.9 kg PA in 200 L/ha water	
PA400 = 10.9 kg PA in 400 L/ha water	

Statistical analysis

Linear mixed models were used in experiment 1 analysis with two factors (application volume, growth stage). In this analysis, two factors (Growth-stage with five levels and Application volume with two levels) and their interaction were fixed effects. Replicates were random effects. To analyze Experiment 2, LMMs were fitted, considering herbicide treatments as fixed effects and replicates of each treatment and repetition of the whole experiment as random effects. We performed all statistical analysis in R version 4.0.4 (R CORE TEAM, 2021). R-package lme4 was used to run the Linear Mixed Model analysis (LMMs).

Results and Discussion

Experiment 1

Linear Mixed Model analysis on the efficacy of PA with different application volumes showed that the fixed effect of application volume on both shoot and root biomass was significant (Tab. 2).

The highest efficacy on the root biomass (72%) and shoot biomass (65%) was obtained from PA400 at the early-elongation stage. For the late-elongation and seven-to-ten-leaf stages, the PA400 efficacy on shoot biomass was respectively 56% and 58%. It was 61% on root biomass for both growth stages. There was a significant difference between growth stages for PA400 efficacy on shoot and root biomass ($p < 0.05$). The PA200 efficacy on roots was 17% to 46% (early-elongation stage) and 14% to 47% on shoots (early-elongation stage). However, the growth stages were not significantly different from each other in the PA200 efficacy on root biomass (Tab. 2).

Table 2 Linear Mixed Models': Efficacy of PA400 and PA200 on the root and shoot biomass of five growth stages of *Cirsium arvense*.

Tabelle 2 Lineare Gemischte Modelle: Wirksamkeit der Versuchsglieder PA400 und PA200 auf die Wurzel- und Sprossbiomasse von fünf Wachstumsstadien von *Cirsium arvense*.

		Efficacy on root biomass (%)		Efficacy shoot biomass (%)	
	Growth stage	Mean	Pr(> t)	Mean	Pr(> t)
Application volume (PA200)	Late-elongation	36.8	9.55e-05 ***	15.6	9.82e-03 **
	Early-elongation	42.5	6.19e-01	46.8	6.50e-04 ***
	Side-shoot-formation	25.6	3.34e-01	16.7	9.38e-01
	Seven-to-ten-leaf	46.4	4.06e-01	43.4	1.75e-03 **
	Early-development	17.4	1.006e-01	14.1	8.49e-01
Application volume (PA400)	Late-elongation	61.5	3.87e-02*	56.1	1.26e-05 ***
	Early-elongation	71.8	3.70e-01	64.8	2.87e-01
	Side-shoot-formation	29.6	9.30e-03 **	22.5	4.26e-02 *
	Seven-to-ten-leaf	61.1	9.73e-01	58.5	7.76e-01
	Early-development	15.0	3.56e-04 ***	17.9	1.57e-04 ***
Significance codes: *P < 0.05, **P < 0.01 and ***P < 0.001. For both application volumes, the p values for each growth stage were compared to the growth stage Late-Elongation (intercept of LMMs)					

Results of Experiment 1 showed that increasing the water volume improved the PA efficacy on *C. arvense*. In the seven-to-ten leaf stage, PA with higher application volume caused approximately 15% more reduction on both shoot and root biomass. It enhanced the PA efficacy up to 30% and 40% on root and shoot biomass, respectively, for early- and late-elongation stages.

According to our research, early-elongation stage exhibited the most constant and highest efficacy of herbicides. This means that *C. arvense* is vulnerable at early-elongation stage. This confirms findings of other studies on the *C. arvense*. HODGSON (1968) found that the carbohydrate root reserves in *C. arvense* declined from early spring to a minimum in June before the appearance of flower buds. Other studies by BAKKER (1960), SAGAR & RAWSON (1964) and WILSON et al. (2006) showed the same results. Another report mentioned that mowing in the time before the opening of flower buds, compared to other times could more effectively suppress *C. arvense* (GUSTAVSSON, 1997).

In our research, the seven-to-ten leaf stage occurred before the stem elongation. Applications at this growth stage showed a high efficacy on both root and shoot biomass for both application volumes. These results were in line with previous studies on above-ground disturbance of *C. arvense*. According to VERWIJST et al. (2018), applying above-ground disturbance at the minimum regenerative capacity of *C. arvense* reduces the carbohydrate reserve of the roots. It prevents root extension and leads to an above-ground biomass reduction. The eight-to-ten-leaf stage is the growth stage in which this plant is most vulnerable to

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online above-ground disturbance (GUSTAVSSON, 1997). TAVAZIVA et al. (2019) reported the high efficacy of herbicide on *C. arvense* at the four-to-ten leaf stage.

Experiment 2

According to the Linear Mixed Model, the two repetitions of the experiment 2 had the same trend in all evaluated traits and were not significantly different from each other (Fig. 1 and 2).

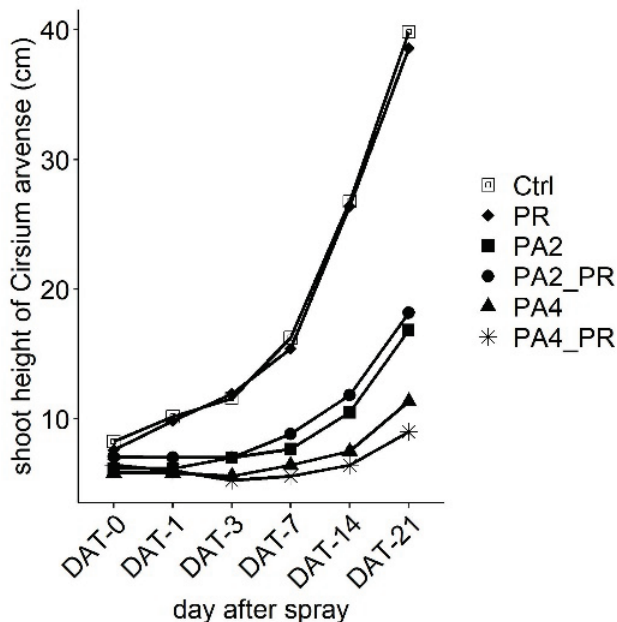


Figure 1 Linear Mixed Model: Effects of Pelargonic acid (PA) with different application volume after adding Paraffin oil as adjuvant on shoot height of *Cirsium arvense*. Treatments: see Table 1. DAT-0 = the day before application of the treatments.

Abbildung 1 Lineare Gemischte Modelle: Wirkungen von Pelargonsäure (PA) mit unterschiedlichem Applikationsvolumen nach Zugabe von Paraffinöl als Additiv auf die Sprosshöhe von *Cirsium arvense*. Versuchsglieder: siehe Tabelle 1. DAT-0 = der Tag vor der Anwendung der Versuchsglieder.

The day before application (DAT-0), the plant's height in all treatments was 6 to 8 cm. After applying the treatments, in the PA and PA_PR treatments the *C. arvense* growth stopped (Fig. 1). *C. arvense* plant height declined or did not change until DAT-7. The difference between the untreated control and PR with PA4 and PA4_PR treatments was significant at DAT-3 ($P < 0.05$) and continued to be the same till DAT-21. The regrowth started at DAT-7. Plants began to regrow from the underground parts or aboveground broken parts. The regrowth was significantly slower for PA4_PR compared to all the others ($p < 0.001$). At DAT-21, the height for untreated control and PR were 40 cm while it was around 9 cm for PA4_PR ($p < 0.001$).

The results on the efficacy of PA with paraffin oil (Fig. 2) showed that the highest efficacy on shoot and root biomass caused by PA4_PR was 79% and 80%, respectively. These efficacies were significantly higher than the PR and PA2_PR. Efficacy on root biomass was 10 to 20% higher than PA2 (69%) and PA2_PR (61%). PA4 showed 78% efficacy on *C. arvense* shoot and root biomass. Both were significantly higher than PR and PR2_PR treatments.

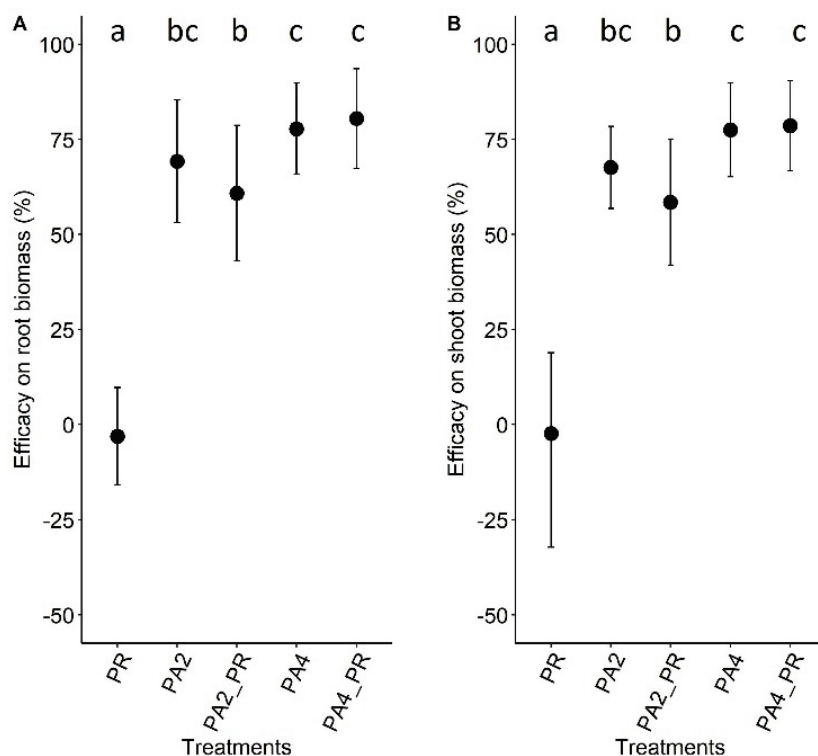


Figure 2 Efficacy of PA with different application volume after adding Paraffin oil as adjuvant. **A:** Efficacy on root biomass, **B:** Efficacy on shoot biomass. Treatments: see Table 1. Linear Mixed Model analysis. Different letters denote significant differences ($p < 0.05$) according to the pairwise comparison of means by Tukey contrast.

Abbildung 2 Wirksamkeit von PA bei unterschiedlichem Applikationsvolumen nach Zugabe von Paraffinöl als Adjuvants. A: Wirksamkeit auf Wurzelbiomasse, B: Wirksamkeit auf Sprossbiomasse. Versuchsglieder: siehe Tabelle 1. Lineare gemischte Modellanalyse. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) (Tukey-Test).

Overall, PA resulted in better *C. arvense* control when applied with paraffin oil. According to previous studies, adding an adjuvant to PA could improve its efficacy in reducing the biomass of weed species. COLEMAN & PENNER (2008) reported the increase of PA efficacy after adding organic acids on *C. arvense* and some other weed species. In another research on *Lolium rigidum* Gaud., *Avena sterilis* L. and *Galium aparine* L, pelargonic acid formulations including maleic hydrazide and manuka oil as adjuvants showed higher efficacy compared to the formulation without adjuvant (TRAVLOS et al., 2020).

Increasing the application volume to 400 L and adding 6.2 kg/ha Paraffin oil caused 10% to 20% more reduction in root and shoot biomass of *C. arvense* compared to PA with lower application volume and without adjuvant.

We conclude that PA with an application volume of 400 L/ha and added adjuvant is a mixture with a herbicidal potential on *C. arvense*. However, our recommendation is to test it in field conditions. According to our results, there are two growth stages of *C. arvense* at which the efficacy of PA is promising: (1) The early-elongation stage before the appearance of flower buds. At this stage, the plant uses the assimilates to develop aboveground parts, and less assimilates are stored in the roots. In the case of herbicide application at this stage, compensating the damage by the plant leads to reduced root extension and overall biomass reduction. (2) The seven-to-ten leaf stage at which the plant is at its minimum regenerative capacity. Application of herbicide at this stage will postpone the plant development and reduces both above- and below-ground biomass.

Beloukha® is registered for grapevine to destroy suckers and control weeds, and for desiccation of potatoes (German Register of Plant Protection Products, 2021). Bio-based herbicides like PA could in addition assist in agro-ecological management by terminating the shoots of perennial weeds without ploughing.

Acknowledgement

This research was part of the project “AC/DC-weeds- Applying and Combining Disturbance and Competition for an agro-ecological management of creeping perennial weeds” funded by ERA-Net Cofund SusCrop/EU Horizon 2020, Grant no. 771134. The German part is funded by DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), GE 558/3-1. We sincerely thank Belchim Crop Protection for providing the herbicides and our colleagues in crop health group of Rostock University for their technical assistance.

References

- ABOUZIENA, H.F, W.M. HAGAAG, 2016: Weed Control in Clean Agriculture: A Review. *Planta Daninha* **34** (2), 377–92.
- BAKKER, D., 1960: A comparative life-history study of *Cirsium arvense* (L.) Scop. and *Tussilago farfara* L., the most troublesome weeds in the newly reclaimed polders of the former Zuiderzee. *Biology of Weeds*, Symp. Brit. ecol. Soc., 205–222.
- BICKSLER, A.J., J.B. MASIUNAS, 2009: Canada thistle (*Cirsium arvense*) suppression with buckwheat or sudangrass cover crops and mowing. *Weed Technology* **23** (4), 556–563.
- BOLAT, A., A. BAYAT, O. TETIK, H.A. KARAAGAC, I. CERIT, U. SEVILMIS, 2018: Performance of herbicide spraying methods at different application volumes in maize. *Fresenius environmental Bulletin* **27** (5), 2963–2967.
- BURROUGHS, B., R. TARONE, J.S. KESNER, V.F. GARRY, 1999: Herbicides and adjuvants: an evolving view. *Toxicology and industrial health* **15** (1-2), 160–168.
- COLEMAN, R., D. PENNER, 2008: Organic acid enhancement of pelargonic acid. *Weed Technology* **22**(1), 38–41.
- 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.
- GUSTAVSSON, A.M.D., 1997: Growth and regenerative capacity of plants of *Cirsium arvense*. *Weed Research* **37** (4), 229–236.
- HODGSON, J.M., 1968: the nature, ecology and control of Canada thistle. United States Department of Agriculture Technical Bulletin 1386.
- JAVAI, M.M., A. TANVEER, 2013: Optimization of application efficacy for POST herbicides with adjuvants on three-cornered jack (*Emex australis* Steinheil) in wheat. *Weed Technology* **27** (3), 437–444.
- KEGLEY, S., E. CONLISK, M. MOSES, 2010: Marin Municipal Water District Vegetation Management Plan Herbicide Risk Assessment. Pesticide Research Institute.
- KIELOCH, R., K. DOMARADZKI, 2011: The role of the growth stage of weeds in their response to reduced herbicide doses. *Acta Agrobotanica* **64** (4).
- KNOCH, M., 1994: Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides. *Crop Protection* **13** (3), 163–178.
- MCWHORTER, C.G., W.L. BARRENTINE, J.E. HANKS, 1992: Postemergence grass control with herbicides applied at ULV in paraffinic oil. *Weed Technology* **6** (2), 262–268.
- MUÑOZ, M., N. TORRES-PAGÁN, R. PEIRÓ, R. GUIJARRO, A.M. SÁNCHEZ-MOREIRAS, M. VERDEGUER, 2020: Phytotoxic effects of three natural compounds: Pelargonic acid, carvacrol, and cinnamic aldehyde, against problematic weeds in Mediterranean crops. *Agronomy* **10** (6), 791.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- R CORE TEAM, 2021: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Access: 23. March 2021, URL: <https://www.R-project.org/>.
- SAGAR, G.R., H.M. RAWSON, 1964: The biology of *Cirsium arvense* (L.) Scop. Proceedings of the 7th British Weed Control Conference, Brighton, UK. 553–562.
- TAVAZIVA, V.J., A. LUNDKVIST, T. VERWIJST, 2019: Effects of selective cutting and timing of herbicide application on growth and development of *Cirsium arvense* in spring barley. Weed Research **59** (5), 349–356.
- TRAVLOS, I., E. RAPTI, I. GAZOULIS, P. KANATAS, A. TATARIDAS, I. KAKABOUKI, P. PAPASTYLIANOU, 2020: The herbicidal potential of different pelargonic acid products and essential oils against several important weed species. Agronomy **10** (11), 1687.
- VERWIJST, T., V.J. TAVAZIVA, A. LUNDKVIST, 2018: Assessment of the compensation point of *Cirsium arvense* and effects of competition, root weight and burial depth on below-ground dry weight–leaf stage trajectories. Weed Research **58** (4), 292–303.
- WILSON, R.G., A.R. MARTIN, S.D. KACHMAN, 2006: Seasonal changes in carbohydrates in the root of Canada thistle (*Cirsium arvense*) and the disruption of these changes by herbicides. Weed Technology **20**, 242–248.

IPSIM-Cirsium, a qualitative expert-based model to predict infestations of *Cirsium arvense*

*IPSIM-Cirsium, ein qualitatives, expertenbasiertes Modell zur Vorhersage der Befallsstärke von *Cirsium arvense**

Marie-Hélène Robin^{1*}, Octave Lacroix¹, Jean-Noël Aubertot¹, Marko Bohanec², Stéphane Cordeau³

¹Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement (INRAE)-INPT-ENSAT-El-Purpan, University of Toulouse, UMR 1248 AGIR, Castanet Tolosan, France

²Jožef Stefan Institute, Department of Knowledge Technologies, Jamova 39, Ljubljana, Slovenia

³Agroécologie, AgroSup Dijon, Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement (INRAE), University of Bourgogne, Dijon, France

*mh.robin@purpan.fr

DOI: 10.5073/20220117-074915

Abstract

In a context of recall of glyphosate and questioning about the intensive use of ploughing, tools are needed to offer an alternative for perennial weed control. Perennial weeds are a major problem in production fields, organic or conventional farming. To control them, a system approach is required. This is the aim of the work package Modelling of the European project AC/DC-weeds. Multi-attribute qualitative modelling, performed thanks to IPSIM (Injury Profile SIMulator), enables the evaluation of weed infestation for three perennial weeds included one *Cirsium arvense*. The models consider the effect of weather, soil and cropping practices, and their interaction on weed infestation.

The model outputs were confronted to independent field observations collected across 6 fields, over a 16-year period in 3 sites. IPSIM-Cirsium showed a satisfactory predictive quality (accuracy of 78.2%)

IPSIM-Cirsium can be used as a tool for crop advisors and researchers to assist the design of systems less reliant on herbicides, for farmers and advisers to assess ex-ante prototypes of cropping systems, and for teachers as an educational tool to share agroecological weed management knowledge.

Keywords: Agroecological crop protection, Canada thistle, cropping practices, injury profile simulator, integrated weed management, qualitative modelling, soil, weather

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund einer Glyphosatreduzierung und dem Infrage stellen einer intensiven Pflugnutzung, sind Alternativen zur Bekämpfung von Wurzelunkräutern notwendig. Sowohl im ökologischen als auch im konventionellen Ackerbau stellen Wurzelunkräuter ein gravierendes Problem dar. Zur effektiven Bekämpfung ist ein System-basierter Ansatz notwendig. Das "work package modelling" des europäischen AC/DC-weeds Projektes hat sich dies zum Ziel gesetzt. Die Vorhersage der Befallsstärke von *C. arvense* wird in IPSIM (Injury Profile SIMulator) mit einem qualitativen multi-attributiven Modelle ermöglicht. Das Modell berücksichtigt sowohl Umwelt als auch Bodeneigenschaften und Anbaupraktiken und deren Einfluss auf die Befallsstärke.

Die Modellergebnisse wurden mit den Daten von sechs Feldern verglichen, die in einem Zeitraum von 16 Jahren an drei verschiedenen Standorten unabhängig erhoben wurden. IPSIM-Cirsium zeigte hierbei eine zufriedenstellende Vorhersagegenauigkeit (78,2 %). IPSIM-Cirsium kann Beratern und Forschern bei der ex-ante Beurteilung von Anbausystemen mit reduziertem Herbizideinsatz helfen. Zudem kann es in der Weiterbildung auf dem Gebiet des agrarökologischen Managements von Unkräutern effektiv eingesetzt werden.

Stichwörter: Acker-Kratzdistel, Anbaumaßnahmen, Boden, injury profile simulator, Integrierter Pflanzenschutz, Integrierte Unkrautkontrolle, Quantitative Modellierung, Wetter

Introduction

Our study is part of the European AC/DC-weeds project (Applying and Combining Disturbance and Competition for an agro-ecological management of creeping perennial weeds). The objective of the AC/DC-weeds project is to implement a more efficient and better quality agro-ecological management against creeping perennial weeds in arable crops. The target species are the three most problematic perennial weeds in arable crops in Central and Northern Europe (*Elytrigia repens* L. Gould, *Cirsium arvense* L. Scop. and *Sonchus arvensis* L.). The aim of this project is to reduce ploughing in organic and conventional agriculture and to replace glyphosate in the latter system.

To date, no model considers weather, agricultural practices, and the environment in the management of perennial weeds. It is therefore important to produce a predictive model that mobilizes these different parameters to propose a systemic approach to perennial weed control.

Injury Profile SIMulator (IPSIM) is a modelling platform. This platform was designed to build qualitative models to predict injury profiles in agroecosystem, as a function of cultural practices, soil, weather and environment of the field (AUBERTOT & ROBIN, 2013). This platform has numerous purposes and can be used as (i) an innovative tool to design new agroecosystems, (ii) a diagnosis tool for farmers or technicians such as DSS or as (iii) an educational platform.

This modelling approach aims to design an aggregative hierarchical tree of attributes to integrate vertically methods of control, weather and environment of the field. The originality of the IPSIM modelling platform is to apprehend the whole agroecosystem and to produce a schematic representation of it. This approach is particularly relevant for perennial weeds which developments are impacted not only by weather and soil, but also by the cultural practices or disturbances that occur during previous, between and current crop production. This approach allows farmers and technicians to identify the causes of an increase of weed infestation or the consequences of the use of specific farming methods on future weed infestation. IPSIM allows models to integrate the effect of multiple cropping practices (e.g. tillage, inter-row hoeing, sowing date and rate, rotation ...).

Materials and Methods

A. General approach of DEX method

For the conception of the models relying on the IPSIM platform, the DEX method was used. This method, implemented by the software DEXi (BOHANEK, 2020) is a method, which supports qualitative hierarchical attribute aggregation. The strength of the DEX method is to enable multi-attribute decision for the modelling. The principle of the method is to subdivide a large problem into smaller and less complex subproblems. This method is perfectly applicable on weed infestation modelling, by taking into account numerous subproblems such as weather, crop practices or soil.

B. Design of *Cirsium* model

For the designing of input attributes, IPSIM-Cirsium aims at representing the growth environment of the weed in spring, and the history of cropping practices on a larger scale, including previous years (four years earlier than the crop production year).

The model's hierarchy is presented in Figure 1 and represents the distribution of all the factors considered in the growth or the control of the perennial weeds. Terminal attributes also called input or basic attributes are the input variables that the user will specify while using the models and the final aggregated attribute is

the output of the model, here the *Cirsium* infestation. Between the input and output attributes, the models are composed of nodes that are aggregated attributes (Bold in Fig. 1), representing different categories of control method or growth factors: Environment with weather and soil component, cropping practices with different methods of control. Every attribute used in the models is a qualitative variable. Attributes can be ordinal or nominal and takes discrete values, such as words instead of numbers (e.g. “low, medium, high” for ordinal variables and “ploughing, stubble tillage, no-till”).

IPSIM-Cirsium has 33 attributes (20 basic attributes and 13 aggregates).

A scale is attached to each attribute. IPSIM-Cirsium only take maximum three levels per scale for aggregated attributes and input attributes (Fig. 2). Output attribute scales of the models are composed of five levels (i.e. Very low, Low, Neutral, High, Very high). The chosen values are set for each attribute and are represented by words. Scales usually represent three levels (i.e. Unfavourable in red, Moderately Favourable in grey and Favourable in green, Fig. 2), where the scales representing the quality or efficiency of each methods or growth factors to control and limit the development of *C. arvense* “Favourable” is the highest efficiency level and “Unfavourable” the lowest level to control the weed.

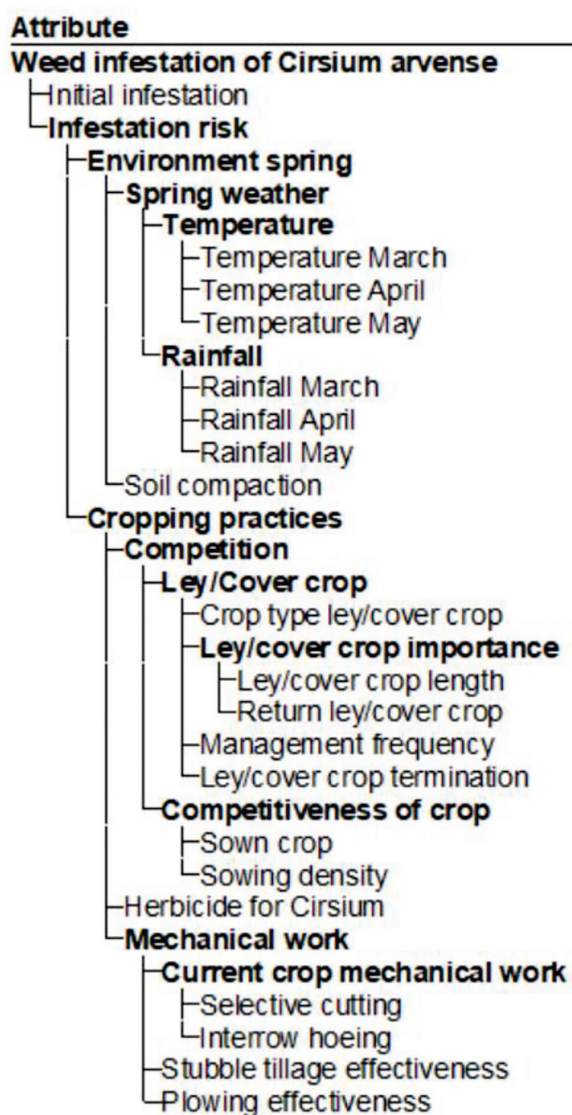


Figure 1 Hierarchical structure of IPSIM-Cirsium. Bold and not in bold terms represent aggregated and basic attributes, respectively. (20 basic attributes and 13 aggregated attributes) (screenshot of the DEXi software).

Abbildung 1 Hierarchische Struktur von IPSIM-Cirsium. Fett und nicht fett gedruckte Begriffe stellen aggregierte bzw. Einzelattribute dar. (20 Einzelattribute und 13 aggregierte Attribute) (Screenshot der DEXi software).

Once input attributes are validated by experts, aggregative tables must be constructed to apprehend every decision and aggregation of attributes. Several attributes are aggregated together, and decision rules must be designed. These rules follow the function if-then assembled to build a table with all the values that the aggregative attribute can take.

Attribute	Scale
Weed infestation of <i>Cirsium arvense</i>	High infestation ; Intermediate infestation; Low infestation ; Very low infestation
Initial infestation	High infestation ; Intermediate infestation; Low infestation ; Very low infestation
Infestation risk	Very high risk ; High risk ; Intermediate risk; Low risk ; Very low risk
Environment spring	Favorable environment for <i>Cirsium</i> ; Moderately favorable environment for <i>Cirsium</i> ; Unfavorable environment for <i>Cirsium</i>
Spring weather	Favorable weather for <i>Cirsium</i> ; Moderately favorable weather for <i>Cirsium</i> ; Unfavorable weather for <i>Cirsium</i>
Temperature	High temperature ; Average temperature; Low temperature
Temperature March	Unfavorable ; Moderately favorable; Favorable
Temperature April	Unfavorable ; Moderately favorable; Favorable
Temperature May	Unfavorable ; Moderately favorable; Favorable
Rainfall	High amount of rain ; Average amount of rain; Low amount of rain
Rainfall March	Unfavorable ; Moderately favorable; Favorable
Rainfall April	Unfavorable ; Moderately favorable; Favorable
Rainfall May	Unfavorable ; Moderately favorable; Favorable
Soil compaction	High compaction ; Moderate compaction; Low compaction
Cropping practices	Ineffective practices ; Moderately effective practices; Effective practices
Competition	Ineffective competition ; Moderately effective competition; Effective competition
Ley/Cover crop	Low effectiveness of ley/cover crop ; Moderate effectiveness of ley/cover crop; High effectiveness of ley/cover crop
Crop type ley/cover crop	Open canopy ; Moderately closed canopy; Closed canopy
Ley/cover crop importance	Low importance ; Medium importance; High importance
Ley/cover crop length	Unfavorable length ; Moderately favorable length; Favorable length
Return ley/cover crop	Long ley return ; Short ley return
Management frequency	Low management ; Moderate management; High management
Ley/cover crop termination	Unfavorable termination ; Moderately favorable termination; Favorable termination
Competitiveness of crop	Low competitiveness ; Moderate competitiveness; High competitiveness
Sown crop	Open canopy ; Moderately closed canopy; Closed canopy
Sowing density	Unfavorable rate ; Moderately favorable rate; Favorable rate
Herbicide for <i>Cirsium</i>	No herbicide ; Moderately effective herbicide; Highly effective herbicide
Mechanical work	Ineffective mechanical work ; Moderately effective mechanical work; Effective mechanical work
Current crop mechanical work	Ineffective current crop practices ; Moderately effective current crop practices; Effective current crop practices
Selective cutting	Unsatisfying num of repetition ; Neutral; Satisfying num of repetition
Interrow hoeing	Unsatisfying num of repetition ; Neutral; Satisfying num of repetition
Stubble tillage effectiveness	Ineffective stubble tillage ; Moderately effective stubble tillage; Effective stubble tillage
Plowing effectiveness	Ineffective plowing ; Moderately effective plowing; Effective plowing

Figure 2 Attribute scales of IPSIM-*Cirsium*. All the scales are ordered from values favourable to *Cirsium arvense* (i.e., detrimental to the user) on the left-hand side (Red colour) to values unfavourable to *Cirsium arvense* (i.e., beneficial to the user) on the right-hand side (Green colour). (Screenshot of the DEXi software).

Abbildung 2 Attributsskala von IPSIM-*Cirsium*. Die Skalen sind nach für *Cirsium arvense* vorteilhaften Werten (d.h. nachteilig für den Anwender) auf der linken Seite (rot markiert) sortiert hin zu Werten, die unvorteilhaft für *Cirsium arvense* sind (d.h. vorteilhaft für den Anwender) auf der rechten Seite (grün markiert). (Screenshot der DEXi software).

In Figure 3, an example of an aggregative table for the Environment spring shows nine rules for the decision of the ordinal values of the environment in spring. These possible combinations are the result of the compaction of the soil and the weather in spring. Soil Compaction has three levels and Spring Weather has three levels, and their combinations make nine aggregation possibilities. Here, a “Moderately favourable spring weather” aggregated with a “High compaction [of soil]” result in an “Unfavourable spring environment” for the control of *C. arvense*.

Once all the attributes, basic and aggregated are completed, their scales filled out and the aggregative tables supplemented, the models can create a simulated version of weed infestation. This evaluation of the weed infestation is calculated by DEXi by compiling all aggregated attribute values following the qualitative variables of input attributes, the hierarchy designed to assemble the attributes, and the aggregative tables designed to aggregate attributes.

	Initial infestation	Infestation risk	Weed infestation of <i>Cirsium arvense</i>
1	High infestation	Very high risk	High infestation
2	High infestation	High risk	High infestation
3	High infestation	Intermediate risk	High infestation
4	High infestation	Low risk	High infestation
5	High infestation	Very low risk	Intermediate infestation
6	Intermediate infestation	Very high risk	High infestation
7	Intermediate infestation	High risk	Intermediate infestation
8	Intermediate infestation	Intermediate risk	Intermediate infestation
9	Intermediate infestation	Low risk	Low infestation
10	Intermediate infestation	Very low risk	Low infestation
11	Low infestation	Very high risk	Intermediate infestation
12	Low infestation	High risk	Intermediate infestation
13	Low infestation	Intermediate risk	Low infestation
14	Low infestation	Low risk	Low infestation
15	Low infestation	Very low risk	Very low infestation
16	Very low infestation	Very high risk	Low infestation
17	Very low infestation	High risk	Very low infestation

Figure 3 The “Weed infestation of *Cirsium arvense*” decision rules translated in the DEXi software (screenshot of the DEXi software) for the 20 possible combinations (four level of Initial infestation, five level of Infestation risk).

Abbildung 3 Die Entscheidungsregeln zur „Befallsstärke von *Cirsium arvense*“ dargestellt durch die DEXi software (screenshot der DEXi software). 20 mögliche Kombinationen (vier Stufen der ursprünglichen Befallsstärke bzw. fünf Stufen des Befallsrisikos).

To assert the predictive quality of IPSIM-*Cirsium*, it is necessary to have a large window of conditions of field and weather to evaluate *Cirsium arvense* infestation. The dataset used here is composed of two sets of data: one dataset from organic farmers in Gers, south of France and one from Dotnuva, Central Lithuania.

The evaluation of the predictive quality is based on the comparison of the evaluated values from IPSIM-*Cirsium* and the observed values from the dataset. The model predicts the weed infestation in June, into five classes: Very low, Low, Neutral, High, Very High corresponding to 0-3 plants/m², 3-7 shoots/m², 7-15 shoots/m², 15 -30 shoots/m², more than 30 shoots/m² respectively. To assess the predictive quality of IPSIM-*Cirsium*, a confusion matrix was built to compare the evaluated values from the model and the observed values from the dataset. The confusion matrix consists of a table layout: each row corresponds to observed values, each column to evaluated values. To obtain the predictive quality of the model, accuracy was used: Accuracy is the proportion of correctly evaluated values among all the evaluated values.

Results

Figure 4 illustrates the confusion matrix between observed and calculated values of weed infestation (LACROIX et al., 2021). By means of the large dataset, gathering many sites and years (220 situations) with a wide diversity of cropping practices and pedoclimates, it was possible to perform a reliable evaluation of the predictive quality of the model. Calculated values of infestation were very similar to the observed values in field, resulting in a satisfactory evaluation (78.2% of the values were correctly calculated).

		Calculated				
		Very low	Low	Intermediate	High	Total
Observed	Very low	1071	51	29	42	1193
	Low	47	8	7	14	76
	Intermediate	11	5	4	18	38
	High	43	19	32	60	154
	Total	1172	83	72	134	1461

Figure 4 Confusion Matrix of IPSIM-Cirsium. Colour of cells are determined with the level of difference between calculated and observed values of weed infestation: Green cells are perfectly matched (0 level of difference), Yellow cells have one level of difference, orange cells have two levels of difference and red cells have three level of differences expressing the furthest distance between calculated and observed values of weed infestation.

Abbildung 4 Entscheidungsmatrix von IPSIM-Cirsium. Die Differenz von kalkulierten und tatsächlich beobachteten Befallswerten wird durch die Farbe der Zellen dargestellt. Grüne Zellen sind deckungsgleich (Differenzlevel null), gelbe Zellen: ein Differenzlevel, orange: zwei Differenzlevel, rot: drei Differenzlevel welches die größte Differenz zwischen berechneten und beobachteten Befallswerten darstellt.

Conclusion

The development of perennial weed control methods provides an answer to the recall of some chemical control methods and the de-intensifying use of deep ploughing.

Numerous cropping practices exist to tackle the recall of glyphosate and other systemic herbicides; however, the adoption of alternative cropping practices remains poor. One of the main reasons is the poor evaluation of the weed infestation of perennial weeds according to the transition to alternative cropping practices. Multi-attributes qualitative modelling gives an answer and enables users to visualize qualitative weed infestation for *C. arvense*. IPSIM perennial weed models help assess the effect of cropping practices and their interactions. The process of modelling permitted a gathering of all efficient control methods and a horizontal transfer of knowledge between actors as farmers, advisers, researchers or teachers.

References

- 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:e73202. doi:10.1371/journal.pone.0073202
- BOHANEK, M., 2020. DEXi: Program for Multi-Attribute Decision Making, User's Manual, Version 5.04. IJS Report DP-13100. Available online at: <http://kt.ijs.si/MarkoBohanec/pub/DEXiManual504p.pdf> (accessed August 19, 2020).
- LACROIX, O., J. AUBERTOT, M. BOHANEK, S. CORDEAU, D.C. CORRALES, M. ROBIN, 2021: IPSIM-Cirsium, a Qualitative Expert-Based Model to Predict Infestations of *Cirsium arvense*. Frontiers in Agronomy. DOI: 10.3389/fagro.2021.655383.

Autumn mowing and pelargonic acid can suppress *Elymus repens* abundance especially when combined with increased crop competition

Die Kombination aus Schröpfen, dem Einsatz von Pelargonsäure und einer erhöhten Konkurrenz der Kulturpflanzen kann das Vorkommen von Elymus repens unterdrücken

Kirsten S.Torresen^{1*}, Björn Ringselle^{1,2}, Lars Olav Brandsæter^{3,1}, Jukka Salonen⁴

¹Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO), Division of Biotechnology and Plant Health, Department of Invertebrate Pests and Weeds in Forestry, Agriculture and Horticulture, Ås, Norway

²Research Institutes of Sweden (RISE), Division of Bioeconomy and Health, Department of Agriculture and Food, Uppsala, Sweden

³Norwegian University of Life Sciences (NMBU), Faculty of Biosciences, Department of Plant Sciences, Ås, Norway

⁴Natural Resources Institute Finland (Luke), Plant Health, Jokioinen, Finland

*kirsten.torresen@nibio.no

DOI: 10.5073/20220117-075252

Abstract

Couch grass (*Elymus repens*) is a creeping perennial weed that can cause great yield losses in a wide range of crops. Established stands are usually controlled by glyphosate, selective herbicides, or intensive tillage. Many herbicides, including glyphosate, are, however, currently at risk of being banned. Couch grass can be controlled with below-ground tillage treatments to a depth of 10-15 cm, followed with mouldboard ploughing at a depth of 20-25 cm. Mowing is sometimes used, but often with unsatisfactory results. We wanted to test if there was a better effect of combining a bio-herbicide with autumn mowing and if increased crop competition could further enhance efficacy. One field experiment was carried out in Norway with combinations of bio-herbicide, mowing and competition (cross-sowing of spring cereals) in 2019-2021 and one in Finland with mowing and bio-herbicide in 2019-2020. Pelargonic acid (Beloukha, 680 g a.i. L⁻¹, dose rate 16 L ha⁻¹) was used as bio-herbicide. Couch abundance in autumn, in early and late spring and finally before spring cereal harvest were assessed. In general, each of the treatments caused up to 25-50% short-term reduction in ground cover. The best effect against couch grass was achieved by the combination of all three treatments, with nearly 70% reduction in dry matter in the subsequent summer sampling. However, no treatment combination could reach the same level of efficacy that could be expected with glyphosate.

Keywords: bio-herbicide, couch grass, mechanical weed control, perennial weeds

Zusammenfassung

Das Auftreten der Gemeine Quecke (*Elymus repens*) in Kulturpflanzen kann zu hohen Einbußen der Ertragsmenge führen. Verbreitete Bekämpfungspraktiken des ausdauernden Wurzelunkrautes im konventionellen Anbau sind der Einsatz des Wirkstoffes Glyphosat, selektiver Herbizide und eine intensive wendende Bodenbearbeitung. Die Zulassungen vieler chemisch-synthetischer Herbizide, darunter auch der Wirkstoff Glyphosat, stehen jedoch in der aktuellen politischen und gesellschaftlichen Diskussion.

Die Gemeine Quecke kann durch flache Bodenbearbeitungsgänge in einer Tiefe von 10-15 cm und anschließender wendender Bodenbearbeitung (20-25 cm Tiefe) kontrolliert werden. Das Schröpfen der Pflanzen führt bisher zu einer unbefriedigenden Kontrolle.

Die vorliegende Studie ist der Frage nachgegangen, ob eine Maßnahmenkombination bestehend aus dem Einsatz eines Bioherbizides, dem Schröpfen der Pflanzen im Herbst und der Aussaat des nachfolgenden

Sommergetreides im Verfahren der Kreuzsaat geeignet ist, um die Gemeine Quecke wirkungsvoll zu kontrollieren.

Zu diesem Zweck wurden zweijährige Feldversuche (2019-2021) in Norwegen und einjährige Versuche (2019-2020) in Finnland etabliert. Es wurde die Wirkung des Bioherbizides Pelargonsäure (Beloukha, 680 g a.i. L⁻¹, Aufwandmenge 16 L ha⁻¹) untersucht. Das Vorkommen der Gemeine Quecke wurde zu vier Terminen (Herbst, frühes und spätes Frühjahr, vor der Ernte) als Deckungsgrad ermittelt und die Effizienz (%) der Kontrollmaßnahmen relativ zur unbehandelten Kontrolle ermittelt.

Die einzelnen Kontrollmaßnahmen bewirkten eine kurzfristige Verringerung des Deckungsgrades der Gemeinen Quecke um 25-50 %. Die wirkungsvollste Kontrolle der Gemeine Quecke wurde durch die Kombination aller drei Maßnahmen (Pelargonsäure + Schröpfen + Kreuzsaat) erzielt, die Maßnahmenkombination führte zu einer Verringerung der Trockenmasse der Gemeinen Quecke um ca. 70 % (Bonitur vor der Ernte).

Die Maßnahmen zur Kontrolle der Gemeinen Quecke konnten allerdings einzeln angewendet und auch in Kombination nicht die Wirkung erzielen, die mit dem Einsatz des Wirkstoffes Glyphosat zu erwarten gewesen wäre.

Stichwörter: Bioherbizide, Quecke, Mechanische Unkrautkontrolle, Wurzelunkräuter

Introduction

Creeping perennial weeds can cause great yield losses in a wide range of crops. Today such weeds are usually controlled by glyphosate, selective herbicides or intensive tillage including deep ploughing. Many herbicides, including glyphosate, are, however, currently at risk of being banned. Intensive tillage has however also disadvantages related to sustainability - it can e.g. lead to increased risk for nutrient leaching and erosion in bare soil periods (ULÉN et al., 2010; MYRBECK et al., 2012; ARONSSON et al., 2015). Integrated weed management strategies have the potential to increase the sustainability and resilience of cropping systems by creating synergistic effects between chemical and non-chemical direct control measures and crop competition, but it is a challenge to reach the same control efficacy that glyphosate offers (FOGLIATTO et al., 2020). In organic farming mechanical treatments after crop harvest are common to control couch grass (*Elymus repens* (L.) Gould) (RINGSELLE et al., 2020). Typically, couch rhizomes are targeted with below-ground tillage treatments to a depth of 10-15 cm, followed by mouldboard ploughing to a depth of 20-25 cm. Mowing is sometimes used, but often with unsatisfactory results (RINGSELLE et al., 2015). Crop competition can improve the effect of mowing (KOLBERG et al., 2018). We wanted to test if there was a synergistic effect of combining a bio-herbicide with an autumn mowing treatment since it could potentially damage couch closer to the growth point and force it to re-shoot from its rhizomes, thus providing an efficient couch control without soil disturbance in the autumn. In addition, we hypothesized that the addition of crop competition could further reduce couch grass.

Material and methods

Two field experiments were carried out on areas relatively evenly infested by couch grass— one in Norway which included combinations of bio-herbicide, mowing and cross-sowing, repeated on the same plots over two years in 2019-2021, and the other in Finland with mowing, cover crops and bio-herbicide in 2019-2020.

In Norway, a strip-plot design was established with four treatments in autumn and two competition treatments in the growing season with six replicates at a silty clay loam in Ås (59°39'N, 10°45'E). The autumn treatments were 1) untreated, 2) mowing with 5-6 cm stubble height 3) bio-herbicide and 4) combination of mowing and the bio-herbicide. Plot size of the autumn treatments was 5.5 m x 8 m. Mowing was done manually with a handheld cutter in 2019 and a tractor-mounted chopper in 2020. The bio-herbicide used shortly after mowing was pelargonic acid (product Beloukha, EC formulation, 680 g L⁻¹

pelargonic acid (PA), dose rate 16 L ha⁻¹, water with temperature c. 20°C and 200 L ha⁻¹) applied with a backpack sprayer at good weather conditions on 14.10.2019 (mean and max. daily air temperature +7.1 and +11.1°C, respectively) and 11.09.2020 (mean and max. daily air temperature +9.6 and +14.9°C, respectively) but in 2019 it was cold and a lot of rain the following days. Ploughing was performed in spring on the entire field. The competition treatments were established after spring ploughing and seed bed preparation with (i) normal sowing rate of spring cereals (2020: spring barley, 2021: spring wheat) and (ii) cross-sowing with near 50% extra sowing rate given perpendicular to the normal sowing and thereby splitting the autumn treatments in two (sub-plot 5.5 m x 4 m) (Tab. 1). Sowing was done with row spacing of 12.5 cm. Efficacy of treatments was assessed by estimating ground cover of couch grass, other main weed species and crop in autumn, in early and late spring/early summer and finally before spring cereal harvest. At final assessment shoot density of perennial weed species and dry mass of above-ground parts of couch grass, other weeds and cereal crop were also assessed (4 squares of 0.25 m² per plot).

Table 1 Information and dates of main operations in the experimental sites

Tabelle 1 Informationen und Zeitpunkte der Anbaumaßnahmen auf den Versuchsfeldern

Site	Ås, Norway		Jokioinen, Finland
Growing season	2019-2020	2020-2021	2019-2020
Precrop	Spring oats	-	Grasslands
Start assessment 2019	27.08 (ground cover), 23-26.09 (density, biomass)	-	10.09 (ground cover)
Mowing	14.10 (a.m.)	08.09	10.09 (a.m.)
Pelargonic acid (PA)	14.10 (p.m.)	11.09	10.09 (p.m.)
Cover crops (increased competition FIN)	-	-	Italian ryegrass + oilseed radish sown 16.09
PA, spring	-	-	On border area: 05.05
Tillage	Spring ploughing	Spring ploughing	No (direct drilling)
Crop and cultivar	Spring barley	Spring wheat	Spring wheat
Sowing date	19.04	27.04	26.05
Normal sowing rate	360 viable seeds m ⁻²	580 viable seeds m ⁻²	600 viable seeds m ⁻²
Cross-sowing cereals (increased competition NO)	170 viable seeds m ⁻²	250 viable seeds m ⁻²	-
Combine harvesting	26.08	25.08	-
Ground cover (NO) /efficacy estimation (FIN)	08.04, 18.05, 11.08	05.10, 25.04, 28.05, 03.08	16.09.2019, on border area: 08.05.2020
Counting and biomass	-	03-13.08	

In Finland the field experiment was carried out in a second-year grassland on sandy clay in Jokioinen (60° 48' N, 23° 28' E) and the protocol for autumn treatments was similar to Norway, except that mowing was carried out with a tractor-mounted chopper perpendicular to the other treatments. PA was sprayed on 10.09.2019 in good conditions (+23 °C, 65% RH). The plot size was 2 m x 10 m but split in 2 m x 5 m sub-plots with mowing or no-mowing before the PA treatment. The cover crops, Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) and oilseed radish (*Raphanus sativus* L.), were sown to introduce the competition element in the treatments. These catch crops failed to emerge in autumn due to late sowing on 16.09.2019. One additional PA treatment was included in spring on 05.05.2020 (+15 °C, 37% RH) before direct-sowing spring wheat. The subsequent effect of treatments in crop stand could not be assessed in 2020 because spring wheat, direct-sown 26.05.2020, failed to emergence in dry conditions. Thus, only visual observations on herbicide effects after application were conducted. The burn-down effect of PA, assessed as withering and

shortening at % scale, was visually observed seven days after application in autumn 2019 and three days after spring treatment in 2020.

For each trial, ANOVA was performed using procedure 'proc mixed' (SAS INSTITUTE INC., 2002-2012) with strip-plot design. Repeated measure was included in the analyses for ground cover in Norway. For perennial weeds, assessments of ground cover, shoot density or biomass of the species in autumn 2019 were used as covariate. Transformations were used, if necessary, to fulfil ANOVA assumptions. If main effects and interactions were significant ($P \leq 0.05$), Tukey-tests were performed.

Results

In Norway the ground cover and biomass of couch grass was affected by mowing, PA and cross-sowing. The effect of the autumn treatments was more evident in the same autumn or before cereal seedbed preparation than later. The PA treatment gave 25-50% reduction in the same autumn or the subsequent spring before sowing (Tab. 2). In early summer (May) the couch grass ground cover was considerably reduced, most probably by the spring ploughing, while it regrew during summer to a considerable amount at harvest of the cereals. At harvest, only the aboveground couch biomass in 2021 was significantly reduced by the PA applied the year(s) before, while the same magnitude of reduction was obtained in 2020 on ground cover. Autumn mowing gave effects of the same magnitude as the PA treatments with 28-81% reduction in couch ground cover in autumn and early spring, and 9-25% reduction before harvest. There was no interaction between mowing and PA, which means that the effects were more additive when combined.

Table 2 Effect of pelargonic acid (PA) on ground cover during experimental period and density and above ground biomass (dry matter, DM) at final assessment of *Elymus repens* from 2020 to 2021 in Ås, Norway. Percentage of change relative to no treatment, is given and marked with * if significant

Tabelle 2 Effekte des Einsatzes von Pelargonsäure (PA) auf den Deckungsgrad der Gemeinen Quecke in der Kulturzeit sowie auf die Dichte und oberirdische Biomasse (Trockenmasse, TM) der Gemeinen Quecke zur Endbonitur in 2020-2021. Die relative Effektänderung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle ist angegeben und wird bei signifikanter Effektänderung durch * markiert

	% ground cover 2020				% ground cover 2021			No. of shoots m ⁻²	DM, g m ⁻²
Date	08.04	18.05	11.08	05.10	25.04	28.05	03.08	03-13.08.2021	
No PA	4.3	0.4	25.7	13.9	10.8	1.9	18.6	130	75
PA	3.2	0.9	21.9	7	5.6	1.6	19.4	141	60
% change	-25	96	-15	-50*	-49*	-16	4	8	-19*

Cross-sowing gave around 20% increase in ground cover of cereals before harvest in Norway and resulted in an 11-26% reduction in ground cover of couch grass and 35% reduction in couch above-ground biomass before cereal harvest. The number of shoots of couch grass at final assessment was not affected by the treatments mowing and PA, but only by cross-sowing with a 19% reduction. For above-ground biomass there was a significant interaction between the three types of treatments and the maximum reduction (68%) were obtained with all three treatments.

In addition to couch grass in Norway, cross-sowing also reduced ground cover and biomass of perennial sow-thistle (*Sonchus arvensis* L.) and annual weeds. *Vicia cracca* L., another abundant perennial weed species, was not influenced by any of the treatments.

In Finland, one of the main observations was that PA was poorly dissolved in water. Consequently, the herbicide spray from nozzles followed logarithmic scale with increasing concentration towards the end

when the tank was draining. In all, the average control efficacy against couch grass one week after application was 31% and there was no additive effect of mowing. PA was more effective against clover plants than couch and other grass species in the grassland. Application in early spring 2020 resulted in control effect of 52% on couch grass. The burn-down effect was higher in younger plants but in general only a transient hindrance to the growth of couch grass. Therefore, crop competition should start as soon as possible to prevent early growth of couch and other weeds.

To conclude, a combined effect of all three treatments provided with the best subsequent effect against couch next summer. However, the control effect of any treatments was not at the level that could be expected with glyphosate.

Acknowledgements

This research was a part of the project “AC/DC-weeds- Applying and Combining Disturbance and Competition for an agro-ecological management of creeping perennial weeds” funded by ERA-Net Cofund SusCrop/EU Horizon 2020, Grant no. 771134, the Norwegian part funded by the Research Council of Norway, project no. 299695 and the Finnish part with the MAKERA grant from the Ministry of Agriculture and Forestry. We are grateful for the technical assistance of V. Hjerpaasen and J.A. Randem (both SKP/ NMBU), K. Wærnhus, M. Helgheim, M.B. Fajardo, H. Antzee-Hyllseth, A.M. Beachell, C.E. Øyri, and K. Bell (all NIBIO), Ø. Skagestad (NMBU/ NIBIO) and K.N.J. Hansen (NMBU) in the Norwegian experiment, and A. Muotila, N. Jalava and A. Eskola (all Luke) in the Finnish experiment. We thank Belchim Crop Protection for providing the bio-herbicide, T. Torp (NIBIO) for advice on statistical analyses, and S. Andert (University of Rostock) for German translation.

References

- ARONSSON, H., B. RINGSSELLE, L. ANDERSSON, G. BERGKVIST, 2015: Combining mechanical control of couch grass (*Elymus repens* L.) with reduced tillage in early autumn and cover crops to decrease nitrogen and phosphorus leaching. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* **102**, 383–396.
- KOLBERG, D., L.O. BRANDSÆTER, G. BERGKVIST, K.A. SOLHAUG, B. MELANDER, B. RINGSSELLE, 2018: Effect of rhizome fragmentation, clover competition, shoot-cutting frequency, and cutting height on quackgrass (*Elymus repens*). *Weed Sci.* **66**, 2015–225, doi: 10.1017/wsc.2017.65.
- MYRBECK, Å., M. STENBERG, T. RYDBERG, 2012: Establishment of winter wheat—Strategies for reducing the risk of nitrogen leaching in a cool-temperate region. *Soil Tillage Res.* **120**, 25–31, doi:10.1016/j.still.2012.01.007.
- RINGSSELLE, B., G. BERGKVIST, H. ARONSSON, L. ANDERSSON, 2015: Under-sown cover crops and post-harvest mowing as measures to control *Elymus repens*. *Weed Res.* **55**, 309–319.
- RINGSSELLE, B., B. DE CAUWER, J. SALONEN, J. SOUKUP, 2020: A Review of Non-Chemical Management of Couch Grass (*Elymus repens*). *Agronomy* **10**, 1178, doi:10.3390/agronomy10081178.
- SAS INSTITUTE INC., 2002–2012: SAS proprietary software 9.4. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- FOGLIATTO, S., A. FERRERO, F. VIDOTTO, 2020: Current and future scenarios of glyphosate use in Europe: Are there alternatives? *Advances in Agronomy* **163**, 219–278, doi:10.1016/bs.agron.2020.05.005.
- ULÉN, B., H. ARONSSON, M. BECHMANN, T. KROGSTAD, L. ØYGARDEN, M. STENBERG, 2010: Soil tillage methods to control phosphorus loss and potential side-effects: a Scandinavian review. *Soil Use and Management* **26**, 94–107, doi: 10.1111/j.1475-2743.2010.00266.x.

Visualizing growth of *Cirsium arvense* (L.) scop. for farmers

Visualisierung des Wachstums von *Cirsium arvense* (L.) scop. für Landwirte

Sabine Andert*, Marian Weigel, Eliyeh Ganji, Bärbel Gerowitt

University of Rostock, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Crop Health, Satower Straße 48, 18059 Rostock, Germany

*sabine.andert@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/20220117-075544

Abstract

Agro-ecological farming takes a significant shift in farmers' knowledge and behaviour. Video has become an important part of education and dissemination. Here, we present an instructional video development process for the visualizing of *C. arvense* growth.

The scientific literature on biology, distribution and control measures of *C. arvense* has been collected and pooled in an indexed database. The next step was to create a design document. The heart of the video development process is 'Storyboarding'. A storyboard is a graphic representation of how the video will unfold, scene by scene. After finishing the storyboard, a professional designer planned the onscreen visuals and recorded a first draft based on the storyboard. When the entire video is established, any gaps or lulls in onscreen visuals became clear.

Visualizing the spatial spread of *C. arvense* roots belowground will enable farmers and advisors to comprehend the growth and reproduction of *C. arvense*.

Keywords: Agroecological management, Canada thistle, Creeping perennial weeds, Dissemination, Instructional Video

Zusammenfassung

Agrarökologischer Landbau erfordert wesentliche Kenntnis- und Verhaltensänderungen der Landwirte. Videos sind zu einem wichtigen Bestandteil der Wissensvermittlung- und Weitergabe geworden. In diesem Beitrag stellen wir einen Prozess zur Entwicklung eines Lehrvideos für die Visualisierung des Wachstums von *C. arvense* vor.

Die wissenschaftliche Literatur über Biologie, Verbreitung und Kontrollmaßnahmen von *C. arvense* wurde recherchiert und in einer katalogisierten Datenbank zusammengetragen. Der folgende Arbeitsschritt war die Erstellung eines Entwurf- und Planungsdokuments. Das Herzstück des Videoentwicklungsprozesses ist die Erstellung eines Drehbuchs. Das Drehbuch ist eine grafische Darstellung aller Szenen. Nach Fertigstellung des Drehbuchs plante ein professioneller Grafiker die visuellen Elemente auf dem Bildschirm und entwickelte erste Grafikentwürfe auf der Grundlage des Drehbuchs. Nach der Fertigstellung des vollständigen Videoentwurfs wurden alle Lücken und Mängel in den Visualisierungen deutlich.

Die Visualisierung der unterirdischen Ausbreitung von *C. arvense* wird es Landwirten und Beratern ermöglichen das Wachstum und die Reproduktion von *C. arvense* zu verstehen.

Stichwörter: Ackerkratzdistel, Agrarökologisches Management, Informationsvermittlung, Lernvideo, Wurzelunkräuter

Introduction

Environmental and social concerns demand a reduction of ploughing in organic (PEIGNÉ et al., 2007; VIAN et al., 2009; KRAUSS et al., 2010; GADERMAIER et al., 2012) and replacing glyphosate use in conventional farming (KUDSK & MATHIASSEN, 2020). Hence, novel integrated weed management practices for creeping perennial

weeds urge to exploit agro-ecological management. Nevertheless, moving to an agro-ecological system represents a significant change from the previous cultivation for conventional and organic farmers.

PELTONEN-SAINIO et al. (2020) proclaimed ‘winds of change for farmers’ and proposed knowledge sharing on future changes and coping measures.

Video has become an important part of education and dissemination. Meta-analyses have shown that technology can enhance learning (MEANS et al., 2009; SCHMID et al., 2014), and multiple empirical studies have shown that video, specifically, can be a highly effective educational tool (ALLEN MOORE & RUSSELL SMITH, 2012; KAY, 2012; STOCKWELL et al., 2015). Video can be particularly well suited to illuminating hard-to-visualize phenomena that are the focus of environmental and biology issues (DASH et al., 2016).

Here, we present an instructional video development process for the visualizing of creeping perennial weed growth by the example of *Cirsium arvense* (L.) scop. We are aiming to produce a novel *C. arvense* video which (i) support farmers with specific information on the spatial growth of *C. arvense*, (ii) allow exploring how management practices affect the growth and (iii) assist in understanding the consequences of different applications of disturbance and competition on field infestations.

Instructional Video Development Process

Figure 1 summarises the workflow of the instructional video development, including the steps (1) information gathering, (2) instructional design, (3) storyboarding, (4) visual design and (5) first draft animation.

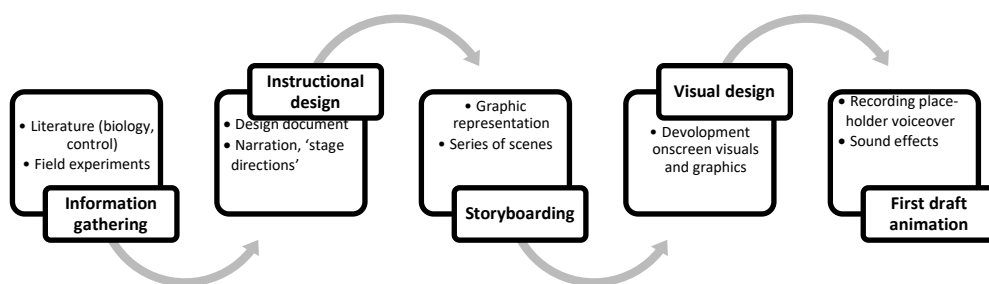


Figure 1 Instructional Video Development Process for the visualizing growth of *C. arvense*.

Abbildung 1 Entwicklungsprozess eines Videos für die Visualisierung des Wachstums von *C. arvense*.

Information gathering

We started by gathering available information on *C. arvense*. Scientific Literature (including grey resources) on biology, distribution and control measures of *C. arvense* has been collected and pooled in an indexed database. For biology and distribution, we focused (i) the belowground growth and (ii) the thistle reproduction. Creeping thistles have an expanded root system reaching 3m into the soil (TILEY, 2010), whereas creeping roots spread at a rate of 1 to 2m per year (TWORKOSKI, 1992).

We ranked the thistle reproduction according to their importance: (i) Plants grown from creeping root fragments, (ii) Remains of aboveground shoots and (iii) seedlings from seeds.

We further systemized the response of *C. arvense* to management practices. The focus has been on the effects of applying and combining disturbance and competition for agro-ecological management. The results are generated by the authors' two-year field experiments. Recommendations for improved management strategies have been developed.

Instructional design

The next step was to create a design document. We started by writing a script for the video. The script is similar to what might be written for a play, and it contains the narration and ‘stage directions’ indicating suggested scenes, actions, and other visual elements.

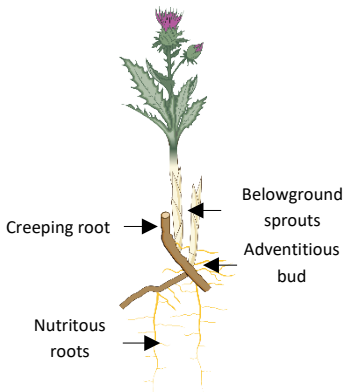
Storyboarding

A storyboard is a graphic representation of how the video will unfold, scene by scene (Tab. 1). The storyboard is a series of scenes that represent the individual shots planned for the video. It is made up of several squares with illustrations and pictures representing each shot, with notes about what’s going on in the scene and what is being said in the script during that shot. At this point, a visual designer was engaged for input on such elements as imagery and visual style. We fleshed out the ‘stage directions’ by grouping relevant content into various scenes. For each scene, we made a drawing to depict what occurs in the scene.

The ‘Frame Description’ describes the characters and images that will appear, as well as the actions that will occur (Tab. 1).

Table 1 Insight into the storyboard for the visualizing of *C. arvense* growth

Tabelle 1 Drehbuchauszug für die Visualisierung des Wachstums von *C. arvense*

Scene	Frame description	On screen representation	Voiceover
[1-2] 3 Belowground growth [4-7]	Title: Below-ground growth Graphic: <i>C. arvense</i> with horizontal creeping roots Animation: approx. 1 sec. after display title and at starting voiceover ‘The main...’: (a) nutritious roots grow from creeping roots and belowground sprouts, the growth of nutritious roots starts immediately prior to the growth of the vertical belowground sprouts (b) adventitious buds form new belowground sprouts, below-ground sprouts grow from creeping roots to the soil surface, after emergence above-ground sprouts are visible Comments: Displaying the arrows and highlighting the elements in the image: „Creeping roots“, „adventive buds...“, „nutritious roots...“, „Belowground sprouts“	 The diagram illustrates the root system of <i>C. arvense</i>. It shows a central vertical root system with several horizontal creeping roots extending from it. From these creeping roots, numerous smaller, yellowish roots (nutritious roots) grow downwards. At the base of the creeping roots, there are small, rounded structures labeled as adventitious buds. Above the soil surface, there are small green sprouts. Arrows point to the creeping roots, nutritious roots, and belowground sprouts.	The main creeping roots run horizontally in the soil, while their main task being to store resources, at the same time being organs of vegetative reproduction. Adventitious buds form new nutritious roots penetrating deeply into the soil, in so doing the numerous nutritious roots serve as the organ of nutrition of the plant.

The 'On Screen' representation contains the initial drawing developed by the designer. The 'Voiceover' contains the spoken narration of the piece. Table 1 gives insights into the storyboard for the visualizing of *C. arvensis* growth. As an example, we illustrate scene 3 'Belowground growth'.

Visual design

Finishing the storyboard, the designer has read the script and planned the onscreen visuals. There are several critical elements to consider during this phase: (1) the graphics that will need to be created and how these graphics will interact with one another. (2) Once in a visual format, make sure that the progression or sequences make sense. (3) Frame each scene so that pertinent information is clearly illustrated and does not get lost among other on-screen elements.

First draft animation

Based on storyboard, a placeholder voiceover (VO) was recorded. The placeholder VO becomes the timing backbone upon which we build the first animatic. Once the timing of the entire video is established, any gaps or lulls in onscreen visuals became clear, and we could make changes to tighten the timing. Sound effects and cinematic background music have further been added at this step.

Acknowledgement

This research was a part of the project "AC/DC-weeds- Applying and Combining Disturbance and Competition for an agro-ecological management of creeping perennial weeds" funded by ERA-Net Cofund SusCrop/EU Horizon 2020, Grant no. 771134. The German part is funded by DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), GE 558/3-1.

References

- ALLEN MOORE, W., A. RUSSELL SMITH, 2012: Effects of video podcasting on psychomotor and cognitive performance, attitudes and study behaviour of student physical therapists. *Innovations in Education and Teaching International* **49** (4), 401–414, DOI:10.1080/14703297.2012.728876.
- DASH, S., U. KAMATH, G. RAO, J. PRAKASH, S. MISHRA, 2016: Audio-visual aid in teaching "fatty liver". *Biochemistry and molecular biology education : a bimonthly publication of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology* **44** (3), 241–245, DOI:10.1002/bmb.20935.
- GADERMAIER, F., A. BERNER, A. FLIEßBACH, J.K. FRIEDEL, P. MÄDER, 2012: Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming. *Renewable Agriculture and Food Systems* **27** (1), 68–80, DOI:10.1017/S1742170510000554.
- KAY, R.H., 2012: Exploring the use of video podcasts in education: A comprehensive review of the literature. *Computers in Human Behavior* **28** (3), 820–831, DOI:10.1016/j.chb.2012.01.011.
- KRAUSS, M., A. BERNER, D. BURGER, A. WIEMKEN, U. NIGGLI, P. MÄDER, 2010: Reduced tillage in temperate organic farming: implications for crop management and forage production. *Soil Use and Management* **26** (1), 12–20, DOI:10.1111/j.1475-2743.2009.00253.x.
- KUDSK, P., S.K. MATHIASSEN, 2020: Pesticide regulation in the European Union and the glyphosate controversy. *Weed Science* **68**, 214–222, DOI:10.1017/wsc.2019.59.
- MEANS, B., Y. TOYAMA, R. MURPHY, M. BAKIA, K. JONES, 2009: Evaluation of Evidence-Based Practices in Online Learning: A Meta-Analysis and Review of Online Learning Studies. Centre for Learning Technology.
- PEIGNÉ, J., B.C. BALL, J. ROGER-ESTRADE, C. DAVID, 2007: Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use and Management* **23** (2), 129–144, DOI:10.1111/j.1475-2743.2006.00082.x.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

PELTONEN-SAINIO, P., J. SORVALI, J. KASEVA, 2020: Winds of change for farmers: Matches and mismatches between experiences, views and the intention to act. *Climate Risk Management* **27**, 100205, DOI:10.1016/j.crm.2019.100205.

SCHMID, R.F., R.M. BERNARD, E. BOROKHOVSKI, R.M. TAMIM, P.C. ABRAMI, M.A. SURKES, C.A. WADE, J. WOODS, 2014: The effects of technology use in postsecondary education: A meta-analysis of classroom applications. *Computers & Education* **72**, 271–291, DOI:10.1016/j.compedu.2013.11.002.

STOCKWELL, B.R., M.S. STOCKWELL, M. CENNAMO, E. JIANG, 2015: Blended Learning Improves Science Education. *Cell* **162** (5), 933–936, DOI:10.1016/j.cell.2015.08.009.

TILEY, G.E.D., 2010: Biological Flora of the British Isles: *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Journal of Ecology* **98** (4), 938–983, DOI:10.1111/j.1365-2745.2010.01678.x.

TWORKOSKI, T., 1992: Developmental and Environmental Effects on Assimilate Partitioning in Canada Thistle (*Cirsium arvense*). *Weed Science* **40** (1), 79–85, DOI:10.1017/S004317450005699X.

VIAN, J.F., J. PEIGNE, R. CHAUSSOD, J. ROGER-ESTRADE, 2009: Effects of four tillage systems on soil structure and soil microbial biomass in organic farming. *Soil Use and Management* **25** (1), 1–10, DOI:10.1111/j.1475-2743.2008.00176.x.

Sektion 3: Unkräuter in Nutzungssystemen

Session 3: Weeds in cropping systems

Management von Wasser-Greiskraut (*Jacobaea aquatica*) in der konventionellen Grünlandbewirtschaftung

*Management of marsh ragwort (*Jacobaea aquatica*) in conventional grassland cultivation*

Klaus Gehring¹, Harald Albrecht³, Julia Ditton³, Johannes Kollmann³, Marie-Therese Krieger³, Gisbert Kuhn², Michael Laumer², Franziska Mayer², Thomas Wagner³

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Pflanzenschutz, 85354 Freising

²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz, 85354 Freising

³Technische Universität München (TUM), Lehrstuhl für Renaturierungsökologie, 85354 Freising

DOI: 10.5073/20220117-080056

Zusammenfassung

Im Zeitraum von 2017 bis 2020 wurden auf sieben Standorten im Bayerischen Alpenvorland Feldversuche zur Regulierung von *Jacobaea aquatica* in Grünland unter konventioneller Bewirtschaftung durchgeführt. Die Versuche wurden als Case-Control-Studien angelegt. Die untersuchten Regulierungsmaßnahmen wurden hierbei an die Bedingungen der einzelnen Standorte angepasst. Als Kernmaßnahmen wurde eine Regulierung durch Herbizid-Einsatz, durch mechanische Bekämpfung bzw. Ausstechen und durch Ausdunkeln geprüft. Die Effizienz und Nachhaltigkeit der jeweiligen Maßnahmen variierten in Abhängigkeit von der spezifischen Kernmaßnahme und den einzelnen Versuchsorten. Die chemische Regulierung durch einen einmaligen Herbizideinsatz im Herbst 2017 zeigte an allen Versuchsorten eine sehr hohe direkte Bekämpfungsleistung. Die Wirksamkeit des im Grünland zur Bekämpfung von dikotylen Unkräutern zugelassenen Aminopyralid-haltigen Präparat Simplex und der Clopyralid-haltigen Prüfmittel Lontrel 600 und Vivendi 100 war hierbei gleichwertig. Eine Regeneration von *J. aquatica* wurde durch eine gezielte mechanische Einzelpflanzenbekämpfung am Ende der Versuchsperiode aufgehalten. Die standortspezifische Möglichkeit zur Regulierung von *J. aquatica* durch Ausdunkeln bzw. einen mehrjährigen Nutzungsverzicht und die effiziente Regulierungsleistung durch Ausstechen wurde mit den Versuchen bestätigt. Im Verhältnis zur Regulierungsleistung konnten die Pyrrolizidingehalte im Grünlandaufwuchs reduziert werden.

Die Versuchsergebnisse belegen, dass durch standortangepasst und nachhaltig umgesetzte Regulierungsmaßnahmen ein erfolgreiches Management von *J. aquatica* im Grünland möglich ist (GEHRING & THYSSEN, 2016; GEHRING et al., 2021).

Stichwörter: Aminopyralid, Ausdunkeln, Ausstechen, Clopyralid, Pyrrolizidinalkaloide, Unkrautbekämpfung

Abstract

From 2017 to 2020, field trials were conducted at seven sites in the Bavarian Alpine grassland region to regulate *J. aquatica* in grassland under conventional management. The experiments were designed as case-control studies. The regulatory measures examined were adapted to the conditions of the individual locations. As core measures, regulation by the use of herbicides, mechanical control or deep cutting and darkening were considered. The efficiency and sustainability of the respective measures varied depending on the specific core measure and the individual test sites. Chemical regulation by a single herbicide

application in autumn 2017 showed very high direct control performance at all test sites. The efficacy of Simplex, an aminopyralid-containing herbicide approved in grassland for control of dicotyledon weeds, and the clopyralid-containing test agents Lontrel 600 and Vivendi 100, was equivalent. A regeneration of *J. aquatica* was halted by mechanical control of individual plants at the end of the experimental period. The site-specific possibility of regulating *J. aquatica* by darkening or a multi-year abandonment of use and the efficient regulation performance by hand removal was confirmed by the tests. The pyrrolizidine content in the grassland regrowth was reduced in relation to the regulatory performance.

The test results prove that successful management of *J. aquatica* in grassland is possible by means of site-specific and sustainable regulatory measures (GEHRING & THYSSEN, 2016; GEHRING et al., 2021).

Keywords: Aminopyralid, clopyralid, darkening, hand removal, pyrrolizidine alkaloids, weed control

Einleitung

In den letzten Jahren kam es vor allem auf frischen bis feuchten Grünlandstandorten im Alpenvorland Bayerns zu einer deutlichen Zunahme von Wasser-Greiskraut (*Jacobaea aquatica*; SUTTNER et al., 2016). Aufgrund der in allen Pflanzenteilen vorhandenen Pyrrolizidinalkaloide (PA) ist die Art als Giftpflanze eingestuft (ROTH et al., 2012), die ein Risiko für die Gesundheit von Nutztieren und Menschen darstellt (WIEDENFELD & EDGAR, 2011; GOTTSCHALK et al., 2015). Bereits geringe Besatzdichten gefährden die Futtergewinnung und Grünlandbewirtschaftung. Die Regulierung von Wasser-Greiskraut zeigt sich bisher in der Praxis als sehr schwierig. Ziel des vorliegenden Teilprojektes war es, im Rahmen eines umfangreichen Forschungsvorhabens (GEHRING et al., 2021), effiziente und nachhaltige Regulierungskonzepte für die konventionelle Grünlandbewirtschaftung zu entwickeln.

Material und Methoden

Für die Entwicklung von Konzepten zur Regulierung von *J. aquatica* wurden in der Periode von 2017 bis 2020 Feldversuche auf sieben Standorten im Pfaffenwinkel und im Allgäu durchgeführt. Die Versuche waren als Case-Control-Studien angelegt. Hierzu wurden zu Versuchsbeginn je Standort zwei Parzellen (100 m²) mit einem gleichwertigen Besatz mit *J. aquatica* durch GPS-Vermessung und Markierung mit Rundstäben angelegt. Eine Fläche diente als Management-Parzelle, auf der für den Standort, die Besatzsituation und die Nutzung angepasste Regulierungsmaßnahmen durchgeführt wurden. Die zweite Fläche wurde im Vergleich als Kontroll-Parzelle verwendet.

Als Haupt-Regulierungsmaßnahmen wurden drei Verfahren eingesetzt:

- Chemische Regulierung durch Herbizidbehandlung (4 Standorte)
- Mechanische Regulierung durch regelmäßiges Ausstechen (2 Standorte)
- Unterdrückung durch Ausdunkelung (4 Standorte)

An einzelnen Standorten wurden zwei Kernmaßnahmen (chemische Regulierung und Ausdunkeln) oder eine chemische Regulierung mit zwei Herbiziden im Vergleich durchgeführt. Hierzu wurde die Managementparzelle geteilt (2x 50 m²). Als flankierende Maßnahmen wurde bei Bedarf eine Nach- bzw. Übersaat ausgebracht, eine N-Ergänzungsdüngung durchgeführt und eine ergänzende mechanische Einzelpflanzenbehandlung angewendet. Ausstechen war somit sowohl eine Kernmaßnahme auf den dafür geeigneten Standorten, als auch eine Ergänzungsmaßnahme gegen auftretende Einzelpflanzen, z. B. nach einer chemischen Regulierung. Für die Herbizidbehandlungen wurde das Herbizid Simplex® mit 2,0 l ha⁻¹ (200 g ha⁻¹ Fluroxypyr + 60 g ha⁻¹ Aminopyralid) und im Vergleich die Präparate Vivendi 600® mit 0,2 l ha⁻¹ oder Lontrel 100® 1,2 l ha⁻¹ (120 g ha⁻¹ Clopyralid) eingesetzt. Für die mechanische Regulierung durch Ausstechen wurde ein Teleskop-Unkrautstecher (Typ Fiskars, SmartFit™) verwendet. Das Ausdunkeln, bzw. die Reduktion der Lichtverfügbarkeit für *J. aquatica* wurde erzeugt, indem auf eine Schnittnutzung in den

Jahren 2017 bis 2019 verzichtet wurde. Die Bestände wurden lediglich vor Vegetationsende zur Pflege gemulcht bzw. im Jahr 2019 geschnitten.

An Daten wurde durch Auszählung auf 20 fest eingemessenen Zählkreisen (je 0,56 m² Fläche) pro Parzelle die Abundanz von *J. aquatica* zweimal während der Vegetationsperiode, im Juli und Oktober, und die Artenvielfalt des Grünlandbestandes im Frühjahr vor dem ersten Schnitt erhoben. Zu Beginn und am Ende der Versuchsperiode wurden Parameter der Futterqualität und die Pyrrolizidinalkaloid (PA) und PA-N-Oxid (PANO)-Gehalte des Aufwuchses durch Laboranalyse bestimmt. Für die Datenauswertung wurde eine verteilungsfreie Statistik als Rangvarianzanalyse nach der Methode Kruskal-Wallis verwendet.

Ergebnisse

Auf vier Standorten, auf denen im Herbst 2017 eine chemische Unkrautregulierung durchgeführt wurde, konnte im Mittel über die Versuchsperiode 2018–2020 eine signifikante Reduktion der Besatzdichte von *J. aquatica* um 48 % (Simplex-Behandlung) bzw. 63 % (Vivendi bzw. Lontrel) gegenüber der Kontrolle erzielt werden. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Herbizidbehandlungen mit Simplex im Vergleich zu Vivendi bzw. Lontrel war nicht gegeben (Abb. 1)

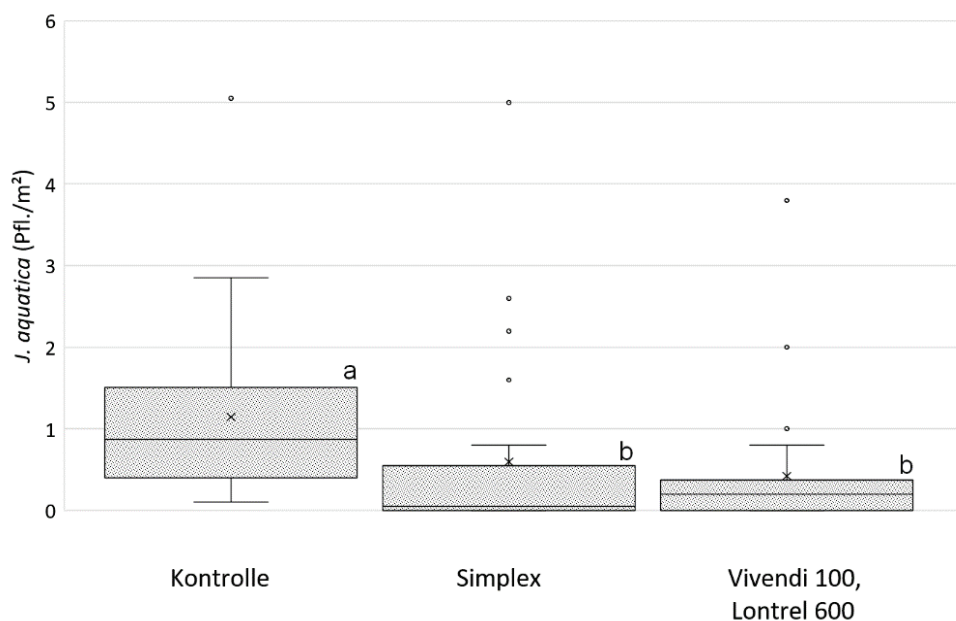


Abbildung 1 Abundanz von *J. aquatica* im Vergleich der unbehandelten Kontrollen und chemischen Regulierungsmaßnahmen in der Versuchsperiode 2018 bis 2020; Mittelwerte je Versuchsort und Erhebungsperiode, Box-Plot-Verteilungscharakteristik und statistische Absicherung Kruskal-Wallis One-Way ANOVA (Multiple Comparisons with t Distribution, 95% t interval; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede).

Figure 1 Abundance of *J. aquatica* compared to untreated controls and chemical regulatory measures in the experimental period 2018 to 2020; Mean values per test site and survey period; box plot distribution characteristics and statistical validation Kruskal-Wallis One-Way ANOVA (Multiple Comparisons with t Distribution, 95% t interval; Different letters denote significant differences).

Die Kernmaßnahme Ausdunkeln wurde ebenfalls auf vier Versuchsstandorten durchgeführt. Während der Ausdunkelungsphase von 2017 bis 2019 wurde auf eine Schnittnutzung in der Vegetationsperiode verzichtet. Im Vergleich der Versuchsorte war der Effekt des Ausdunkelns sehr unterschiedlich (Abb. 2). Am Versuchsort Sulzberg war im Vergleich zur Kontrolle kein Einfluss auf die Abundanz von *J. aquatica* durch Ausdunkeln zu erkennen. In Westerhofen zeigte sich sogar eine gegenläufige Entwicklung. Lediglich am Standort Betzigau ‚hinten‘ kam es durch Ausdunkelung zu einer signifikanten Reduktion der Abundanz von

J. aquatica. Aufgrund der hohen Streubreite der Auszählungen konnte die Reduzierung der Besatzdichte am Versuchsort Betzigau ‚vorne‘ nicht abgesichert werden.

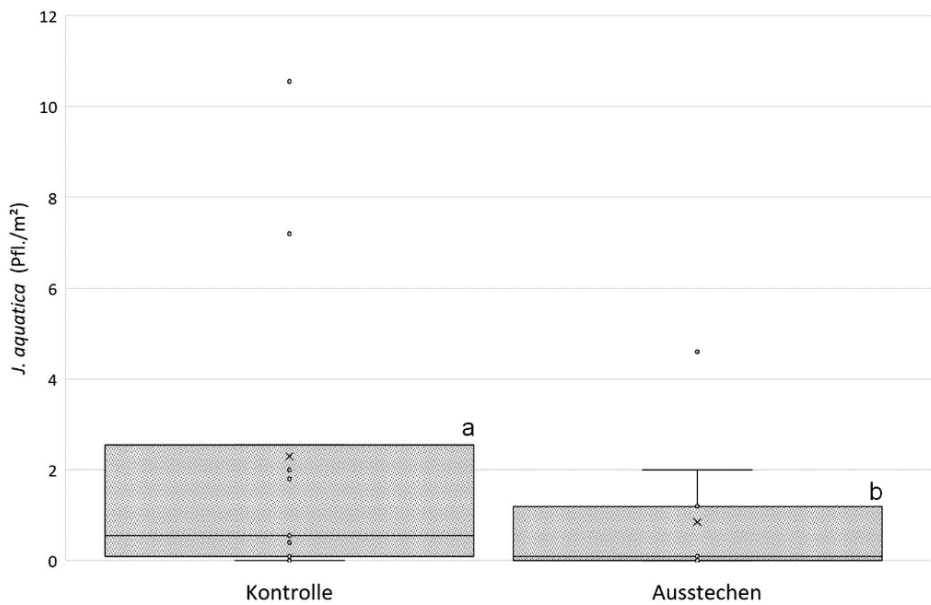


Abbildung 2 Entwicklung der Abundanz von *J. aquatica* durch Ausdunkeln im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollen; Mittelwerte je Versuchsort und die Versuchsperiode 2018 bis 2020 mit statistischer Absicherung Kruskal-Wallis One-Way ANOVA (Multiple Comparisons with t Distribution, 95% t interval; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede).

Figure 2 Evolution of abundance of *J. aquatica* by darkening compared to untreated controls; mean values per test site and survey period; box plot distribution characteristics and statistical validation Kruskal-Wallis One-Way ANOVA (Multiple Comparisons with t Distribution, 95% t interval; Different letters denote significant differences).

Aufgrund der Standortbedingungen bzw. dem niedrigen Besatz mit *J. aquatica* wurde an zwei Versuchsstandorten die mechanische Einzelpflanzenbekämpfung durch Ausstechen als Kernmaßnahme durchgeführt. Hierdurch konnte der Besatz im Mittel über die Versuchsperiode um 63 % im Vergleich zu den Kontrollen verringert werden (Abb. 3).

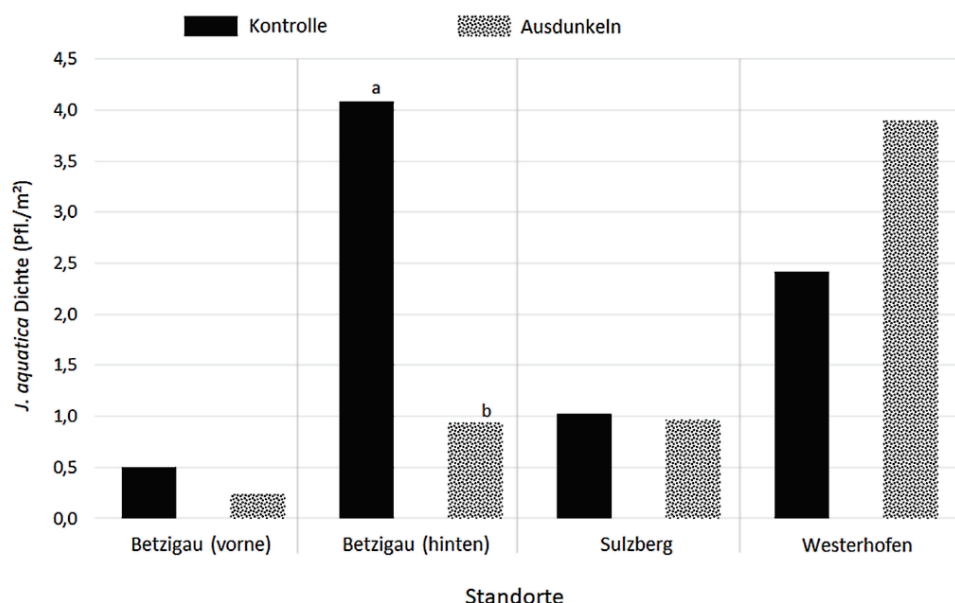


Abbildung 3 Einfluss der mechanischen Regulierung durch Ausstechen auf den Besatz mit *J. aquatica* in der Versuchsperiode 2018 bis 2020; Mittelwerte je Versuchsort und Erhebungsperiode, Box-Plot-Verteilungscharakteristik und statistische Absicherung Kruskal-Wallis One-Way ANOVA (Multiple Comparisons with t Distribution, 95% t interval; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede)

Figure 3 Influence of mechanical regulation by hand removal with deep cutting on the stocking with *J. aquatica* in the experimental period 2018 to 2020; Mean values per test site and survey period, box plot distribution characteristics and statistical validation Kruskal-Wallis One-Way ANOVA (Multiple Comparisons with t Distribution, 95% t interval; Different letters denote significant differences).

Die Untersuchung der Pyrrolizidinalkaloide (PA/PANO-Gehalte) im Grünlandaufwuchs der Jahre 2017, 2018 und 2020 zeigte eine signifikante Reduktion bei den Kernmaßnahmen ‚chemische Regulierung‘ und ‚Ausdunkeln‘. Auf den Versuchsstandorten mit der Maßnahme ‚Ausstechen‘ lagen die Konzentrationen aufgrund der geringen Besatzdichte so niedrig, dass keine Differenzierung gegenüber der Kontrolle festgestellt werden konnte (Abb. 4). Die Untersuchung der Futter-Qualitätsparameter zeigt im Vergleich der Jahre 2017 und 2020 einen generellen Anstieg der Rohfasergehalte und eine Verminderung der Rohprotein- und Energiegehalte. Eine signifikante Differenzierung zwischen den Kontrollen und den einzelnen Managementmaßnahmen war nicht gegeben.

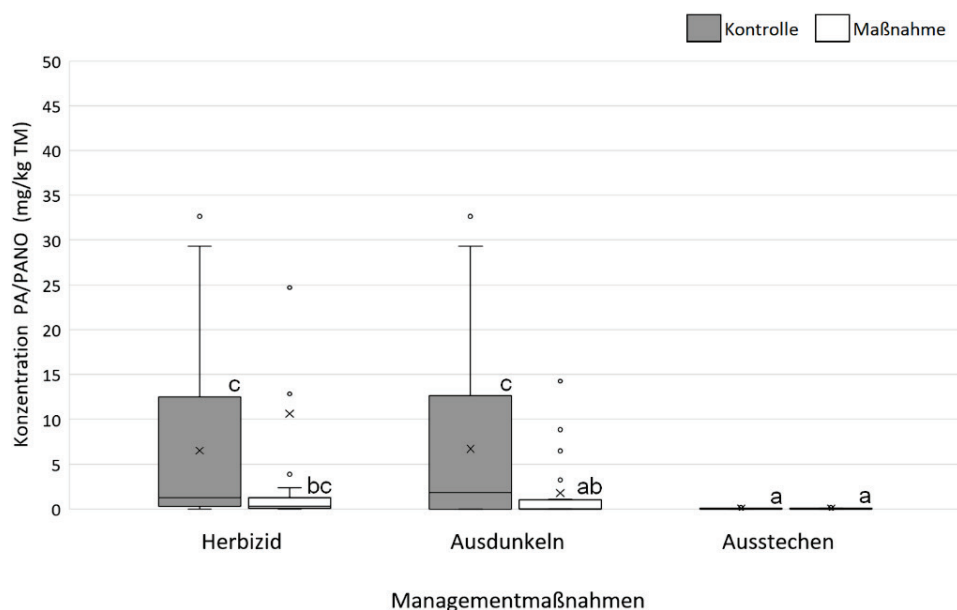


Abbildung 4 Vergleich der PA/PANO-Gehalte zwischen den Kontrollen und den einzelnen Managementmaßnahmen; Ergebnisse der Untersuchungsjahrgänge 2017, 2018 und 2020, Box-Plot-Verteilungscharakteristik und statistische Absicherung Kruskal-Wallis One-Way ANOVA (Multiple Comparisons with t Distribution, 95% t interval; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede)

Figure 4 Comparison of PA/PANO levels between controls and individual management measures; results of the years 2017, 2018 and 2020, box plot distribution characteristics and statistical validation Kruskal-Wallis One-Way ANOVA (Multiple Comparisons with t Distribution, 95% t interval; Different letters denote significant differences).

Die Entwicklung der Anzahl an monokotylen und dikotylen Pflanzenarten in der Versuchsperiode von 2017 bis 2020 wurde nur begrenzt durch die verschiedenen Managementmaßnahmen beeinflusst. Im Mittel der Versuchsperiode traten in den Kontrollflächen $9,8 \pm 2,7$ ($\pm$ SD) gegenüber $9,1 \pm 2,9$ Grasarten in den Maßnahmenflächen auf. Die Anzahl an dikotylen Pflanzenarten bzw. Kräutern lag im Mittel in den Kontrollen bei $18,8 \pm 5,0$, während auf den Maßnahmenflächen $16,0 \pm 4,3$ Kräuter festgestellt wurden. Die Differenz in der Anzahl an Kräutern zwischen der Kontrolle und den Managementmaßnahmen konnte abgesichert werden und geht auf die Wirkung der Maßnahmen mit einer chemischen Regulierung von *J. aquatica* zurück.

Literatur

- BASSLER, G., 2017: Biologische Merkmale von Wasser-Kreuzkraut und Konsequenzen für das Management. In: Deutscher Verband für Landschaftspflege: Kreuzkräuter und Naturschutz. DVL-Schriftenreihe **23** „Landschaft und Lebensraum“, 85–90.
- GEHRING, K., S. THYSSEN, 2016: Regulierungsmöglichkeiten von Wasser-Kreuzkraut (*Senecio aquaticus*) im Dauergrünland. Julius-Kühn-Archiv **452**, 145–153.
- GEHRING, K., H. ALBRECHT, J. DITTON, C. GOTTSCHALK, J. KOLLMANN, G. KUHN, M. LAUMER, L. LINDERL, F. MAYER, L. TEIXEIRA, T. WAGNER, 2021: Effektives Management von Wasser-Kreuzkraut in bayerischem Grünland. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hersg.), Schriftenreihe, 127 S.
- GOTTSCHALK, C., S. RONCZKA, A. PREIß-WEIGERT, J. OSTERTAG, H. KLAFFKE, M. SCHAFFT, M. LAHRSEN-WIEDERHOLT, 2015: Pyrrolizidine alkaloids in natural and experimental grass silages and implications for feed safety. Animal Feed Science and Technology **207**, 253–261.
- ROTH, L., M. DAUNDERER, K. KORMANN, 2012: Giftpflanzen - Pflanzengifte. Nikol, Hamburg, 1122 S.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

SUTER, M., A. LÜSCHER, 2011: Measures for the control of *Senecio aquaticus* in managed grassland. Weed Research **51**, 601–611.

SUTTNER, G., W.W. WEISSER, J. KOLLMANN, 2016: Hat die Problemart *Senecio aquaticus* (Wasser-Greiskraut) im Grünland zugenommen? Auswertung der Biotopkartierungen 1984–1995 und 1999–2013 in Bayern. Natur und Landschaft **91**, 544–552.

WIEDENFELD, H., J. EDGAR, 2011: Toxicity of pyrrolizidine alkaloids to humans and ruminants. Phytochem Rev **10**, 137–151.

Management von Wasser-Greiskraut (*Jacobaea aquatica*) in Wirtschaftsgrünland des ökologischen Landbaus

Management of Marsh Ragwort (Jacobaea aquatica) in organic grassland

Harald Albrecht^{1*}, Julia Ditton¹, Gisbert Kuhn², Johannes Kollmann¹, Marie-Therese Krieger¹, Franziska Mayer², Leonardo H. Teixeira¹, Klaus Gehring³

¹Technische Universität München (TUM), Lehrstuhl für Renaturierungsökologie, 85354 Freising

²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz, 85354 Freising

³Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Pflanzenschutz, 85354 Freising

*Korrespondierender Autor: harald.albrecht@tum.de

DOI: 10.5073/20220117-134458

Zusammenfassung

In Feuchtwiesen des bayerischen Alpenvorlandes kam es in den vergangenen Jahren zur Zunahme des toxischen Wasser-Greiskrauts (*Jacobaea aquatica*). Ein 4-jähriger Parzellenversuch auf sieben verschiedenen Ökobetrieben mit je sechs Varianten sollte zeigen, wie sich unterschiedlich intensive Schnitt-, Düngungs- und Ausstechbehandlungen auf diese Problemart auswirken. Alle Varianten führten zu einem Rückgang der Individuendichte, wobei die Varianten mit 3-maligem Schnitt kurz vor der Blüte und 4-maligem Schnitt mit regelmäßigem Ausstechen wurden die besten Erfolge erzielten. Bei der extensivsten Variante mit Schnitt im Juli und Oktober wurde die Samenproduktion im Hochsommer kaum unterdrückt. Alle Behandlungen führten zu einem Rückgang zweikeimblättriger Arten. Der nur zögerliche Rückgang der Bodensamenvorräte zeigt den Bedarf an standort- und betriebsspezifischen Strategien an, um die langfristige Nutzung der Flächen sicherzustellen.

Stichwörter: Ausstechen, Düngung, Giftpflanze, *Jacobaea aquatica*, Mahd, Regulierung

Abstract

Recently, the toxic Marsh Ragwort (*Jacobaea aquatica*) showed a marked increase in wet grasslands of pre-alpine Bavaria. To test the efficiency of control methods, we established 6 treatments with different combinations of cutting, fertilisation and manual removal in experimental plots on 7 organic farms. All treatments reduced the numbers of *J. aquatica*; 3 times cutting immediately before flowering and 4 times cutting with manual removal performed best. The least intensive treatment with cutting in July and October was less successful, because midsummer seed production was insufficiently prevented. This treatment also reduced the cover of other dicotyledonous species. The slow decline of the seed density in soil indicates the necessity of site-specific strategies to secure long-term grassland usage.

Keywords: Fertilisation, *Jacobaea aquatica*, mechanical removal, mowing, poisonous plant, weed control

Einleitung

In den Feuchtwiesen des bayerischen Alpenvorlandes kam es in den letzten Jahren zu einer deutlichen Zunahme des Wasser-Greiskrauts (*Jacobaea aquatica*; SUTTNER et al., 2016). Da die Art in allen Pflanzenteilen giftige Pyrrolizidinalkaloide (PA) enthält, die bei Nutztieren und Menschen zu Gesundheitsschäden führen (TEUSCHER & LINDEQUIST, 2010), ist diese Entwicklung für die Wirtschaftlichkeit der Grünlandnutzung und die Umwelt problematisch. Insbesondere im ökologischen Landbau sind hier nur wenige Regulierungsoptionen verfügbar. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Effizienz von Behandlungsvarianten mit unterschiedlichem Schnitt-, Düngungs- und Ausstechregime zu testen.

Material und Methoden

Auf sieben Ökobetrieben im bayerischen Allgäu wurde die Wirkung folgender sechs Regulierungsvarianten mit unterschiedlichen Schnitt-, Düngungs- und Ausstechregimen in einem 4-jährigen Parzellenversuch (2017–2020) verglichen:

- 4 Schnitte (Bergung im Mai + August, Mulchen im Juli + Oktober); 60 m³ Gülle
- 4 Schnitte (Bergung im Mai + August, Mulchen im Juli + Oktober); 40 m³ Gülle
- 4 Schnitte (Bergung im Mai, Juli, August, Oktober); 40 m³ Gülle; Praxisreferenz
- 4 Schnitte (Bergung im Mai, Juli, August, Oktober); 40 m³ Gülle; Ausstechen nach jedem Schnitt
- 3 Schnitte (Bergung im Juli, August, Oktober); 40 m³ Gülle
- 2 Schnitte (Bergung im Juli, Oktober); 20 m³ Gülle

Neben der Veränderung der Greiskraut-Dichte und des Bodensamenvorrates wurden auch die Futterqualität und die Veränderung der Artenzusammensetzung des Grünlands analysiert.

Ergebnisse

Ein paarweiser Vergleich der im Mai, Juni, August und Oktober 2017 an den sieben Versuchsorten gezählten Individuendichten mit den Werten aus dem letzten Versuchsjahr 2020 zeigte für alle sechs Behandlungsvarianten einen hochsignifikanten Rückgang der Individuenzahlen von *J. aquatica* ($p < 0,001$). Besonders stark war diese Abnahme in den Varianten mit regelmäßigem Ausstechen bei 4-maligem Schnitt (79 % Reduktion; Abb. 1) und bei 3-maligem Schnitt kurz vor der Blüte (73 % Reduktion). Bei der extensivsten Behandlung mit zwei Schnitten im Juli und Oktober wurde die Blüte im Hochsommer kaum unterdrückt, weshalb die Dichte hier auch nur um 58 % zurückging. Am wenigsten effizient war die Allgäutypische Referenz mit 52 % Rückgang.

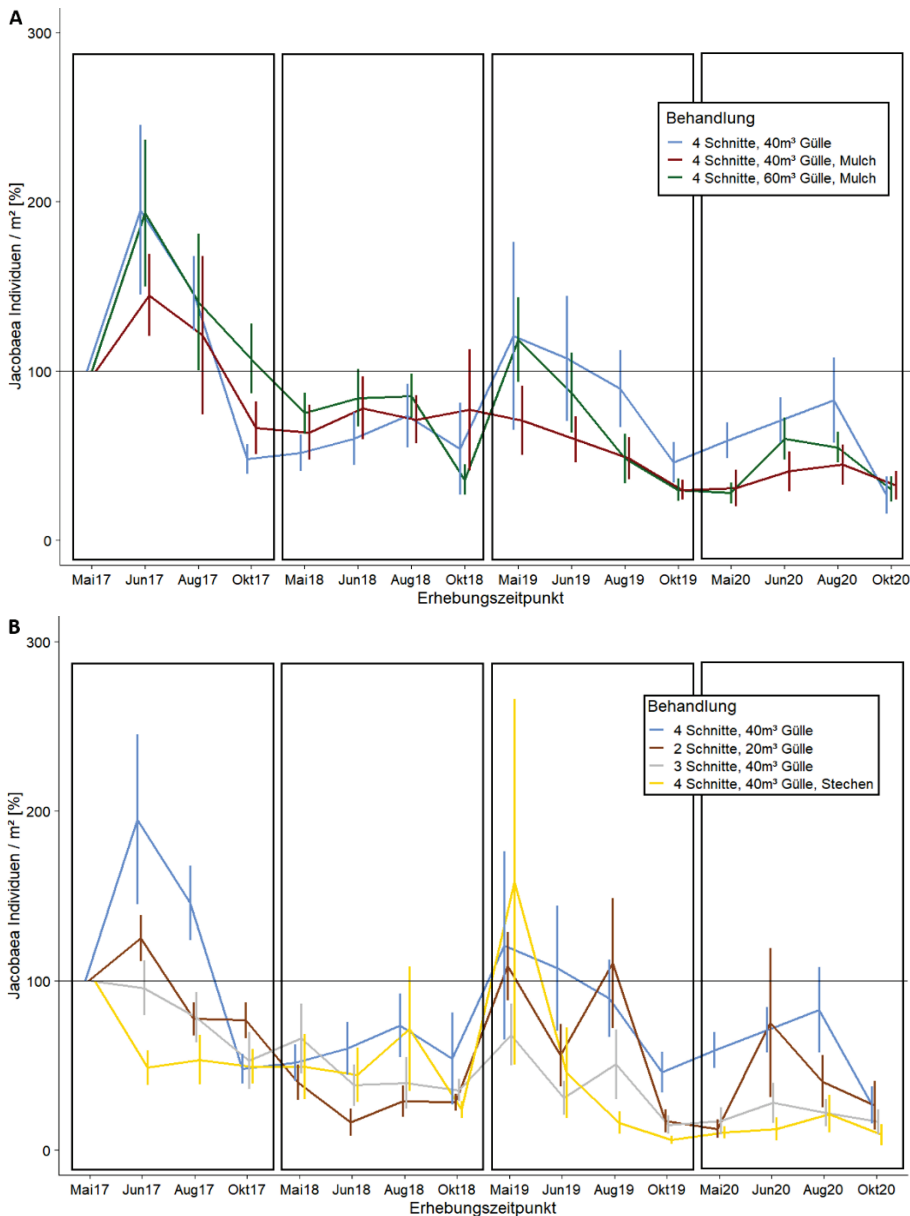


Abbildung 1 Relative Veränderung der Individuenzahlen von *Jacobaea aquatica* von 2017 bis 2020 in den (A) intensiven und (B) extensiven Behandlungsvarianten (Mittelwerte $\pm$ SE). In beiden Grafiken ist die für den Ökolandbau im Gebiet typische Behandlung durch eine blaue Linie dargestellt.

Figure 1 Relative change of vegetative and generative plants of *Jacobaea aquatica* from 2017 to 2020 in (A) intensity and (B) low-intensity treatments (mean values $\pm$ SE). The treatment typical for organic management in the study area is represented by a blue line in both figures.

Vergleicht man die Varianten über die gesamten vier Untersuchungsjahre hinweg untereinander (GLMM), kommt es zu einer Trennung in zwei Gruppen: So lagen die Zwei-, Drei- und die Vierschnittvariante mit Ausstechen signifikant unter den Individuenzahlen der Allgäu-typischen Referenz; zwischen dieser und den beiden anderen Vierschnittvarianten gab es dagegen keinen Unterschied.

Auch beim Vergleich der Bodensamenvorräte von Versuchsbeginn bis zum Anfang des vierten Versuchsjahres kam es in allen Varianten zu einem zahlenmäßigen Rückgang (Abb. 2). Durch die kleine Zahl an Wiederholungen (sieben Versuchsbetriebe) waren diese Veränderungen nicht immer signifikant. Am höchsten war der Rückgang in der gemulchten Vierschnittvariante mit 40 m³ Gülle (82 % Rückgang), beim „Ausstechen“ (73 %) und bei Allgäu-typischer Behandlung (72 %). Wenig verändert hatte sich der Bodensamenvorrat in der zweischürigen Variante (24 %).

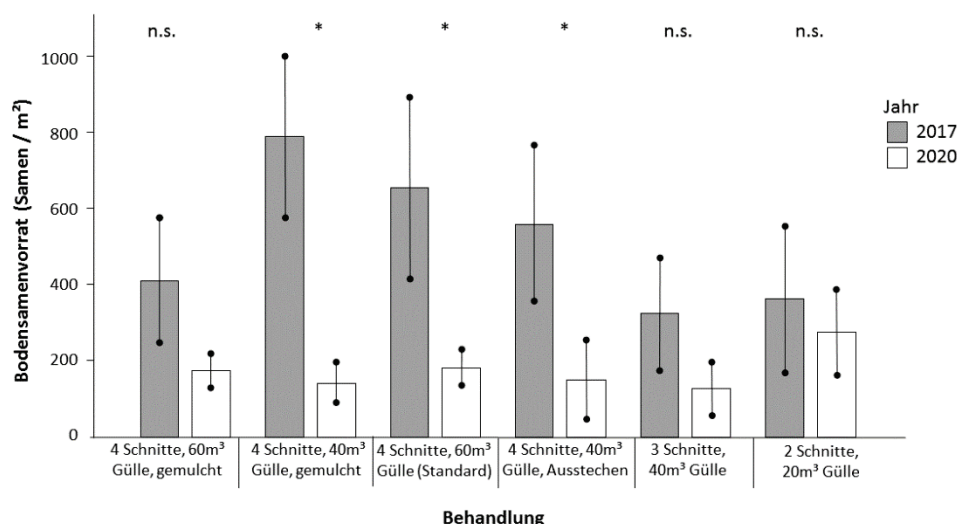


Abbildung 2 Vergleich des Bodensamenvorrates von *Jacobaea aquatica* im Frühjahr 2017 und Frühjahr 2020 (Mittelwerte $\pm$ SE). 2-seitiger Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test für Paardifferenzen (*: $p < 0,05$).

Figure 2 Comparison of the soil seed banks of *Jacobaea aquatica* in spring 2017 and spring 2020 (mean values $\pm$ SE). Two-tailed Wilcoxon signed-rank test for paired samples (*: $p < 0,05$).

Außer der Zweischnittvariante, die zum Rückgang des Rohprotein- und Energiegehaltes führte, hatte keine Behandlung signifikanten Einfluss auf den Futterwert. Mit der Reduktion von *J. aquatica* nahm in allen Varianten auch der Deckungsanteil dikotyler Arten ab.

Diskussion

Das wichtigste Ergebnis der Untersuchung war, dass alle Behandlungsvarianten im Bestand zu einem signifikanten Rückgang des *J. aquatica*-Besatzes führten ($p < 0,001$). Maßnahmen wie gezielte Mahd oder Ausstechen können also eine deutliche Reduktion von *J. aquatica* bewirken. Allerdings führte innerhalb von 4 Jahren keine der geprüften Varianten zum Verschwinden der Problemart. Insgesamt lagen die mittleren Individuendichten mit 6,2 im Jahr 2017 bzw. 4,6 Pflanzen m^{-2} im Jahr 2020 weit unter den von SUTER & LÜSCHER (2011) und BASSLER et al. (2017) beschriebenen Werten. Die Probeflächen waren somit nur mäßig belastet. Trotzdem hatte auch hier die Art der Bewirtschaftung signifikanten Einfluss auf die Individuendichten. Als besonders effizient erwies sich die 3schürige Variante mit Schnitten jeweils kurz vor den Hauptblühphasen im Juli, August und Oktober (Rückgang der Individuendichte $> 70\%$). Ähnliche Ergebnisse erzielten auch BASSLER et al. (2016) mit dieser Methode. Noch erfolgreicher war das Ausstechen von *J. aquatica* nach jedem Schnitt: Hier waren im vierten Behandlungsjahr kaum noch Pflanzen zu finden. Dies bestätigen auch GEHRING & THYSEN (2016), die Ausstechen als wirksamste Regulierungsmethode gegen *J. aquatica* einstufen. Die Samenbankanalysen zeigten allerdings, dass sich der Samenvorrat im Boden langsamer verändert als die Individuenzahlen im Bestand. Für die landwirtschaftliche Praxis bedeutet dies, dass die Problemart auch bei erfolgreicher Regulierung nur langsam zurückgeht und kaum mit einem endgültigen Verschwinden der Populationen zu rechnen ist. Unter den hier getesteten Regulierungsmaßnahmen waren eine Mahd, die das Blühen und Aussamen von Wasser-Greiskraut verhindert, und das konsequente Ausstechen besonders effektiv. In der Literatur wird zudem auch das „Ausdunkeln“, also der komplette Mahdverzicht ggf. in Kombination mit einer herbstlichen Spätmahd als effektive Regulierungsmethode für extensive Grünlandstandorte beschrieben (GEHRING & THYSEN, 2016, KRIEGER et al., 2020). Für die Praxis bedeuten alle 3 Methoden entweder eine erhebliche Beeinträchtigung der Futtererträge oder – beim Ausstechen – erhöhten Arbeitsaufwand. In der Zweischnittvariante zeigte sich zudem, dass bei einer reduzierten Nutzungsfrequenz auch mit einem Rückgang der Rohprotein- und Energiegehalte zu rechnen ist, was die Verwendungsmöglichkeiten als Tierfutter stark einschränkt. Generell

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
führte eine erfolgreiche Reduktion von *J. aquatica* auch zum Rückgang dikotyler Arten, was aus naturschutzfachlicher Sicht negativ zu bewerten ist.

Die Ergebnisse der Studie legen nahe, dass es je nach Befall, betrieblicher Situation und naturschutzfachlichen Gegebenheiten spezifischer, an Standort und Betrieb angepasster Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen bedarf, um die Bestandsentwicklung von *J. aquatica* langfristig unter einer Schadensschwelle zu halten.

Danksagung

Für die Projektträgerschaft und die freundliche Unterstützung danken wir dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Dank gilt auch den Beratern und Landwirten sowie dem technischen Personal und den wissenschaftlichen Mitarbeitern von TUM und LfL, die wesentlich zum Projekt beigetragen haben.

Literatur

- BASSLER, G., G. KARRER, M. KRIECHBAUM, 2016: The impact of different cutting regimes on population density of *Jacobaea aquatica* (Hill) G. GAERTN., B. MEY. & SCHERB. and grassland vegetation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **226**, 18–24.
- BASSLER, G., 2017: Biologische Merkmale von Wasser-Kreuzkraut und Konsequenzen für das Management. In: Deutscher Verband für Landschaftspflege: Kreuzkräuter und Naturschutz. DVL-Schriftenreihe **23** „Landschaft und Lebensraum“, 85–90.
- GEHRING, K., S. THYSSEN, 2016: Regulierungsmöglichkeiten von Wasser-Kreuzkraut (*Senecio aquaticus*) im Dauergrünland. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 145–153.
- KRIEGER, M.-T., J. KOLLMANN, H. ALBRECHT, 2020: Regulierung von Wasser-Greiskraut in naturschutzfachlich wertvollem Grünland. *Naturschutz-Info* 1/2020 + 2/2020: 73–75. URL: <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10180>.
- SUTER, M., A. LÜSCHER, 2011: Measures for the control of *Senecio aquaticus* in managed grassland. *Weed Research* **51**, 601–611.
- SUTTNER, G., W.W. WEISSER, J. KOLLMANN, 2016: Hat die Problemart *Senecio aquaticus* (Wasser-Greiskraut) im Grünland zugenommen? Auswertung der Biotopkartierungen 1984–1995 und 1999–2013 in Bayern. *Natur und Landschaft* **91**, 544–552.
- TEUSCHER, E., U. LINDEQUIST, 2010: Biogene Gifte: Biologie-Chemie-Pharmakologie-Toxikologie. 3. Aufl. Stuttgart, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Wasser-Greiskraut (*Jacobaea aquatica*) und landschaftlichen sowie landwirtschaftlichen Faktoren in Bayern

*Relationship between the occurrence of marsh ragwort (*Jacobaea aquatica*) and factors of landscape and farming in Bavaria (Germany)*

Gisbert Kuhn^{1*}, Franziska Mayer¹, Thomas Wagner², Marie-Therese Krieger², Michael Laumer¹, Julia Ditton², Harald Albrecht², Johannes Kollmann², Klaus Gehring³

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz, 85354 Freising

²Technische Universität München (TUM), Lehrstuhl für Renaturierungsökologie, 85354 Freising

³Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Pflanzenschutz, 85354 Freising

*Gisbert.Kuhn@LfL.bayern.de

DOI: 10.5073/20220117-134915

Zusammenfassung

In einem vierjährigen Forschungsprojekt wurden 238 Wiesen und Weiden von 114 landwirtschaftlichen Betrieben im bayerischen Alpenvorland sowie in der Oberpfalz vegetationskundlich untersucht. Mit den Betriebsleitern von 103 dieser Betriebe wurden Befragungen zur landwirtschaftlichen Nutzung der Grünlandflächen durchgeführt. Um das Risiko für das Vorkommen von *J. aquatica* in Bayern einzuschätzen, wurde ein Habitat Suitability Model erstellt, das die aktuellen Vorkommen der Art auf Standortmerkmale (Wasser- und Bodenverhältnisse) und die aktuelle Bewirtschaftung zurückführt.

Die Modellierung zeigte, dass das Auftreten von *J. aquatica* mit dem Vorkommen grund- und stauwasserbeeinflusster Böden korreliert ist. Ein weiterer wichtiger Faktor ist eine Niederschlagssumme im Zeitraum Juni–August von >380 mm. Bei Eintreffen beider Kriterien besteht in Bayern vor allem im westlichen Alpenvorland (Allgäu und westliches Oberbayern) ein hohes Risiko für das Vorkommen der Problemart. Auf Grünlandflächen, die wegen Nässe nur bedingt befahrbar sind, auf ebenen Schlägen oder solchen mit geringer Distanz zu einem Moor ist *J. aquatica* häufiger zu finden. Dagegen waren die Zusammenhänge mit der landwirtschaftlichen Nutzung deutlich schwächer. Der stärkere Befall von nassen Flächen mit Narbenschäden deutete darauf hin, dass eine unangepasste Bewirtschaftung, die offene Bodenstellen verursacht, das Vorkommen von Wasser-Greiskraut fördert. So könnte die in den vergangenen Jahrzehnten erhöhte Mahdfrequenz auf Feucht- und Nasswiesen die Zunahme der Art begünstigt haben.

Stichwörter: Bodentyp, historische Bewirtschaftung, Mahd, Moor, Niederschlag, Wasser-Greiskraut

Abstract

A 4-year research project investigated the vegetation of 238 meadows and pastures within 114 farms in the Bavarian Prealps and in Upper Palatinate. The management of these grasslands was discussed with 103 farmers. A Habitat Suitability Model was developed to analyse the probability of establishment of *J. aquatica* in Bavaria, based on site factors (soil and water characteristics) and current management.

Modelling showed that the presence of *J. aquatica* was positively correlated with moist or wet soils. Another important factor was precipitation >380 mm in June–August. Both factors coincided in the western prealps, i.e. Allgäu and western Upper Bavaria), where the species was rather common. In sites that were difficult to reach due to moist soil, on level terrain, and close to peatlands *J. aquatica* was more common. On the other hand, there were few significant correlations of presence of the species and type of agricultural management. However, the species was more frequent on wet sites with disturbed grassland sward, most likely because inappropriate management caused open soil where establishment of the

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
species was facilitated. Thus, increased mowing frequency of moist and wet grasslands could have caused higher abundance of *J. aquatica*.

Keywords: Marsh ragwort, mowing, peatland, precipitation, soil type, traditional management

Einleitung

Das Wasser-Greiskraut (*Jacobaea aquatica*) bereitet der bayerischen Grünlandwirtschaft große Probleme: zum einen, weil es Pyrrolizidin-Alkaloide enthält, die für Mensch und Tier giftig sind (LEISS, 2011), zum anderen, weil es sich möglicherweise noch weiter ausbreitet (SUTTNER et al., 2016).

Es ist wahrscheinlich, dass neben den in der bisherigen Literatur genannten Untersuchungen zu den direkten Einflussfaktoren im populationsökologischen Bereich (z.B. Auswirkungen von verschiedenen Bewirtschaftungsmaßnahmen, die sich auf die Nährstoff- oder Lichtverhältnisse auswirken) auch Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen auf landschaftlicher Ebene das Vorkommen der Art begrenzen oder fördern. Diesen Bedingungen soll hier nachgegangen werden, indem auf einer großen Anzahl von Grünlandflächen und landwirtschaftlichen Betrieben in Bayern wichtige Einflussfaktoren zum Vorkommen von *J. aquatica* untersucht werden.

In engem Zusammenhang mit den landschaftlichen Faktoren steht die Zeitachse: Inwiefern haben historische Bewirtschaftungsformen und -änderungen zur starken Ausbreitung der Problemart beigetragen? Eine Hypothese, die oft genannt wird und für uns auch plausibel ist, lautet: Flächen, die in der Vergangenheit einem starken Bewirtschaftungswechsel unterlagen, sind stärker gefährdet (z.B. SUTER & LÜSCHER, 2008).

Mit den hier vorgestellten Untersuchungsergebnissen soll ein Beitrag zum Verständnis der Biologie und Ökologie der Pflanzenart und der historischen Entwicklung der Ausbreitung und damit letzten Endes zu einer umfassenden Bekämpfungsstrategie geleistet werden.

Material und Methoden

Auswahl der Untersuchungsflächen

Für die Untersuchungen wurden zunächst landwirtschaftliche Betriebe mit Grünlandflächen mit *J. aquatica*-Befall auf freiwilliger Basis gesucht.

Die Flächenrecherche wurde hauptsächlich in den Gebieten Allgäu und westliches Oberbayern durchgeführt, da dort schon seit Jahren großes Interesse an der Problematik besteht. Entscheidend für die Aufnahme in das Projekt war, dass zumindest auf einer Fläche des Betriebs ein nennenswerter *J. aquatica*-Befall vorherrschte.

Nach Möglichkeit wurde mindestens eine weitere Betriebsfläche, die sich laut Auskunft des Landwirts im *J. aquatica*-Befall deutlich unterscheiden sollte, aber nicht weit entfernt lag, für einen Vergleich in die Untersuchungen einbezogen.

So konnten insgesamt 114 landwirtschaftliche Betriebe für das Projekt gewonnen werden: 75 nur mit befallenen Flächen und 30 mit sowohl befallenen als auch nicht kontaminierten Flächen. Weitere neun Betriebe mit ausschließlich *J. aquatica*-freien Flächen wurden aufgenommen, um die Anzahl an Vergleichsflächen zu erhöhen. Insgesamt wurden somit 238 Wiesen und Weiden untersucht. Über die Hälfte der Untersuchungsflächen lagen im bayerischen Regierungsbezirk Schwaben und etwa ein Viertel im westlichen Oberbayern. Eine deutlich niedrigere Zahl an Untersuchungsflächen lag in der Oberpfalz und nur einzelne befanden sich in Niederbayern.

Geländeerhebungen

Die Geländeerhebungen wurden von zwei Bearbeitern im Zeitraum Juli–November 2017 durchgeführt. Die Daten wurden unter Verwendung eines standardisierten Aufnahmebogens erhoben. In den Grünlandschlägen wurden zunächst zwei möglichst lange Diagonalen über die gemeldete Grünland-Fläche in einen Kartenausschnitt eingezeichnet. Die relevanten Daten wurden entlang dieser Transekte auf einer Transekt-Breite von ca. 5 m erfasst. Wenn innerhalb des Schlages deutliche Unterschiede sichtbar wurden, wurde er in Teilflächen unterteilt, die jede für sich kartiert wurden.

Es wurden Daten zu folgenden Bereichen erhoben: Vegetationstyp, Indikatorarten, Lückigkeit des Bestandes, Hangneigung (alles nach vorgegebenen Klassen/Listen, mit einer schriftlichen Kartieranleitung). Der Befall mit *J. aquatica* wurde in sechs Befallsklassen in Anlehnung an BERGHOFER (2017) geschätzt.

Betriebsbefragungen

In den Wintermonaten von Ende 2017 bis Anfang 2019 wurden die teilnehmenden Landwirte besucht und in einem Interview zu ihrem Betrieb und den untersuchten Flächen befragt. Dazu wurde im Vorfeld ein standardisierter Fragebogen für ein Einzelgespräch konzipiert. Abgefragt wurden allgemeine Betriebskennzahlen und -ausrichtung, Ernte-/Düngetechnik im Grünland, die Bewirtschaftungsform (Wiese, Weide, Streunutzung, Kombinationen), im Betrieb umgesetzte Agrarumweltmaßnahmen, regelmäßige Grünlandpflegemaßnahmen, Nutzungs- und Düngeregime auf den aufgenommenen Flächen, deren Nässezustand und Informationen zu eventuell vorhandenen Drainage- und Grabensystemen sowie Angaben zum *J. aquatica*-Befall. Zu jedem Punkt wurden – sofern bekannt – Veränderungen in der Vergangenheit z.B. in der Bewirtschaftungsintensität (Nutzungshäufigkeit, Düngung) mit dokumentiert. Von den 114 Betrieben nahmen 103 an der Befragung teil, sodass als Gesamtdatensatz 103 Betriebe mit 218 Grünland-Schläge bzw. 389 Teilflächen dieser Schläge für die Auswertung der Betriebsbefragung zur Verfügung standen. Auf 241 dieser Teilflächen war *J. aquatica* vorhanden, auf 148 nicht.

Daten aus dem bayerischen Grünlandmonitoring

Zusätzlich zu den hier erhobenen Daten wurden Daten aus dem Grünlandmonitoring Bayern (https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/gruendlandmonitorin-bayern-evaluierung_lfl-schriftenreihe.pdf) in die Auswertungen mit einbezogen, um die Datengrundlage zu erweitern. Das Grünlandmonitoring Bayern beinhaltet über 6000 Vegetationsaufnahmen aus den Jahren 2002–2008 im bayerischem Wirtschaftsgrünland. Diesen Flächen wurden zahlreiche Zusatzinformationen aus den INVEKOS-Daten zugeordnet.

Risiko-Modellierung

Um das Befallsrisiko von Grünlandflächen zu modellieren, wurde ein Habitat Suitability Model erstellt (ELITH & LEATHWICK, 2009). Dieses verbindet aktuelle Vorkommen von *J. aquatica* mit Standortmerkmalen (v.a. Wasser- und Bodenverhältnisse) und Merkmalen der Bewirtschaftung. Quellen für die Vorkommens-Nachweise von *J. aquatica* waren Geländedaten aus dem Projekt sowie Daten aus der bayerischen Biotop- und Artenschutzkartierung (<https://www.lfu.bayern.de/gdi/dls/biotopkartierung.xml>), - insgesamt 296 Einzel-Vorkommen.

Als standörtliche Prädiktoren für das Habitat Suitability Model wurden verschiedene klimatische Faktoren und der vorherrschende Bodentyp herangezogen (Quellen: Deutscher Wetterdienst, Bayerisches Landesamt für Umwelt; https://www.lfu.bayern.de/boden/karten_daten/index.htm).

Die Bewirtschaftungsdaten stammen aus den mit den Landwirten geführten Interviews. Als Prädiktoren dienten hierzu Nutzungsart (Weide, Mähweide, Wiese, Streuwiese, ungenutzt), Nutzungsintensität (Anzahl

der jeweiligen Nutzungen pro Jahr), Nachbeweidung (ja/nein), Düngung (mineralisch, Mist, Gülle), das Vorhandensein von Bodenstörungen (Fahrzeugspuren, Viehtritt, andere) sowie die Belegung von Agrarumweltmaßnahmen.

Als Maß für die Vorhersagekraft der Modellierung wird 'area under the curve' (AUC) verwendet. Dieser Parameter beschreibt das Verhältnis zwischen richtiger und falscher Vorhersage. Das optimale Ergebnis lautet '1'; wenn kein Unterschied zu einer zufälligen Zuordnung besteht, lautet es '0,5'.

Ergebnisse

1. Standortanalyse

Das Habitat Suitability Model besitzt mit einem AUC-Wert von 0,98 eine hohe Vorhersagekraft, da die echten Absenzen/Präsenzen von *J. aquatica* mit 95 % richtig vorhergesagt werden konnten. Zudem liefert das Modell Informationen über den Einfluss der jeweiligen Prädiktoren auf das Vorkommen von *J. aquatica*. Hier zeigen sich in erster Linie Bodentyp und Sommerniederschlag als entscheidende Faktoren. Vor allem grundwasserbeeinflusste und staunasse Böden (Gleye, Niedermoores, lehmige und mehr oder weniger humose Talsedimente, Pseudogleye) und eine Niederschlagssumme im Zeitraum Juni–August von >380 mm sind zuverlässige Prädiktoren für das Vorkommen der Zielart.

Auch ein logistisches Regressionsmodell zeigte signifikante Einflüsse von Flächenparametern, die nasse Bedingungen indizieren: Auf Grünlandflächen, die wegen Nässe nur bedingt befahrbar waren (bekannt aus Interview-Daten), auf ebenen Schlägen oder solchen mit geringer Distanz zu einem Moor (s.u.) war *J. aquatica* häufiger zu finden als auf Flächen ohne diese Eigenschaften.

Als weiterer, komplexer Faktorenbereich deutet sich an, dass *J. aquatica* nicht nur nasse und organische Böden direkt als Standort bevorzugt. Die Art siedelt auch häufig in der näheren Umgebung von Mooren. DÖRR & LIPPERT (2004) nennen explizit 'am Rande von Mooren' als typisches Habitat.

Die Entfernung zum nächstgelegenen Moor stellte sich im Datensatz 'Grünlandmonitoring Bayern' als signifikanter Einflussfaktor für die Präsenz von *J. aquatica* heraus (Tab. 1).

Tabelle 1 Mittlere Entfernung von Grünlandbeständen in ganz Bayern mit und ohne *Jacobaea aquatica* zum nächsten Moor ($p < 0,05$); Quellen: Grünlandmonitoring Bayern und Moorkarte vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (<https://www.lfu.bayern.de/natur/moore/moorbodenkarte/index.htm>)

Table 1 Mean distance of grassland with or without *Jacobaea aquatica* to the nearest peatland in Bavaria ($p < 0.05$); Source: Bavarian Grassland Monitoring, peatland map of Bayerisches Landesamt für Umwelt (<https://www.lfu.bayern.de/natur/moore/moorbodenkarte/index.htm>)

	Flächen mit <i>J. aquatica</i>	Flächen ohne <i>J. aquatica</i>
Anzahl	60	6048
Minimum (km)	0	0
Maximum (km)	14,75	46,92
Mittelwert (km)	1,81	4,64

Es ist davon auszugehen, dass *J. aquatica* schon vor der Intensivierungswelle im 20. Jahrhundert im westlichen Alpenvorland in vielen Einzelflächen vorhanden war, da es sehr viele Streu-, Feucht- Nass- und Mooswiesen gab (s. auch SEBALD et al., 1999, die das gleiche für das westlich anschließende württembergische Allgäu angeben).

2. Einfluss der aktuellen Bewirtschaftung

Der durchschnittliche AUC-Wert bei der Risiko-Modellierung der verschiedenen Prädiktoren lag bei 0.47. Keine der geprüften Variablen zeigte einen Zusammenhang mit dem Auftreten von *J. aquatica*. Im

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
logistischen Regressionsmodell konnten schwache Zusammenhänge gefunden werden, die allerdings nicht signifikant waren:

Wenn man die Anteile der verschiedenen Befallsstufen (A–F) mit den unterschiedlichen Nutzungshäufigkeiten von Feuchtwiesen in Beziehung setzt, ist zu erkennen, dass der Befall mit der Nutzungshäufigkeit zunimmt: Bei ein- bis zweimaliger Nutzung waren 45 % der Flächen frei von *J. aquatica*, bei mindestens drei Schnitten waren es nur noch 12 %; ein ähnliches Ergebnis berichtet BERGHOFER (2017). Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass sich auch Bodenverletzungen auf den Befall mit *J. aquatica* auswirken: So waren Flächen mit Fahrspuren oder Viehtrittschäden häufiger und stärker befallen als Flächen ohne Schäden. Das Befahren mit schweren Geräten oder der Tritt von Tieren verursachen nicht nur Narbenschäden und damit offene Bodenstellen, sondern auch eine Verdichtung des Bodens. Die dadurch erschwerte Wasserversickerung schafft wiederum kleinräumig staunasse Bedingungen. BERGHOFER (2017) befand ebenfalls, dass Bodenschäden und Lücken *J. aquatica* fördern.

STROBEL & HÖLZEL (1994) sind der Meinung, dass "der Einsatz schwerer Technik auf den von Natur aus zur Verdichtung neigenden Feuchtwiesen-Böden Arten fördert, die Stau- und Haftnässe, Oberbodenverdichtung und -austrocknung weitgehend tolerieren" (S. 129). Das Wasser-Greiskraut dürfte zu diesen Arten gehören (OBERDORFER, 1994).

3. Einfluss der Grünlandnutzung in den vergangenen Jahrzehnten

Die Schnitzzahl in Feucht- und Nasswiesen wurde seit einigen Jahrzehnten erhöht. Während solche Wiesen früher ein- bis zweimal pro Jahr gemäht wurden, geschieht dies heute im Durchschnitt deutlich häufiger (STROBEL & HÖLZEL, 1994). Das zeigen auch unsere Untersuchungen, bei denen die Schnitzzahlen bei 2–6x lagen. 66% der untersuchten Grünlandflächen werden öfter als zweimal gemäht. Es ist zu vermuten, dass die Grünland-Intensivierung ab den 1950er Jahren wesentlich zum vermehrten Auftreten von *J. aquatica* beigetragen hat (SEBALD et al., 1999).

Der Grund für die Begünstigung von *J. aquatica* durch eine höhere Schnittfrequenz kann darin liegen, dass die niedrigwüchsige Art von stärkerem Lichteinfall bei mehrfachem Mähen profitiert. Unter anderem wegen der dem Boden anliegenden Rosettenblätter können die Pflanzen nach dem Schnitt schnell aufwachsen und schon nach 14 Tagen wieder fruchten (SUTER et al., 2008).

Außerdem führt mehrmaliges Mähen zu vermehrter Befahrung (heutzutage mit schwereren Maschinen) und damit zu stärkerer Bodenverdichtung. Gerade im Feuchtgrünland kommt es zu mehr Narbenverletzungen, was wiederum günstig für *J. aquatica* ist, weil es Fehlstellen effektiv besiedeln kann. Weiterhin könnte die Entwässerung von Niedermoorböden *J. aquatica* begünstigt haben, indem bei der darauffolgenden Torfmineralisierung große Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff freigesetzt sind (STROBEL & HÖLZEL, 1994). Die Art ist anerkannter Weise stickstofftolerant, wahrscheinlich toleranter als viele andere Pflanzenarten der extensiv genutzten Feuchtgrünländer. Natürlich wirken auch Düngergaben seitens der Landwirte in diese Richtung, wenn sie größer sind als diejenigen vor der Intensivierung.

Ausblick

Es kristallisiert sich heraus, dass aufgrund der guten Wasserversorgung (über Niederschläge und entsprechende Böden) gerade das Allgäu viele Flächen aufweist, die als Lebensraum für *J. aquatica* optimal geeignet sind. Dass aus diesen Vorkommen Massenbestände wurden, könnte in großem Maß durch die Intensivierungswelle im letzten Jahrhundert ausgelöst worden sein.

Dies legt nahe, dass der zentrale Baustein zur Reduzierung der Wasser-Greiskraut-Bestände darin liegt, diese frühere Entwicklung rückgängig zu machen, also die Bewirtschaftungs-Intensität wieder zu reduzieren. Das kann aber auch bedeuten, dass die Nutzungsart geändert werden muss (z.B. von der

Futterwiese zurück zur Streuwiese), bis hin zur Nutzungsaufgabe in den nassesten oder moornahen Bereichen eines Feldstücks. Die Wasser-Greiskraut-Regulierung sollte neben der Futterproduktion ein eigenständiges Bewirtschaftungsziel der jeweiligen Fläche sein (BASSLER, 2017), der verminderte Futterertrag sollte dem Wohl des gesamten Betriebes untergeordnet werden.

GEHRING et al. (2021) legen aus den Erfahrungen des vorliegenden Projektes heraus ein umfassendes Konzept zur Bekämpfung vor, das z.B. auch Überlegungen zur Vor- und Nachsorge sowie zur Beobachtung/Schadensdokumentation durch den Landwirt enthält.

Danksagung

Für die Finanzierung danken wir dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Ohne die Unterstützung durch Berater und Landwirte wäre das Projekt nicht denkbar gewesen. Dank gilt auch dem technischen Personal aus TUM und LfL.

Literatur

- BASSLER, G., 2017: Biologische Merkmale von Wasser-Kreuzkraut und Konsequenzen für das Management. Deutscher Verband für Landschaftspflege: Kreuzkräuter und Naturschutz; Tagungsband der internationalen Fachtagung in Göttingen 2017. DVL-Schriftenreihe **23** „Landschaft und Lebensraum“, 85–90.
- BERGHOFER, M., 2017: Einfluss der Nutzung auf das Vorkommen des Wasserkreuzkrauts (*Senecio aquaticus* Hill.) in landwirtschaftlichen Flächen im Landkreis Garmisch- Partenkirchen. ANLiegen Natur **39**(1), online preview, Sp., Laufen; www.anl.bayern.de/publikationen.
- DÖRR, E., W. LIPPERT, 2004: Flora des Allgäus und seiner Umgebung. Eching, IHW-Verlag.
- ELITH, J., J.R. LEATHWICK, 2009: Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics **40**, 677–697.
- GEHRING, K., H. ALBRECHT, F. MAYER, J. DITTON, M. LAUMER, T. WAGNER, L. TEXEIRA, L. LINDERL, G. KUHN, J. KOLLMANN, C. GOTTSCHALK, 2021: Effektives Management von Wasser-Kreuzkraut in bayerischem Grünland. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, 127 p.
- LEISS, K.A., 2011: Management practices for control of ragwort species. Phytochemistry Reviews **10**, 153–163.
- OBERDORFER, E., 1994: Pflanzensoziologische Exkursionsflora. Stuttgart, Ulmer-Verlag, 7. Aufl. 1050 p.
- SEBALD, O., S. SEIBOLD, G. PHILIPPI, 1999: Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Stuttgart, Ulmer Verlag.
- STROBEL, C., N. HÖLZEL, 1994: Landschaftspflegekonzept Bayern, Band II.6. Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. München, 204 p.
- SUTER, M., A. LÜSCHER, 2008: Occurrence of *Senecio aquaticus* in relation to grasslandmanagement. Applied Vegetation Science **11**, 317–324.
- SUTTNER, G., W.W. WEISSER, J. KOLLMANN, 2016: Hat die Problemart *Senecio aquaticus* (Wasser-Greiskraut) im Grünland zugenommen? Auswertung der Biotopkartierungen 1984-1995 und 1999-2013 in Bayern. Natur und Landschaft **91**, 544–552.

Mehrjährige Schwarzbrache: Eine geeignete Methode zur Erdmandelgras-Bekämpfung

Several years of fallow: an appropriate method for yellow nutsedge control

Judith Wirth^{1*}, Marco Willi², Martina Keller³

¹Agroscope Changins, Produktionssysteme Pflanzen, Herbologie Ackerbau, 1260 Nyon, Schweiz

²Diplomstudent Agrotechniker HF, LBBZ Schluechthof, 6330 Cham, Schweiz

³Agroscope Wädenswil, Pflanzen und pflanzliche Produkte, Extension Gemüsebau, 8820 Wädenswil, Schweiz

*judith.wirth@agroscope.admin.ch

DOI: 10.5073/20220117-135135

Zusammenfassung

Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) stellt ein großes Problem im Schweizer Gemüse- und Ackerbau dar. Mit dem Ziel, stark verseuchte Flächen zu sanieren, wurden an vier Standorten 3-jährige Schwarzbrache Streifenversuche (2018 bis 2020) auf landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt. Dabei wurden vier Versuchsvarianten verglichen: A. Wiederholte Bodenbearbeitung (BB), B. Wiederholte BB + einmalige Einarbeitung von Dual Gold (2 l/ha), C. Wiederholte BB + einmalige Anwendung von Equip Power (1,5 l/ha), D. Wiederholte BB + einmalige Anwendung von Monitor (25 g/ha). Die Landwirte konnten selbst auswählen, welche Geräte sie zur BB verwenden. Zur Bewertung der Wirkung wurden die Knöllchenzahlen pro Liter Erde zu Beginn des Versuchs (Ende 2017), nach einem Jahr Schwarzbrache (Ende 2018) und nach drei Jahren Schwarzbrache (Ende 2020) bestimmt. Nach drei Jahren Schwarzbrache gingen die Knöllchenzahlen auf allen vier Betrieben um durchschnittlich 75 % zurück. Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten nachgewiesen werden, d.h. der Einsatz der Herbizide brachte keinen Zusatznutzen für die Reduzierung der Knöllchenzahl im Boden unter diesen Versuchsbedingungen.

Stichwörter: Bekämpfungsstrategie, Erdmandelgras, Schwarzbrache, S-Metolachlor, wiederholte Bodenbearbeitung

Abstract

Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) is a major problem in arable and vegetable farming in Switzerland. With the aim to restore heavily infested areas, 3-year on-farm fallow strip trials (2018 to 2020) were conducted at four locations. Four experimental treatments were compared: A. Repeated soil cultivation (SC), B. Repeated SC + single incorporation of Dual Gold (2 L/ha), C. Repeated SC + single application of Equip Power (1.5 L/ha), D. Repeated SC + single application of Monitor (25 g/ha). The farmers could choose themselves, which soil working machines they wanted to use. To evaluate the effects, the numbers of tubers/liter soil were determined at the beginning of the trial (end of 2017), after one year of fallow (end of 2018) and after three years of fallow (end of 2020). After three years of fallow, tuber numbers were strongly reduced on all farms by an average of 75%. There were no statistical differences between the experimental variants, i.e. the use of herbicides did not provide an additional benefit for the reduction of tuber numbers in the soil under the experimental conditions.

Keywords: control strategy, fallow weed management, repeated soil cultivation, S-Metolachlor, yellow nutsedge

Einleitung

Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* ssp. *aurea* Ten.) gehört europaweit zu den gefährlichsten Unkräutern im Ackerbau (WEBER & GUT, 2005; BOHREN & WIRTH, 2015). Es ist ein Sauergras aus der Familie der Cyperaceae, das sich hauptsächlich über Knöllchen im Boden vermehrt, die etwa ab Anfang Mai austreiben, wenn es anfängt wärmer zu werden (BOHREN & WIRTH, 2013). Mehr als 80 % der Knöllchen befinden sich in den oberen 15 cm des Bodens (STOLLER & SWEET, 1987). In der Schweiz wird von Erdmandelgras (EMG) als Problempflanze in der Landwirtschaft bereits seit den 1990er Jahren berichtet (SCHMITT & SAHLI, 1992). Ausgehend vom Tessin, hat sich das Unkraut inzwischen praktisch in der gesamten Schweiz, teilweise sehr stark, ausgebreitet (Abb. 1). Seit circa zehn Jahren werden von Agroscope verschiedene Bekämpfungsmethoden untersucht. Für den Ackerbau wird eine möglichst späte Maisaussaat (ab Ende Mai), wenn möglich mit mehrmaliger vorgängiger Bodenbearbeitung (BB), plus Einarbeitung von Dual Gold vor der Saat (10 bis 15 cm) sowie Nachauflaufbehandlungen mit geeigneten Herbiziden empfohlen (KELLER et al., 2014; BOHREN & WIRTH, 2015; BOHREN, 2016; KELLER et al., 2018). Bei einer Studienreise zu holländischen Kollegen 2017 haben wir erfahren, dass EMG dort mit einer Schwarzbrache bekämpft wird (SCHRÖDER et al., 2017). Befallene Flächen werden mehrmals jährlich bearbeitet und mit Herbiziden behandelt. Die Bekämpfung wird solange fortgeführt, bis kein einziges EMG mehr gefunden wird. Eine Parzelle darf erst wieder ohne Einschränkungen mit allen Kulturen bewirtschaftet werden, wenn sie drei Jahre lang frei von EMG-Befall ist. Im Anschluss an diesen Besuch entschieden wir, die mehrjährige Schwarzbrache zur EMG-Bekämpfung unter Schweizer Bedingungen zu testen. Im nachfolgenden Artikel werden die Ergebnisse 3-jähriger Schwarzbrache-Versuche zusammengefasst.

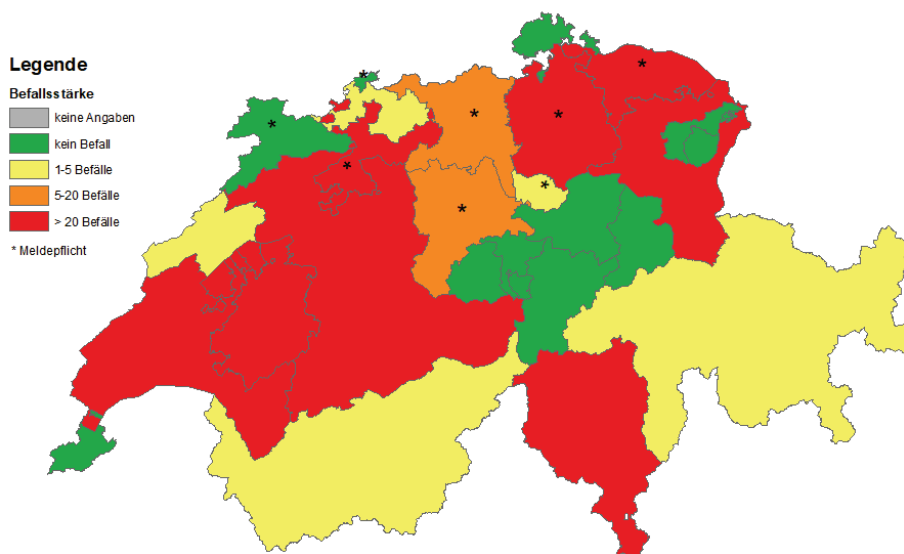


Abbildung 1 Aktuelle Verbreitung des EMG in der Schweiz. Quelle: Nationale Koordination Erdmandelgras, Alexandra Schröder (Stand 2021).

Figure 1 Actual distribution of yellow nutsedge in Switzerland. Source: Nationale Koordination Erdmandelgras, Alexandra Schröder (status 2021).

Material und Methoden

Versuchsaufbau

Von 2018 bis 2020 wurden vier Feldversuche an unterschiedlichen Standorten im Schweizer Mittelland auf landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt: Betrieb Waadt (VD) in Chavornay, Betrieb Bern (BE) in

Schwarzhäusern, Betrieb Aargau (AG) in Hettenschwil und Betrieb Thurgau (TG) in Bethelhausen. Es handelt sich um Streifenversuche (6 m breit, je nach Standort 60 bis 200 m lang).

In jedem Versuch wurden vier Verfahren parallel getestet:

- Streifen A: nur Bodenbearbeitung (BB)
- Streifen B: BB, plus einmalige Einarbeitung von 2 l/ha Dual Gold (S-Metolachlor, 960 g/l, Syngenta)
- Streifen C: BB, plus einmalige Behandlung 2018 mit Herbizid X und 2019 und 2020 mit 1.5 l/ha Equip Power (Foramsulfuron 30 g/l; Thienencarbazone, 31.5 g/l; Iodosulfuron, 10 g/l; Bayer)
- Streifen D: BB, plus einmalige Behandlung mit 25 g/ha Monitor (Sulfosulfuron, 80 %, Leu + Gyax)

Jeder Landwirt konnte selbst wählen, welches Gerät er für die BB verwendet und wann er einen Bekämpfungsdurchgang durchführt. Die Geräte, die zur BB eingesetzt wurden, waren folgende: Kreiselegge (K), Federzahnegge (F), Pflug (P) und Grubber (G) (Abb. 2 bis 5). Es wurde empfohlen, die jungen EMG-Pflanzen jeweils im 2-5 Blattstadium zu bekämpfen und die Herbizide in der Mitte der Vegetationsperiode auszubringen. Dual Gold sollte nach dem Ausbringen oberflächlich (10 bis 15 cm tief) eingearbeitet werden, die anderen Herbizide nicht. Bei Herbizid X handelt es sich um einen Wirkstoff, der in Zusammenarbeit mit einer Pflanzenschutzfirma getestet wurde. Um welchen Wirkstoff es sich handelt, ist vertraulich. Aufgrund der mangelnden Wirksamkeit wurde der Streifen C ab 2019 mit Equip Power behandelt.

Detaillierte Beschreibung der Feldversuche

Betrieb VD: Bodentyp: Moorboden. Eine BB mit der Kreiselegge (10 bis 15 cm tief) wurde fünf- bis siebenmal pro Jahr in allen Streifen und zusätzlich einmal pro Jahr (2018 und 2019) mit dem Grubber in den Streifen A und B zwischen Mitte April und Mitte August durchgeführt (Abb. 2). Herbizide wurden einmal pro Vegetationsperiode zwischen Ende April und Anfang Juni ausgebracht. Dual Gold wurde immer eingearbeitet. Im August wurde nach der letzten BB jeweils Ölrettich gesät.

A	April		Mai		Juni		Juli	August	
	2018	12.04. K	23.04. K	03.05. K	01.06. G			13.08. K	21.08. K
	2019	17.04. K		01.05. K	07.06. G	27.06. K		13.08. K	18.08. K
	2020	15.04. K	23.04. K	09.05. K	29.05. K	26.06. K	14.07. K	10.08. K	

B	Dual Gold (2 l/ha)	Monitor (25 g/ha)	Equip Power (1,5 l/ha)	Herb. X (1,75 l/ha)
	2018	03.05.	01.06.	01.06.
	2019	01.05.	06.06.	
	2020	23.04.		

C	Zwischenfrucht	August
	2018	Ölrettich
	2019	Ölrettich
	2020	Ölrettich

Abbildung 2 Daten vom Betrieb VD (2018 bis 2020) zur Bodenbearbeitung (A) mit Kreiselegge (K) und Grubber (G), Herbizid Einsatz (B) und Aussaat der Zwischenfrucht (C). Grau unterlegt = nur Streifen A und B. Braun unterlegt = eingearbeitet durch Bodenbearbeitung.

Figure 2 Data from the agricultural farm VD (2018 to 2020) on soil cultivation (A) with a rotary harrow (K) and a cultivator (G), herbicide application (B) and sowing of a cover crop (C). Highlighted in grey = only strip A and B. Highlighted in brown = incorporated by soil cultivation.

Betrieb AG: Bodentyp: schluffiger Lehm, Braunerde. Eine BB mit der Federzahnegge erfolgte zwei- bis dreimal pro Jahr in allen Streifen und zusätzlich ein- bis zweimal pro Jahr in den Streifen A und B (Abb. 3). Herbizide wurden einmal pro Vegetationsperiode zwischen Ende Mai und Mitte Juni ausgebracht. Dual

Gold wurde immer eingearbeitet. Ende August 2018 und 2019 und im September 2020 wurde nach der letzten BB Senf gesät.

A	April	Mai	Juni	Juli	August	September
	2018	28.04. F	30.05. F	31.07. F	27.08. F	
	2019		10.05. F	08.06. F	27.07. F	19.08. F
	2020		09.05. F	13.06. F	20.08. F	16.09. F

B	Dual Gold (2 l/ha)	Monitor (25 g/ha)	Equip Power (1,5 l/ha)	Herb. X (1,75 l/ha)
	2018	30.05.	30.05.	30.05.
	2019	08.06.	08.06.	08.06.
	2020	13.06.	13.06.	13.06.

C	Zwischenfrucht	August	September
	2018	Senf	29.08.
	2019	Senf	28.08.
	2020	Senf	23.09.

Abbildung 3 Daten vom Betrieb AG (2018 bis 2020) zur Bodenbearbeitung (A) mit der Federzahnegge (F), Herbizid Einsatz (B) und Aussaat der Zwischenfrucht (C). Grau unterlegt = nur Streifen A und B. Blau unterlegt = nur Streifen A. Braun unterlegt = eingearbeitet durch Bodenbearbeitung.

Figure 3 Data from the agricultural farm AG (2018 to 2020) on soil cultivation (A) with a tine cultivator (F), herbicide application (B) and sowing of a cover crop (C). Highlighted in grey = only strip A and B. Highlighted in blue = only strip A. Highlighted in brown = incorporated by soil cultivation.

Betrieb BE: Eine BB mit unterschiedlichen Geräten erfolgte drei- bis fünfmal pro Jahr in allen Streifen und zusätzlich einmal pro Jahr in den Streifen A und B (zusätzlich einmal 2018 im Streifen A, C und D) (Abb. 4).

A	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
	2018		09.04 P 14.04 F	14.05 F	05.06 K			24.10 P+S
	2019		17.04 G 14.05 K		08.06 K	08.07 K	02.08 P 03.08 S	
	2020	26.03 P 28.03 K		16.05. K	27.06. M+K	08.07 K	15.08. S	

B	Dual Gold (2 l/ha)	Monitor (25 g/ha)	Equip Power (1,5 l/ha)	Herb. X (1,75 l/ha)	Glyphosat (8 l/ha)
	2018	04.06.	04.06.		09.08.
	2019	08.06.	08.06.	08.06.	
	2020	16.05.	16.05.	16.05.	

C	Zwischenfrucht	August	September	Oktober
	2018	Tetra 200		25.10.
	2019	Sandhafer	03.08.	
	2020	Sandhafer	15.08.	

Abbildung 4 Daten vom Betrieb BE (2018 bis 2020) zur Bodenbearbeitung (A) mit verschiedenen Geräten: Grubber (G), Kreiselegge (K), Säkombination (S), Pflug (P), Federzahnegge (F), Mulchen (M), Herbizid Einsatz (B) und Aussaat der Zwischenfrucht (C). Grau unterlegt = nur Streifen A und B. Gelb unterlegt = nur Streifen A, C und D. Braun unterlegt = eingearbeitet durch Bodenbearbeitung.

Figure 4 Data from the agricultural farm BE (2018 to 2020) on soil cultivation (A) with different machines: cultivator (G), rotary harrow (K), sower (S), plough (P), tine cultivator (F), mulching (M), herbicide application (B) and sowing of a cover crop (C). Highlighted in grey = only strip A and B. Highlighted in yellow = only strip A, C and D. Highlighted in brown = incorporated by soil cultivation.

Aufgrund sehr hoher Arbeitsbelastung im Jahr 2018 wurde zwischen Anfang Juni und Ende Oktober vergessen, den Versuch zu bearbeiten. Ein- bis zweimal jährlich wurde der Pflug eingesetzt. Herbizide wurden einmal pro Vegetationsperiode zwischen Mitte Mai und Anfang Juni ausgebracht. 2018 wurde zusätzlich im August eine Behandlung mit Glyphosat durchgeführt. Dual Gold wurde immer eingearbeitet. Nach der letzten BB wurden Tetra 200 (überwinterndes Zwischenfutter) im Oktober 2018 und Sandhafer im August 2019 und 2020 als Zwischenfrüchte gesät. Der Sandhafer wurde jeweils im Oktober siliert.

Betrieb TG: Bodentyp: sandiger Lehm, Regosol. Eine BB mit der Kreiselegge (15 cm tief) erfolgte drei- bis viermal pro Jahr in allen Streifen und zusätzlich ein- bis zweimal pro Jahr in den Streifen A und B (zusätzlich einmal 2018 im Streifen C) (Abb. 5). Herbizide wurden einmal pro Vegetationsperiode zwischen Ende Mai

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online und Mitte Juli ausgebracht. Dual Gold wurde 2018 und 2019 eingearbeitet, 2020 nicht. Im Juli 2018 und im August 2019 und 2020 wurde nach der letzten BB Ölrettich gesät.

A		April	Mai		Juni		Juli	August
	2018	09.04. K	08.05. K	29.05. K	21.06. K	25.06. K	13.07. K	
	2019	08.04. K	17.05. K		19.06. K		20.07. K	30.08. K
	2020	09.04. K	20.05. K		24.06. K		30.07. K	20.08. K

B		Dual Gold (2 l/ha)	Monitor (25 g/ha)	Equip Power (1,5 l/ha)	Herb. X (1,75 l/ha)
	2018	29.05.	29.05.	25.06.	30.05.
	2019	20.07.	20.07.		20.07.
	2020	30.06.	30.06.		30.06.

C		Zwischenfrucht	Juli	August
	2018	Ölrettich	19.07.	
	2019	Ölrettich		30.08.
	2020	Ölrettich		20.08.

Abbildung 5 Daten vom Betrieb TG (2018 bis 2020) zur Bodenbearbeitung (A) mit der Kreiselegge (K), Herbizid Einsatz (B) und Aussaat der Zwischenfrucht (C). Grau unterlegt = Streifen A und B. Grün unterlegt = nur Streifen C. Braun unterlegt = eingearbeitet durch Bodenbearbeitung.

Figure 5 Data from the agricultural farm TG (2018 to 2020) on soil cultivation (A) with a rotary harrow (K), herbicide application (B) and sowing of a cover crop (C). Highlighted in grey = only strip A and B. Highlighted in green = only strip C. Highlighted in brown = incorporated by soil cultivation.

Probenahme der Knöllchen

Innerhalb jedes Versuchsstreifens wurden zu Versuchsbeginn (Ende Vegetationsperiode 2017) mittels GPS (GEO 7x Trimble) vier 36 m² grosse Zonen vermessen. Bei jeder Beprobung wurden in jeder Zone sechs Erdproben (jeweils circa 1 l Erde) entnommen. Für jede Erdprobe wurden mit einem Bodenprobenehmer (10 cm Durchmesser) drei circa 15 cm tiefe Bodenproben entnommen. Die Erde dieser drei Proben wurde anschliessend vermisch. Ein Liter dieser Mischprobe wurde in einen Plastiksack gefüllt und bis zum Auswaschen der Knöllchen bei 4 °C gelagert. Die Probenahmen fanden jeweils nach Abschluss der Vegetationsperiode statt. Die erste Probenahme zur Bestimmung der Knöllchendichte der Anfangsverseuchung fand Ende 2017 statt. Die zweite Probennahme Ende 2018 (nach einem Jahr Bekämpfung) und die dritte Probenahme Ende 2020 (nach drei Jahren Bekämpfung).

Auswaschen der Knöllchen

Die Erdproben wurden mit Wasser auf einem Sieb mit 1 mm Maschenweite ausgewaschen. Die Knöllchenanzahl pro Erdprobe wurde bestimmt. Dabei wurde nicht zwischen keimfähigen und nicht keimfähigen Knöllchen unterschieden.

Auswertung

Die Versuche wurden als Demonstrationsversuche für Praktiker angelegt. Es gab keine Wiederholungen pro Standort und die Anordnung der Streifen war an jedem Standort gleich. Die Auswertung pro Standort erfolgte daher rein deskriptiv. Die fehlende Randomisierung geht mit möglichen Nachbarschaftseffekten einher (B liegt beispielsweise immer zwischen A und C). Diese Nachbarschaftseffekte sollten jedoch vernachlässigbar sein, da die Streifen in Bearbeitungsrichtung angelegt waren und allfällige Effekte durch Drift bei den Herbizidapplikationen sehr gering sein sollten. Dementsprechend konnte eine statistische Auswertung über die Standorte durchgeführt werden. Für jeden Behandlungstreifen wurde ein Mittelwert

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

aus den 24 Erdproben (jeweils 1 Liter) pro Ort und Jahr berechnet sowie die prozentuale Veränderung der Knöllchenzahlen nach 3 Jahren im Vergleich zur Ausgangsverseuchung (Abb. 6). Für die Modellierung der Abnahme der Knöllchenzahlen wurde ein gemischtes lineares Modell angepasst (R, «nlme» package) (Abb. 7). Die mittlere Anfangsverseuchung pro Streifen (E_0) wurde als Kovariable ins Modell aufgenommen. Die fixen Faktoren «Verfahren» und «Ort», die Variable «Jahr» (Jahre nach Versuchsbeginn: Werte 1 & 3) sowie deren zweifache Interaktionen wurden ins Modell aufgenommen. «Verfahren-Ort» wurde aus dem Modell genommen, da dies dem Streifen entspricht und das Modell mit dieser Interaktion nicht konvergierte. Neben dem Restfehler (nicht aufgeführt in den Formeln) wurde ein zufälliger Fehler für den Streifen angepasst, da pro Streifen zwei Werte (Jahr 1 und Jahr 3 nach Versuchsbeginn) vorlagen. Die response Variable «Knöllchen pro l» wurde logarithmiert, da eine exponentielle Abnahme der Knöllchenzahl aus biologischer und agronomischer Sicht sinnvoll erschien. Es wurde zuerst das volle Modell (Pattersons Modelsyntax (PIEPHO et al., 2003)) angepasst:

$$1) \ln(\text{Knöllchen pro l}) = \text{Intercept} + E_0 + \text{Verfahren} + \text{Jahr} + \text{Ort} + \text{Verfahren} \cdot \text{Jahr} + \text{Verfahren} \cdot \text{Ort} + \text{Jahr} \cdot \text{Ort} : \text{Streifen}$$

Danach wurde das Modell unter Berücksichtigung der Signifikanz der Terme sowie der Änderung des AICs (Akaike information criterion) (method = «ML») reduziert. «Estimated marginals means» und «pairwise comparisons» wurden mit dem package «emmeans» berechnet. Weder «Verfahren» noch «Ort» noch deren Interaktionsterme waren signifikant.

Das volle Modell konnte dementsprechend reduziert werden:

$$2) \ln(\text{Knöllchen pro l}) = \text{Intercept} + E_0 + \text{Jahr} : \text{Streifen}$$

Dieses Modell wies auch den tiefsten AIC-Wert auf. Für die Darstellung wurden die Schätzwerte des Modells auf die Ausgangsskala zurücktransformiert und Knöllchen pro l auf Knöllchen pro m² umgerechnet (Beprobungstiefe 15 cm).

Interviews

Am Ende der dreijährigen Versuchsperiode wurden die vier beteiligten Landwirte im Rahmen einer Diplomarbeit in Interviews mittels eines strukturierten Fragebogens zu ihren Erfahrungen befragt. Der Fragebogen umfasste elf Fragen. Die Antworten auf sechs Fragen werden in diesem Beitrag zusammengefasst und diskutiert (Tab. 1).

- Frage 1: Seit wann ist die Fläche mit EMG verseucht?
- Frage 2: Wissen Sie, wie das EMG auf Ihr Feld kam?
- Frage 3: Ist die Schwarzbrache in ihren Augen eine geeignete Methode, um EMG erfolgreich zu bekämpfen? Würden Sie diese weiterempfehlen?
- Frage 4: Haben Sie es jedes Mal geschafft, das EMG im optimalen Stadium zu bekämpfen? Wenn nein, warum nicht? (keine Zeit, vergessen, etc.)
- Frage 5: Haben Sie eine gesteigerte Effizienz durch eine zusätzliche Herbizidbehandlung beobachtet? Falls ja, bei welchem Herbizid?
- Frage 6: Ist ein Einfluss auf die Bodenstruktur nach drei Jahren Schwarzbrache-Bekämpfung sichtbar?

Ergebnisse

Feldversuche: Entwicklung der Knöllchenzahlen

Da es sich um Versuche auf landwirtschaftlichen Betrieben handelt, bei denen die beteiligten Landwirte selbst viele Entscheidungen treffen konnten, kann lediglich der Effekt aller Massnahmen auf die

Entwicklung der Knöllchenzahlen auf den vier Betrieben beurteilt werden. Am Standort VD war die Ausgangsverseuchung mit EMG am höchsten (18,3 Knöllchen l^{-1} bzw. 2745 Knöllchen m^{-2}), gefolgt vom Standort AG (11 Knöllchen l^{-1} bzw. 1650 Knöllchen m^{-2}). Deutlich weniger Knöllchen fand man zu Beginn des Versuchs an den beiden anderen Standorten BE (5,9 Knöllchen l^{-1} bzw. 885 Knöllchen m^{-2}) und TG (7,1 Knöllchen l^{-1} bzw. 1065 Knöllchen m^{-2}) (Abb. 6). Der schrittweise Rückgang der Knöllchenzahlen über die dreijährige Versuchsperiode ist an allen Standorten und in allen Streifen zu beobachten. Der Rückgang am Standort BE ist erst nach drei Jahren sichtbar (Abb. 6B), da im ersten Versuchsjahr (2018) die BB zwischen Anfang Juni und Ende Oktober aufgrund von Zeitmangel nicht durchgeführt worden war (Abb. 4). Das EMG konnte sich dementsprechend vermehren und die Knöllchenzahl wurde nicht reduziert. Der Rückgang der Knöllchenzahl erfolgte erst ab 2019. Aus Abbildung 6 geht auch hervor, dass die Verteilung der Knöllchenzahlen innerhalb der Behandlungstreifen meist sehr heterogen war, was teilweise zu sehr grossen Standardabweichungen führt. Die Ausgangsverseuchung in den Streifen A der Betriebe VD (Abb. 6A) und TG (Abb. 6D) beispielsweise variierte zwischen 4 und 52 bzw. zwischen 0 und 35 Knöllchen l^{-1} . Die höchste Reduktion konnte im Betrieb AG im Streifen C erzielt werden (Abb. 6C). Nach drei Jahren Schwarzbrache war der Knöllchenvorrat im Boden um 86 % reduziert (von 17,1 auf 2,5 Knöllchen l^{-1}).

Bei der Auswertung über die Standorte konnte das volle Modell bzw. das Ausgangsmodell (1) stark reduziert werden zu einem einfacheren Modell (2). Die Anfangsverseuchung E_0 hatte einen signifikanten Effekt. Das heisst, je stärker ein Feld mit EMG verseucht ist, umso länger muss bekämpft werden, damit die Verseuchung auf ein bestimmtes Niveau reduziert werden kann. Die Variable «Jahr» hatte ebenfalls einen signifikanten Effekt. Jahr 1 und Jahr 3 waren statistisch signifikant verschieden. Es konnte daher eine statistisch signifikante Reduktion der EMG Verseuchung mit den Verfahren an den vier Versuchsstandorten über die Jahre erzielt werden. Im Ausgangsmodell (1) waren weder der Faktor «Verfahren» noch der Faktor «Ort» signifikant. Das bedeutet, dass das EMG sowohl mit intensiver mechanischer als auch intensiver mechanisch-chemischer Bekämpfung wirksam bekämpft werden konnte während der drei Jahre Brache. Der Faktor «Ort» umfasst die Wetterbedingungen, Bodenart, aber auch den Faktor Landwirt (wann welches Gerät eingesetzt wurde). Die involvierten Landwirte waren motiviert und führten die EMG-Bekämpfung insgesamt sehr gut durch. Es ist daher davon auszugehen, dass die Verfahren auch an anderen Standorten zu ähnlichen Ergebnissen führen werden, vorausgesetzt die Bekämpfung erfolgt ebenso gewissenhaft.

Anhand des Schätzwertes «Jahr» wurde eine Halbwertszeit von 1,53 Jahren berechnet. Mit den Verfahren konnte daher innerhalb von drei Bekämpfungsjahren die EMG Verseuchung im Schnitt um 75 % reduziert werden. Da der Schätzwert anhand von vier Standorten mit vier verschiedenen Bekämpfungsverfahren über drei Versuchsjahre ermittelt wurde, ist anzunehmen, dass dieser Wert relativ robust ist. Berücksichtigt man die mittlere Ausgangsverseuchung an den einzelnen Standorten sowie eine mittlere Verseuchung über alle Standorte kann die Abnahme über die drei Versuchsjahre modelliert sowie für kommende Versuchsjahre extrapoliert werden (Abb. 7). Mit einem exponentiellen Modell kann die Dauer bis zur Tilgung (Verseuchung = 0) jedoch nicht berechnet werden (asymptotisch gegen 0).

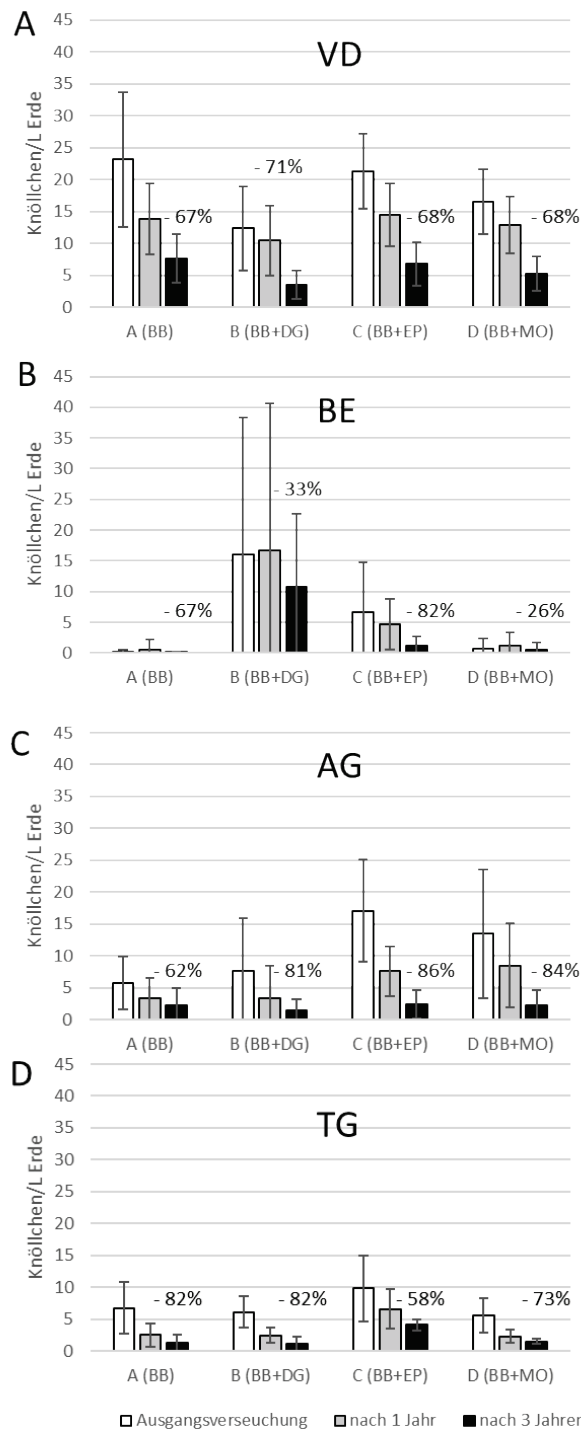


Abbildung 6 Entwicklung der Knöllchenzahlen über den gesamten Versuchszeitraum. Durchschnittliche Knöllchenzahl pro Liter Erde ($n=24$) $\pm$ Standardabweichung in den vier Behandlungstreifen und Veränderung der Knöllchenzahlen (%) pro Streifen nach 3 Jahren Schwarzbrache im Vergleich zur Ausgangsverseuchung. A (BB = Bodenbearbeitung), B (BB+DG = Bodenbearbeitung + Dual Gold), C (BB +EP = Bodenbearbeitung + Equip Power) und D (BB + MO = Bodenbearbeitung + Monitor) auf den vier Betrieben VD (A), BE (B), AG (C) und TG (D) zu Beginn der Schwarzbrache (Ausgangsverseuchung), nach einem Jahr Schwarzbrache (nach 1 Jahr) und nach 3 Jahren Schwarzbrache (nach 3 Jahren).

Figure 6 Tuber development over the entire trial period. Average tuber number per liter soil ($n=24$) $\pm$ standard deviation in the four strips and variation of tuber numbers (%) per strip after 3 years of fallow compared to the initial infestation. A (BB = soil cultivation), B (BB+DG = soil cultivation + Dual Gold), C (BB+EP = soil cultivation + Equip Power) and D (BB+MO = soil cultivation + Monitor) on the four agricultural farms VD (A), BE (B), AG (C) and TG (D) at the beginning of the fallow (Ausgangsverseuchung), after one year of fallow (nach 1 Jahr) and after 3 years of fallow (nach 3 Jahren).

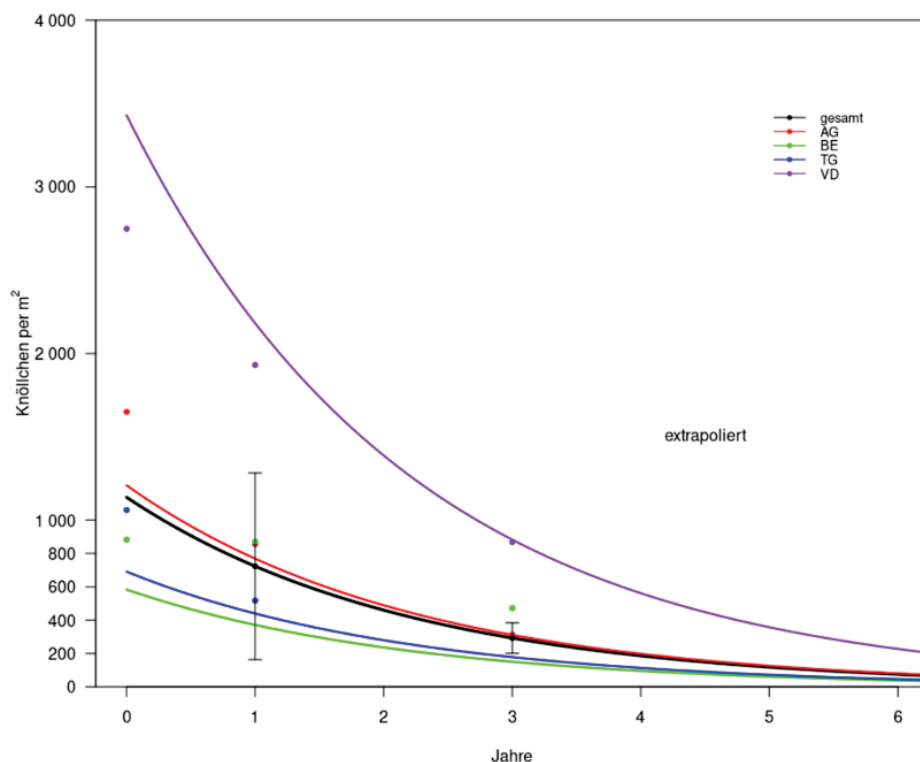


Abbildung 7 Abnahme der Knöllchenzahl über die Jahre modelliert über alle Standorte (gesamt). Gezeigt sind die Schätzwerte für das Jahr 1 und das Jahr 3 $\pm$ Standardfehler.

Figure 7 Decrease of tuber numbers over time modelled over all locations (gesamt). Estimated values for year 1 and year 3 $\pm$ standard deviation are shown.

Interviews: Eindrücke & Erfahrungen der Landwirte

Der EMG-Befall auf den Feldern der am Versuch beteiligten Landwirte wurde zwischen 2008 und 2015 festgestellt (Tab. 1, Frage 1). Alle Landwirte wissen, wie das EMG auf ihr Feld kam. Eintragswege waren zugeführte Wascherden (Kartoffeln, Zuckerrüben), Kompost sowie die Rübenmaus oder verunreinigte Paloxen (Tab. 1, Frage 2). Da die Schwarzbrache die Bodenstruktur auf seinem Feld (Moorboden) massiv verschlechtert hat, kann der Landwirt aus der Waadt (VD) die Methode nicht weiterempfehlen (Tab. 1, Frage 3). Auch die anderen Landwirte haben negative Auswirkungen auf die Bodenstruktur beobachtet (Tab. 1, Frage 6). Dennoch würden diese Landwirte die Schwarzbrache zur EMG-Bekämpfung weiterempfehlen und bewerten die Methode als effizient. In den meisten Fällen haben es die Landwirte geschafft, das EMG jedes Mal im optimalen Stadium (2-5 Blatt, 10 bis 15 cm hoch) zu bekämpfen. Allerdings kam bei allen vier Landwirten mindestens einmal etwas dazwischen, wie z.B. Zeitmangel aufgrund anderer Arbeiten oder widrige Wetterbedingungen (Tab. 1, Frage 4). Nach Ansicht aller Landwirte war der Bekämpfungserfolg im Streifen B (BB+DG) am besten (Tab. 1, Frage 5).

Diskussion

In den Versuchen konnte das EMG mit intensiver mechanischer oder intensiver mechanisch-chemischer Bekämpfung in der Brache nach drei Versuchsjahren im Schnitt um 75 % reduziert werden, wobei der stärkste Rückgang von 86 % auf dem Betrieb AG beobachtet wurde. Dabei variierte die Anzahl Bodenbearbeitungsgänge stark zwischen zwei und sieben pro Jahr und Streifen. Es ist davon auszugehen, dass drei bis vier Bearbeitungsgänge pro Jahr zum richtigen Zeitpunkt ausreichend sind. Eine Schwarzbrachefläche, die regelmässig überprüft wird, ermöglicht es, das EMG nach jeder neuen Keimwelle

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online im optimalen Stadium zu bekämpfen und zu verhindern, dass neue Knöllchen gebildet werden. Ausserdem sind die EMG-Pflanzen auf einer Brachefläche sehr gut sichtbar und die Entwicklung der EMG-Population kann leicht überwacht werden. Ziel ist es, den Knöllchenvorrat im Boden kontinuierlich zu verringern. Es gibt keine gesicherten Erkenntnisse zur Lebensdauer der Knöllchen im Boden. In einem Laborversuch wurde eine Halbwertszeit von vergrabenen EMG-Knöllchen in 10,2 und 20,3 cm Tiefe von 4,4 bzw. 5,7 Monaten bestimmt (STOLLER & WAX, 1973). Diese Werte sind wesentlich geringer als die von uns errechnete Halbwertszeit von 18 Monaten. Wir können allerdings nicht ausschliessen, dass es auf den Versuchsflächen von Zeit zu Zeit zu einer Neubildung von Knöllchen kam, wodurch der Rückgang des Knöllchenvorrats im Boden verzögert wird. Es ist ausserdem bekannt, dass die Langlebigkeit der Knöllchen mit zunehmender Bodentiefe zunimmt (STOLLER & SWEET, 1987).

Tabelle 1 Fragen und Antworten aus den Interviews mit den vier Landwirten (VD, TG, AG und VD) nach der 3-jährigen Versuchsperiode.

Table 1 Questions and answers from the interviews with the four farmers (VD, TG, AG and VD) after the three-year trial period.

Interviewfragen	Betrieb BE	Betrieb TG
1. Seit wann ist die Fläche mit EMG verseucht?	2011	2015
2. Wissen Sie, wie das EMG auf Ihr Feld kam?	Abfallerde einer Kartoffelverarbeitungsfirma und wahrscheinlich vom Nachbarn	Über die Rübenwascherde
3. Ist die Schwarzbrache in ihren Augen eine geeignete Methode, um EMG erfolgreich zu bekämpfen? Würden Sie diese weiterempfehlen?	Ja. Nützt auf jeden Fall etwas. Wichtig ist, dass man immer dranbleibt. Wichtig ist auch, die Maschinen immer zu waschen.	Ja. Effiziente Methode. Landwirt hat eine separate Egge, die er nur für die EMG befallene Parzellen nutzt.
4. Haben Sie es jedes Mal geschafft, das EMG im optimalen Stadium zu bekämpfen? Wenn nein, warum nicht? (keine Zeit, vergessen, etc.)	Nein. Im Jahr 2018 Stallbau und wenig Zeit. EMG-Befall ist explodiert. Vor allem das separate Waschen der Bodenbearbeitungsgeräte beansprucht sehr viel Zeit.	Fast. Optimales Stadium zwischen 10 -15 cm Aufwuchshöhe. 2020 fand eine Flurbegehung auf der Versuchspartzele statt. Deshalb konnte vorher keine Bekämpfung durchgeführt werden und der Bestand hat sich stark entwickelt. Im Juli 2020 wuchs das EMG nach dem Grubbern mit anschließendem Niederschlag so schnell, dass der Landwirt mit der Kreiselegge fast zu spät war.
5. Haben Sie eine gesteigerte Effizienz durch eine zusätzliche Herbizid Behandlung beobachtet? Falls ja, bei welchem Herbizid?	Dual Gold wirkt am besten. Es gibt eine zusätzliche chemische Wirkung neben der mechanischen Wirkung.	Herbizide haben nicht viel bessere Wirkung. Dual Gold schneidet am besten ab.
6. Ist ein Einfluss auf die Bodenstruktur nach drei Jahren Schwarzbrache Bekämpfung sichtbar?	Schwarzbrache ist klar humuszehrend. es hat weniger organische Substanz und dementsprechend weniger Nahrung für die Bodenlebewesen.	Der Boden ist leichter geworden → Ertragspotenzial ungewiss. Es gibt mehr Probleme mit der Erosion. Humusabbau schlecht abschätzbar, da der Landwirt viel Humus durch die Rübenwascherde hat.

Interviewfragen	Betrieb AG	Betrieb VD
1. Seit wann ist die Fläche mit EMG verseucht?	2010	ungefähr 2008
2. Wissen Sie, wie das EMG auf Ihr Feld kam?	Über den Kompost der Kompostieranlage Leibstadt	Wahrscheinlich mit der Rübenmaus oder mit Erde die an Palox-Kisten der SBB angehaftet war (Karotten/Sellerie Ernte).
3. Ist die Schwarzbrache in ihren Augen eine geeignete Methode, um EMG erfolgreich zu bekämpfen? Würden Sie diese weiterempfehlen?	Ja, absolut. Der Landwirt hat 10 Jahre gebraucht, um die Fläche wieder in die Fruchtfolge einzugliedern.	Nein. Kaputte Bodenstruktur in Schwarzerde.
4. Haben Sie es jedes Mal geschafft, das EMG im optimalen Stadium zu bekämpfen? Wenn nein, warum nicht? (keine Zeit, vergessen, etc.)	Fast. Einmal zu weit in die Ökofläche gepflügt. Während der Kartoffelernte manchmal zu wenig Zeit.	80% der Zeit ja, vor dem 3-Blatt-Stadium, 20% der Zeit nein, mehr als 3 Blätter wegen Regen oder Zeitmangel.
5. Haben Sie eine gesteigerte Effizienz durch eine zusätzliche Herbizid Behandlung beobachtet? Falls ja, bei welchem Herbizid?	Dual Gold, dieser Streifen hatte die geringste Verunkrautung. EMG kam in diesem Streifen am spätesten hervor. Möglichkeit besteht, dass es von der zweimaligen Bodenbearbeitung kommt. Monitor hat keine Wirkung gezeigt.	Ja, Teileffekt von eingearbeitetem Dual Gold, Equip Power und Monitor.
6. Ist ein Einfluss auf die Bodenstruktur nach drei Jahren Schwarzbrache Bekämpfung sichtbar?	Gute Struktur. Der Landwirt hat regelmässig Mist eingearbeitet, da viel vorhanden ist. An intensiv bearbeiteten Stellen besteht eine erhöhte Gefahr für Staunässe.	Ja, sehr schlechter Zustand der Bodenstruktur. Nach 3 Jahren Schwarzbrache, keine Struktur mehr.

Während des Versuchszeitraums wurden ausser spät gesäten Zwischenfrüchten keine Kulturen angebaut. Entsprechend wurden auf den Flächen keine Einnahmen generiert. Ausserdem führte die intensive Bekämpfung zu Schäden bei der Bodenstruktur. Nichtsdestotrotz waren die Landwirte mit der Schwarzbrache als Bekämpfungsmethode zufrieden und drei von vier Landwirten würden diese weiterempfehlen. Der von den Landwirten «beobachtete Zusatznutzen» von Dual Gold im Streifen B konnte statistisch nicht abgesichert werden. In anderen Versuchen war ein Zusatznutzen von Dual Gold ebenfalls beobachtet worden (KELLER et al., 2014). Diese Versuche wurden jedoch in Mais durchgeführt und es wurde nicht so oft bekämpft wie in den Brache-Versuchen. Während der Versuchsjahre war das Wetter meist optimal für die mechanische Bekämpfung. Die Versuche werden an drei der vier Standorte fortgeführt. Das Jahr 2021 war im Vergleich zu den Vorjahren sehr nass und eher kühl. Es wird sich zeigen, wie sich diese Bedingungen auf den Bekämpfungserfolg ausgewirkt haben. Der Effekt der wiederholten BB zur Knöllchenreduktion von *Cyperus esculentus* ist bereits dokumentiert (JOHNSON et al., 2007; BANGARWA et al., 2012). Obwohl die mehrjährige Brache als Standardbekämpfungsmethode in Holland auf befallenen Flächen verordnet wird (SCHRÖDER et al., 2017), gibt es keine Literatur zur Wirksamkeit und Knöllchenreduktion über mehrere Jahre mit dieser Methode. In einem on-farm Versuch mit intensiver Bekämpfung in Mais während drei Jahren konnte eine vergleichbare Reduktion der Knöllchenzahl erzielt werden (bis 80 %) (KELLER et al., 2018). In jenem Versuch war jedoch die Ausgangsverseuchung (361 Knöllchen pro m²) deutlich tiefer als die durchschnittliche Ausgangsverseuchung der in den hier vorgestellten Brache-Versuchen (1586 Knöllchen pro m²). Der Versuchsaufbau hat es nicht ermöglicht zu untersuchen, ob die Art des Bodenbearbeitungsgeräts und die Wahl der Zwischenfrucht (Art, Saatzeitpunkt, Saatedichte, etc.) den Bekämpfungserfolg beeinflussen. Hierzu wird 2022 ein vierjähriger Versuch gestartet, der diese Fragen beantworten soll. Fazit: Der Knöllchenvorrat im Boden nimmt einerseits durch die Keimung von Knöllchen ab. Gleichzeitig verlieren immer mehr Knöllchen im Boden über die Zeit (Fäulnis, Fraß etc.) ihre Keimfähigkeit. Werden die gekeimten Knöllchen bzw. die jungen EMG Pflanzen an der Knöllchenneubildung möglichst gehindert und wird jeder Neueintrag von anderen Flächen über beispielsweise verunreinigte Geräte minimiert, nimmt der Knöllchenvorrat über die Zeit ab. Dazu müssen die jungen EMG-Pflanzen (2-5 Blatt Stadium/10 bis 15 cm Höhe) zerstört werden und die Hygienemassnahmen sind ebenfalls einzuhalten. Eine mechanische Zerstörung der jungen Pflanzen kann durch verschiedene Bodenbearbeitungsgeräte mehrmals während der Vegetationsperiode erfolgen. Eine Verhinderung der Knöllchenneubildung kann auch durch die Applikation von Equip Power oder Monitor bzw. durch die Einarbeitung von Dual Gold erfolgen. Mit drei Jahren Schwarzbrache konnte der EMG-Befall deutlich reduziert werden. Da in allen Streifen am Ende der Versuchszeit noch Knöllchen vorhanden waren, muss die Bekämpfung auf den Flächen fortgeführt werden.

Danksagung

Wir danken den vier Landwirten sowie den beteiligten kantonalen Beratern für ihre grossartige Arbeit im Projekt. Ein grosses Dankeschön auch an Christian Bohren für die Planung und Umsetzung der Versuche.

Literatur

- BANGARWA, S.K., J.K. NORSWORTHY, E.E. GBUR, 2012: Effects of Shoot Clipping-Soil Disturbance Frequency and Tuber Size on Aboveground and Belowground Growth of Purple and Yellow Nutsedge (*Cyperus rotundus* and *Cyperus esculentus*). Weed Technology **26** (4), 813-817, DOI: Doi 10.1614/Wt-D-12.00041.1.
- BOHREN, C., 2016: Erdmandelgras. *Cyperus esculentus* L. Agroscope Merkblatt Nr. **47**, 1-4.
- BOHREN, C., J. WIRTH, 2013: Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.): die aktuelle Situation in der Schweiz. Agrarforschung Schweiz **4** (11-12), 460-467.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- BOHREN, C., J. WIRTH, 2015: Die Verbreitung von Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.) betrifft alle. *Agrarforschung Schweiz* **6** (9), 384-391.
- JOHNSON, W.C., R.F. DAVIS, B.G. MULLINIX, 2007: An integrated system of summer solarization and fallow tillage for *Cyperus esculentus* and nematode management in the southeastern coastal plain. *Crop Protection* **26** (11), 1660-1666, DOI: DOI 10.1016/j.cropro.2007.02.005.
- KELLER, M., J. KRAUSS, R. NEUWEILER, R. TOTAL, 2014: Use of the crop maize to reduce yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) pressure in highly infested fields in Switzerland. 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, Braunschweig, Germany, Julius-Kühn-Archiv **443**, 114-122.
- KELLER, M., R. TOTAL, J. KRAUSS, R. NEUWEILER, 2018: Validation of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) control strategies in maize in an on-farm, large-scale field trial. 28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, Braunschweig, Germany, Julius-Kühn-Archiv **458**, 198-204. DOI 10.5073/jka.2018.458.028.
- PIEPHO, H.P., A. BÜCHSE, K. EMRICH, 2003: A Hitchhiker's Guide to Mixed Models for Randomized Experiments. *Journal of Agronomy and Crop Science* **189** (5), 310-322, DOI: 10.1046/j.1439-037X.2003.00049.x.
- SCHMITT, R., A. SAHLI, 1992: Eine in der Schweiz als Unkraut neu auftretende Unterart des *Cyperus esculentus* L., *Landwirtschaft Schweiz* **5** (6), 273-278.
- SCHRÖDER, A., L. COLLET, C. BOHREN, 2017: Erdmandelgras: Die Niederlande haben ein Bekämpfungssystem, das funktioniert. *Schweizer Bauer*, 15.07.2017.
- STOLLER, E.W., R.D. SWEET, 1987: Biology and Life Cycle of Purple and Yellow Nutsedges (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*). *Weed Technology* **1**, 66-73.
- STOLLER, E.W., L.M. WAX, 1973: Yellow Nutsedge Shoot Emergence and Tuber Longevity. *Weed Science* **21** (1), 76-81.
- WEBER, E., D. GUT, 2005: A survey of weeds that are increasingly spreading in Europe. *Agronomie* **25** (1), 109-121, DOI: 10.1051/agro:2004061.

Precision weed control: a spatially explicit individual based model

Präzise Unkrautkontrolle: ein räumlich-explicit, Individuen-basiertes Modell

Christoph von Redwitz^{1*}, Janin Lepke², Otto Richter²

¹Julius Kühn Institute (JKI) - Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Plant Protection in Field Crops and Grassland, Braunschweig, Germany

²Technische Universität Braunschweig, Institut für Geoökologie, Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig, Germany

*christoph.redwitz@julius-kuehn.de

DOI: 10.5073/20220117-135411

Abstract

Yield reduction through competition between crop and weeds is a major challenge for farmers. Therefore, most fields in Europe are treated with herbicides or mechanical methods for weed control nowadays. Modern techniques like high precision GPS, image recognition and robotics enable autonomous and site specific weed control. In the future, it might be possible to manage weeds on a plant-by-plant basis. This would provide great opportunities for the conservation of weed diversity. The implementation of such management schemes requires the understanding of the competition process in a spatial context. We present a spatially explicit individual-based model suitable to simulate the effect of precise weed control measures for specific plants. Growth models in form of differential equations are set up for each individual plant. Competition is formulated dependent on the spatial configuration of both weeds and crops. First simulation results with a parametrisation for wheat and *Viola arvensis* are presented. Without any control measures, crop growth curves show a large variability, whereas an efficient weed control (efficacy 95%) results in nearly uniform growth curves. This was corroborated in an experiment with wheat and *V. arvensis* for the same spatial configuration as in the model. Further development of the model will include multispecies situations as well as long-term population dynamics of the different species.

Keywords: competition, individual based, plant-plant interaction, simulation model, spatial explicit

Zusammenfassung

Ertragsverluste durch Unkrautkonkurrenz stellen seit jeher eine große Herausforderung für die Pflanzenproduktion dar. Daher werden die meisten Äcker in Europa heutzutage mit Herbiziden oder mechanischen Methoden zur Unkrautbekämpfung behandelt. Moderne Techniken wie hochpräzises GPS, Bilderkennung und Robotik ermöglichen eine autonome und ortsspezifische Unkrautbekämpfung. In Zukunft könnte es sogar möglich sein, Unkräuter auf Einzelpflanzenbasis zu bekämpfen. Dies würde eine große Chance für die Erhaltung der Unkrautvielfalt eröffnen. Die Umsetzung solcher Managementkonzepte erfordert das Verständnis der Konkurrenz im räumlichen Kontext. Wir stellen ein räumlich explizites individuelles Modell vor, das geeignet ist, die Wirkung von präzisen Unkrautbekämpfungsmaßnahmen für bestimmte Pflanzen zu simulieren. Für jede einzelne Pflanze wird ein Wachstumsmodell in Form von Differentialgleichungen aufgestellt. Die Konkurrenz wird in Abhängigkeit von der räumlichen Konfiguration von Unkräutern und Kulturpflanzen formuliert. Erste Simulationsergebnisse mit einer Parametrisierung für Weizen und *Viola arvensis* werden vorgestellt. Ohne Kontrollmaßnahmen zeigen die Pflanzenwachstumskurven eine große Variabilität, wohingegen eine effiziente Unkrautbekämpfung (Wirksamkeit 95 %) zu nahezu einheitlichen Wachstumskurven führt. Dies wurde in einem Experiment mit Weizen und *V. arvensis* für die gleiche räumliche Konfiguration wie im Modell bestätigt. Die Weiterentwicklung des Modells wird Multispezies-Situationen sowie langfristige Populationsdynamiken der verschiedenen Arten einbeziehen.

Stichwörter: Individuen-basiert, Konkurrenz, Pflanze-Pflanze Interaktion, räumlich explizit, Simulationsmodell

Introduction

Arable weeds are a major threat for agriculture worldwide (OERKE, 2006). They cause large yield losses as competitors for crops. Therefore, great efforts are made to minimize this danger mainly by using herbicides (DAVIS and FRISVOLD, 2017).

The introduction of highly efficient herbicides in combination with large sprayers reduce the weed pressure uniformly over the field, which results in an equally and in most places inappropriate herbicide application. But modern technique enables farmers to apply herbicide site specific (CHRISTENSEN et al., 2009). The control of segments of sprayer boom up to the direct control of specific nozzles make it possible to reduce the herbicide load (TIMMERMANN et al., 2003; HAMOUZ et al., 2013; CASTALDI et al., 2017). Coming developments in robotics will even outcompete this development.

Autonomous devices and robots can work throughout the day without labour costs. Furthermore, autonomous devices will be able to treat plant-by-plant. For agriculture, the most interesting part will be competition and thus the yield effect. Currently management decisions are made on field level, which is sufficient as long as the management is on field level. Plant-by-plant management requires a much more differentiated decision making based on the effect on yield of single plants. Up to now, the knowledge on plant – plant interactions in agricultural situations is very much limited to one or two species situations. Knowledge on complex multispecies interactions, which is the case for weed plants in a crop, is rare.

Given the possibility to manage single plants and given the knowledge of the effect of single plants weed populations could be managed in a way that allows the population to survive and in the same time optimize the development of the crop. Different management preferences could be installed on the same field. Vegetation could be managed to an optimum value for yield and ecology. Still the necessary knowledge is missing to establish a weed management on this precision level. To get insights on the competition situation on the field, we have developed a simulation model on a spatial-temporal scale that includes individual based competition.

Model

General concept

The model structure combines individual based models with stochastic elements. Whereas the spatial configuration of the crop is fixed by the cultivation, weeds emerge randomly from the seedbank (Fig. 1). The position of each plant is recorded. The growth of individual crop plants and weeds is modeled by a differential equation taking into account the mutual competition between weeds and crop plants and within weeds. The competition depends on the distance between the plants. The model in the presented form is developed with Wolfram Mathematica 12.3 (WOLFRAM RESEARCH, INC., 2021).

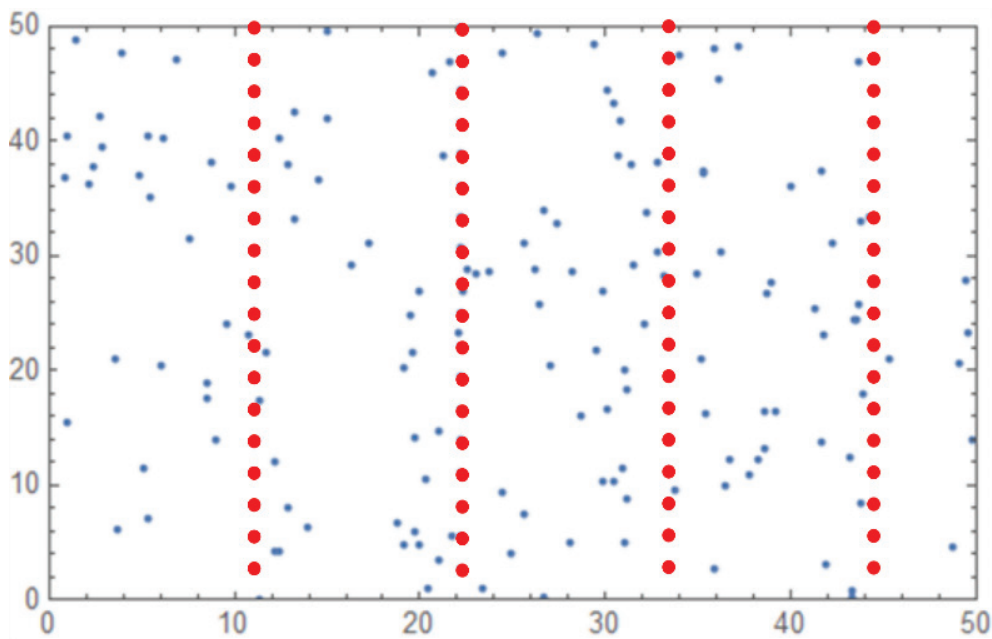


Figure 1 Spatial configuration of crop (red) and weed (blue) plants (units are cm).

Abbildung 1 Räumliche Verteilung der Kultur (rot) und des Unkrauts (blau). Die Angaben sind in cm.

Plant growth model

For the height of each plant y_i , a growth equation is set up (Form. 1), which is coupled with the other plants via the interaction or competition term α_{ij} (Form. 3). The parameterization is given in Table 1.

Formula 1 Growth function

Formel 1 Wachstumsfunktion

$$\frac{d y_i}{d t} = r_i y_i - \mu_i y_i (1 + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} y_j)$$

The coefficients (α_{ij}) (Form. 3) are elements of the community matrix A (Form. 2), which comprises the interactions between the plant species. The matrix A consists of four submatrices describing the interactions between crop plants within the submatrix CC , the action of crop plants on weeds (CW), the action of weeds on the crop plants (WC), and the interaction between weeds (WW).

Formula 2 Community matrix

Formel 2 Gesellschaftsmatrix

$$A = \begin{pmatrix} CC & WC \\ CW & WW \end{pmatrix}$$

The diagonal elements of the community matrix A α_{ii} are intrinsic factors guaranteeing the retardation of growth. All other elements depend on the mutual distance d_{ij} between plant “ i ” and plant “ j ”, where a denotes a threshold value for the strength of the interaction and γ is a form factor. The coefficient w_{ij} is specific for the type of interaction resp. competition between plants: crop-crop, crop-weed, weed-crop, and weed-weed.

Formula 3 Spatial interaction

Formel 3 Räumliche Interaktion

$$\alpha_{ij} = w_{ij} \text{Exp} \left[- \left(\frac{d_{ij}}{a} \right)^\gamma \right]$$

Management

Formula 4 Effect of weed control

Formel 4 Effekt der Unkrautkontrolle

$$\mu_c(t) = h(t - t_{app}) d_{max} e^{-\frac{(t-t_{app})}{\tau}} a(P_i)$$

Weed control is taken into account by adding a further mortality term μ_c (Form. 4) to the differential equations for the weed. h is the Unitstep function, t_{app} is the application time, d_{max} maximum mortality rate and τ is the recovery time of the weed following the control measure. The index “ i ” refers to weed plants, P_i is the location and $a(P_i)$ indicates, whether weed control has been performed at this location.

Via the $a(P_i)$ term, spatial patterns of weed control can be realized (Form. 5).

Formula 5 Growth function including weed control

Formel 5 Wachstumsfunktion einschließlich der Unkrautkontrolle

$$\frac{d y_i}{dt} = r_i y_i - \mu_i y_i (1 + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} y_j) - \mu_c(t) y_i$$

First model application

As a first parametrization of the model, we choose wheat as crop and *Viola arvensis* as the single weed. We used data from our experiments to estimate growth rates and other parameters (cf tab. 1). The following simulations were obtained for the spatial configuration in Figure 1.

Table 1 Model parameters. The indices refer to the plant types. Parameters with an asterisk were estimated from a preliminary analysis of our experimental data; all other parameters were tuned manually

Tabelle 1 Modellparameter. Die Indizes beziehen sich auf die Art der Pflanze (Winterweizen oder *V. arvensis*).

Parameter mit Stern wurden in einem Vorversuch bestimmt; alle anderen Parameter wurden händisch angepasst

Parameter	Value	Description
r_i	0.05 [1/day]	growth rate crop *
r_j	0.06 [1/day]	growth rate weed
μ_i	0.027 [1/day]	respiration rate crop*
μ_j	0.027 [1/day]	respiration rate weed
α_{ii}	0.22	retardation factor crop*
α_{jj}	0.16	retardation factor weed
w_{ij}	0.16	competition factor weed crop
w_{ij}	0.14	competition factor crop weed
w_{ij}	0.04	competition factor weed weed
w_{ij}	0.001	competition factor crop crop*
a	10 [cm]	half range of interaction

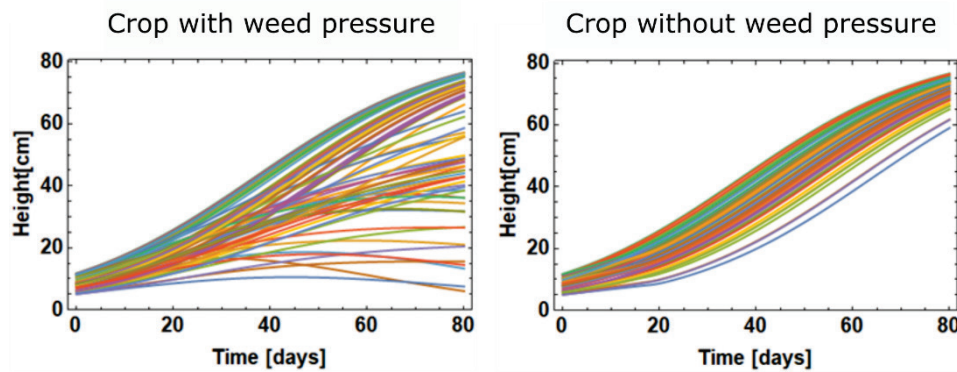


Figure 2 Growth curves of wheat plants with (left) and without efficient weed control (right)

Abbildung 2 Wachstumskurven von Weizenpflanzen mit (links) und ohne Unkrautkontrolle.

Without any control measures, crop growth curves show a large variability, whereas an efficient weed control (efficacy 95%) results in nearly uniform growth curves (Fig. 1).

Experimental verification

An experiment with wheat and *V. arvensis* was conducted corresponding to the spatial configuration given in Figure 1 in 2020/21 in Braunschweig. Thus, wheat plants were exposed to varying degrees of competition through *V. arvensis*. The height of single plants was regularly measured. Data analysis is not complete yet, but first results (Fig. 3) shows wheat growth curves under high weed pressure and without weed pressure. The experimental results correspond quite well to our simulation results (Fig. 2).

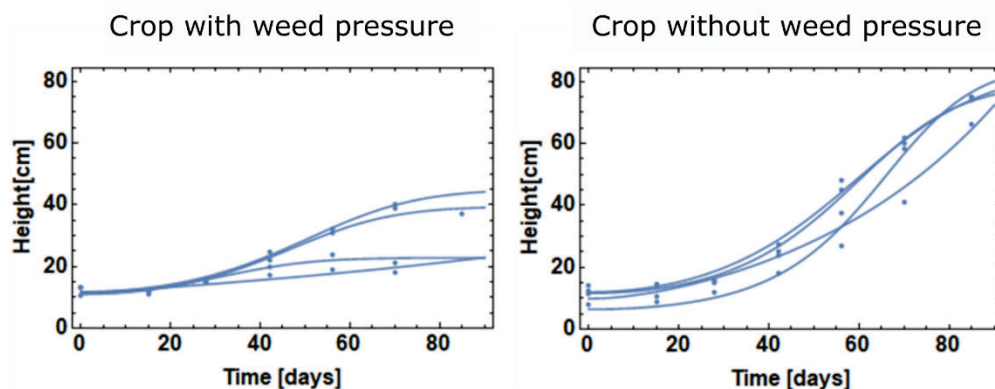


Figure 3 Measured growth curves of four wheat plants with (left) and without efficient weed control (right).

Abbildung 3 Experimentell bestimmte Wachstumskurven von je vier Weizenpflanzen mit (links) und ohne Unkrautbekämpfung (rechts).

Outlook

A spatial explicit model of plant growth based on individuals is a valuable tool for planning a meaningful management of crops and weeds plant-by-plant especially when using robots. The presented model is a first step in that direction. Still, the multispecies level needs to be extended. The community matrix for the example can be extended to several weed species in a straight forward way. Furthermore, the inclusion of fertilization, crop rotation, and weed control are necessary steps to come to a more realistic simulation of a field. To enable long term predictions, the model will be embedded in a time discrete and time continuous structure integrating growth processes and discrete stochastic processes like emergence, seed survival and others. In the future, models as presented here, might work as a tool to support decision making in weed management in the planning stage and on a yearly/daily level.

References

- CASTALDI, F., F. PELOSI, S. PASCUCI, R. CASA, 2017: Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize. *Precision Agriculture* **18** (1), 76–94, DOI:10.1007/s11119-016-9468-3.
- CHRISTENSEN, S., H.T. SØGAARD, P. KUDS, M. NØRREMARK, I. LUND, E.S. NADIMI, 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., 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.
- HAMOUZ, P., K. HAMOUZOVÁ, J. HOLEC, L. TYŠER, 2013: Impact of site-specific weed management on herbicide savings and winter wheat yield. *Plant, Soil and Environment* **59** (No. 3), 101–107, DOI:10.17221/599/2012-PSE.
- OERKE, E.-C., 2006: Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* **144** (1), 31–43, DOI:10.1017/S0021859605005708.
- TIMMERMANN, C., R. GERHARDS, W. KÜHBAUCH, 2003: The Economic Impact of Site-Specific Weed Control. *Precision Agriculture* **4** (3), 249–260, DOI:10.1023/A:1024988022674.
- WOLFRAM RESEARCH, INC., 2021: Mathematica. Champaign, Illinois, Wolfram Research, Inc.

Einfluss der Fruchtfolge auf die Verunkrautung

Influence of crop rotation on weed infestation

Bernhard Pallutt^{1*}, Bernd Augustin²

¹14532 Kleinmachnow, Klausenerstr. 3

²55452 Windesheim, Bergstr. 32

*bernhard.pallutt@gmail.com

DOI: 10.5073/20220117-135616

Zusammenfassung

Die seit einem dreiviertel Jahrhundert erfolgreiche und meist kostengünstige chemische Unkrautbekämpfung hat eine weitgehend auf ökonomische Aspekte ausgelegte Fruchtfolgegestaltung ermöglicht. Dadurch traten die acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Unkrautregulierung in den Hintergrund. Die inzwischen vermehrt auftretenden und teilweise kaum mit chemischen Maßnahmen beherrschbaren Herbizidresistenzen, sowie die Forderung der Gesellschaft zu einer drastischen Senkung (50 %) des Pflanzenschutzmittelverbrauches, erfordern eine verstärkte Nutzung der acker- und pflanzenbaulichen Möglichkeiten zur Unkrautregulierung. Dabei besitzt eine auch auf die Senkung der Verunkrautung ausgelegte Fruchtfolge eine Schlüsselposition, die es standort- und betriebsbezogen zu nutzen gilt.

Stichwörter: Fruchtfolge, Unkrautbekämpfung, Verunkrautung

Abstract

A successful and mostly inexpensive chemical weed control during the past 75 years enabled crop rotations focused mainly on economic aspects. As a result, the agronomic and plant cultivation measures for weed control took a back seat. The increasing occurrence of herbicide resistance, in parts hardly to control by herbicides anymore, and society's demand for a drastic reduction (50%) of the application of plant protection products, require increased use of arable and plant production measures for weed control. Crop rotation influences weed pressure and plays a key role in this context. It needs to be designed under site- and farm-specific aspects.

Keywords: crop rotation, weed control, weed infestation

Einleitung

Vor der Einführung der Herbizide war die Fruchtfolge ein wichtiges Element der Unkrautregulierung (FRYER, 1979). Die hohe Effizienz der chemischen Unkrautbekämpfung erlaubte einseitige Fruchtfolgen mit hohen Anteilen von Winterungen. Dadurch wurden Unkrautarten gefördert die vorwiegend im Herbst bzw. im Herbst und im Frühjahr keimen. Im Laufe der Jahre wurden die Grenzen einer vorrangig auf der Herbizidanwendung beruhenden Unkrautbekämpfung offensichtlich, indem sich vermehrt herbizidresistente Unkrautpopulationen vor allem bei Ackerfuchsschwanz und Windhalm entwickelten.

Material und Methoden

Die Arbeit beruht auf einer Literaturrecherche. Hierbei fanden insbesondere Publikationen Berücksichtigung, deren Untersuchungen auf mitteleuropäischen Standorten mit vorwiegend Dauerversuchen erfolgten.

Ergebnisse

Einjährige dikotyle Arten

Bei Verzicht auf direkte Maßnahmen der Unkrautbekämpfung übt die Fruchtfolgegestaltung einen gravierenden Einfluss auf die artenmäßige Zusammensetzung und Stärke der Verunkrautung aus (PALLUTT & HAAS, 1992). Im Allgemeinen ist ein Anstieg der Getreidekonzentration mit einer Zunahme der Verunkrautung verbunden. Dieser Effekt wird durch Bodenbearbeitung sowie mechanische und chemische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen vermindert, jedoch nicht vollständig eliminiert (PALLUTT, 1999). In Wintergetreide betonten Fruchtfolgen profitieren insbesondere Kamille-Arten, Kornblume, Klatschmohn und Klettenlabkraut vom höheren Getreideanteil. So nahm beispielsweise der Besatz von Klettenlabkraut mit der Getreidekonzentration und dem Verzicht der Pflugfurche deutlich zu (Abb. 1).

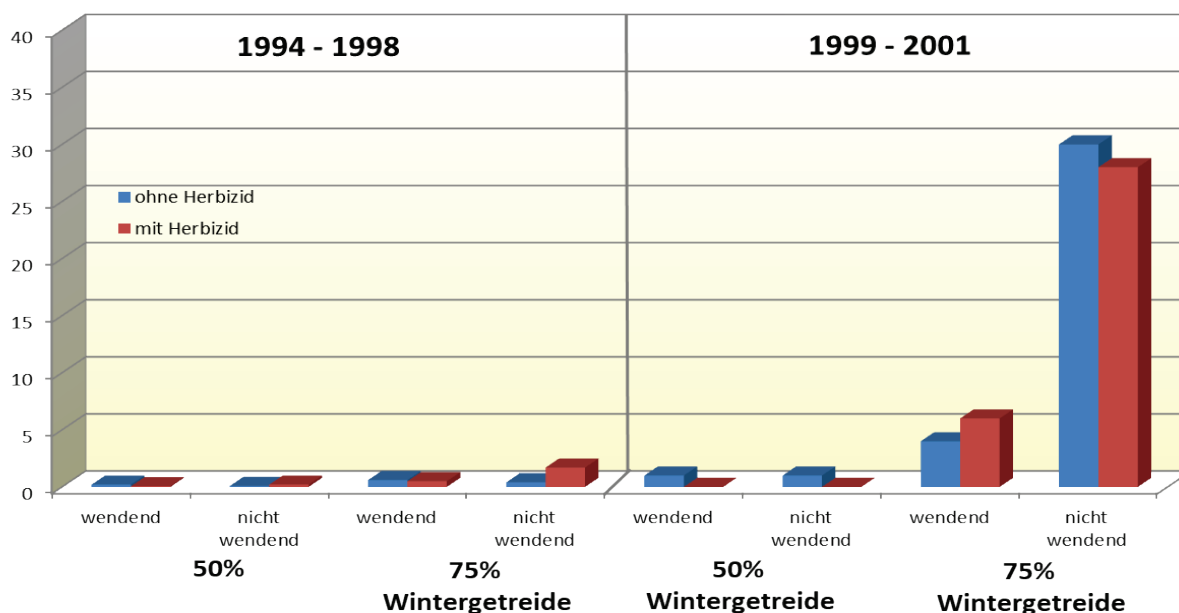


Abbildung 1 Einfluss von Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Herbizidanwendung auf die Entwicklung des Besatzes mit Klettenlabkraut (Pfl./m²), (Glaubitz 1994-2001).

Figure 1 Influence of crop rotation, soil cultivation and herbicide application on the density of cleavers (*Galium aparine*, plants/m²), (Glaubitz 1994-2001).

So nahm beispielsweise der Besatz von Klettenlabkraut im Versuchsverlauf mit der Getreidekonzentration deutlich zu. Dass unter solchen Bedingungen selbst die Herbizidanwendung den langfristigen erhöhten Auflauf von Klettenlabkraut nicht verhindern konnte, hängt ursächlich mit der mittleren Wirkung der eingesetzten Herbizide und mit der im Vergleich zur Kontrolle fehlenden interspezifischen Konkurrenz zusammen.

Jeder Bewirtschaftungswechsel führt zu Veränderungen der Unkrautflora, welche in der Verunkrautungsstärke und der Dominanzstruktur zum Ausdruck kommt. Populationsdynamische Effekte indirekter (z.B. Fruchtfolge, Bodenbearbeitung) und direkter Maßnahmen (z. B. Herbizidanwendung) treten in der Regel frühestens nach 5 Jahren auf und sind nur mit Hilfe von mindestens zehnjährigen Dauerfeldversuchen sicher abzuschätzen (PALLUTT, 2010).

Einjährige Ungräser

Wirtschaftlich bedeutsame Ungräser in Winterkulturen sind gegenwärtig vor allem Ackerfuchsschwanz, Windhalm und Trespenarten bei pflugloser Bodenbearbeitung. Das lokale Auftreten von Flughafer in

Sommerkulturen ist auf schweren Böden infolge der Zunahme winterungsbetonter Fruchtfolgen deutlich zurückgegangen. In Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil von Mais, Kartoffeln bzw. Zuckerrüben können Hirsearten Probleme bereiten.

Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*)

Der Ackerfuchsschwanz ist z. Z. das wirtschaftlich bedeutendste Ungras auf den meisten mittleren und schweren Böden. In Schleswig-Holstein, dem Bundesland mit den gegenwärtig größten Problemen bei der Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz, trat dieses Ungras nach 1945 nur auf guten Böden auf (MENCK, 1968). In der Nachkriegszeit lag dort der Getreideanteil bei ca. 50 %. Bei höherem Anteil von Ackerfutter in der Fruchtfolge war der Ackerfuchsschwanz selbst auf Böden mit höherem Schluff- und Tongehalt nur in geringem Umfang vorhanden. Der spätere Anstieg des Getreideanteils auf ca. 80 % und des Anteils der Winterung auf bis zu 100 % der Ackerfläche führte zu einem drastischen Anstieg der Besatzdichte von Ackerfuchsschwanz. Die räumliche Ausdehnung der Befallsfläche geht nach MENCK (1968) auf den überbetrieblichen Maschineneinsatz und die Verbreitung über das Saatgut zurück. Die Förderung des Ackerfuchsschwanzes auf Schlagebene ist auf den Mähdrusch (stärkerer Ausfall, Verteilung der Samen) aber auch auf die jahrelange Herbizidanwendung mit alleiniger Wirkung gegen dikotyle Arten (z.B. 2,4-D, Dichlorprop) zurückzuführen. Mit der einseitigen Herbizidanwendung wurde Ackerfuchsschwanz aus der Unkrautpopulation selektiert, weil er sich infolge fehlender interspezifischer Konkurrenz besonders gut entwickeln konnte. MENCK (1968) sah seitens der Fruchtfolgegestaltung Anteile von 60 bis 65 % Getreide (davon 30 bis 35 % Winterweizen, 10 bis 15 % Wintergerste) mit 10 bis 15 % Winterraps als Grenzwerte für den Anteil von Winterkulturen an. Den großen Einfluss des Getreideanteils auf den Besatz mit Ackerfuchsschwanz zeigen auch Untersuchungen von BRÜCKNER (1958) vor ca. 60 Jahren in der Soester Börde (Abb. 2).

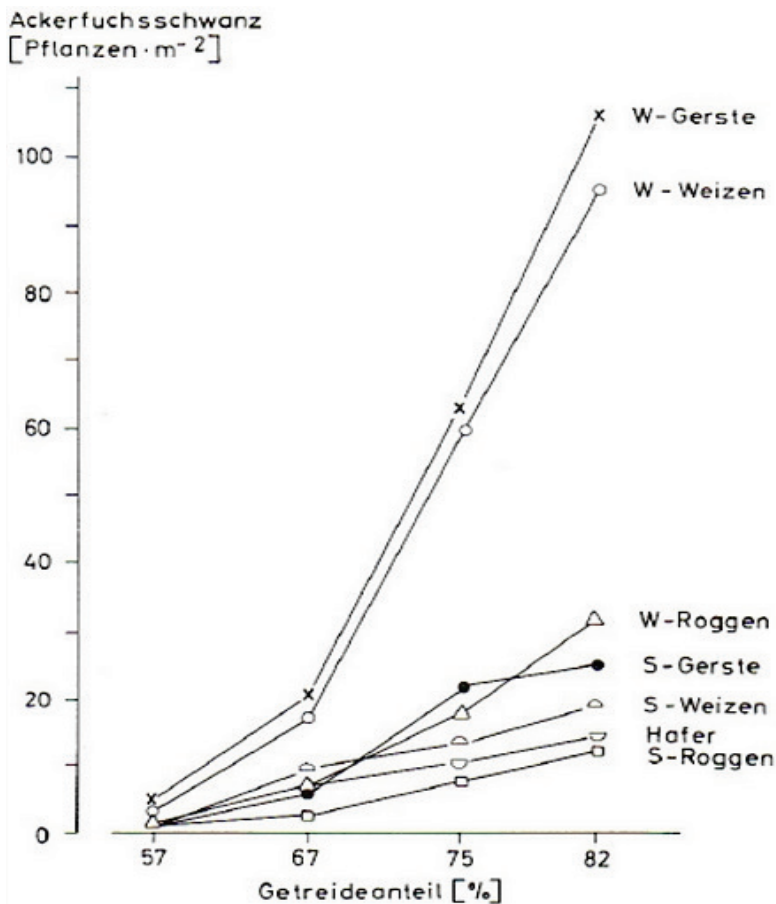


Abbildung 2 Einfluss des Getreideanteils in der Fruchtfolge auf den Ackerfuchsschwanzbesatz (Pfl./m²)

Figure 2 Influence of cereal rate within the crop rotation on the density of black grass (*Alopecurus myosuroides*, plants/m²)

Eine Steigerung des Getreideanteils war stets mit einer Zunahme der Besatzstärke von Ackerfuchsschwanz verbunden. Dies traf vor allem für Wintergerste und Winterweizen zu. Der konkurrenzstarke Winterroggen unterdrückte dagegen den Ackerfuchsschwanz, auch bei zunehmendem Getreideanteil in der Fruchtfolge in einem Maße, wie es beim Anbau vom Sommergetreide insbesondere beim Anbau von Hafer und Sommerroggen zu beobachten war. Die starke Konkurrenz von Hafer bestätigen auch neuere Untersuchungen (VOßHENNRICH et al., 2018). Vorfrucht und Bodenbearbeitung beeinflussen ebenfalls den Besatz mit Ackerfuchsschwanz, wobei die Mulchsaat den Ackerfuchsschwanzauflauf in Weizen nach Weizen, aber nicht nach Zuckerrüben, förderte (Tab.1). Nach COLBACH et al. (2009) reduzierte ein 3-jähriger Luzerneanbau den Ackerfuchsschwanz um 90 %. In Marktfruchtbetrieben dürfte dies aus ökonomischen Gründen nur praktiziert werden, wenn infolge multipler Herbizidresistenzen der Getreideanbau selbst unter Einbeziehung von Sommerkulturen nicht mehr gewährleistet ist. Eine Erweiterung von engen Wintergetreide-Fruchtfolgen (häufig 80 bis 100 % Winterungen bis hin zur Monokultur von Winterweizen) auf 50 % Wintergetreide mit Sommerungen (Hafer, Sommergerste, Sommerweizen, Mais, Kartoffeln, Leguminosen bzw. Feldfutter) ist mittlerweile auf Ackerfuchsschwanz-Problemflächen unumgänglich. ZELLER et al. (2018) konnten in einem Dauerversuch belegen, dass im Vergleich zu einem ständigen Anbau von Winterweizen ein zwanzigprozentiger Anteil von Sommergerste den Ackerfuchsschwanzbesatz nach fünf Jahren um 35 % verminderte. Bei zusätzlicher Einbeziehung von Mais (40 % Sommerkulturen) lag der Rückgang bei 50 %. Diese Effekte waren darüber hinaus auch auf den Zwischenfruchtanbau mit Phacelia nach dem Weizen, sowie dem Einsatz von Glyphosat vor der Aussaat von Sommergerste und Mais zurückzuführen.

Tabelle 1 Einfluss von Vorfrucht und Bodenbearbeitung auf den Besatz von Ackerfuchsschwanz (Pfl./m²) in Winterweizen (Adenstedt, 1997 und 1998)

Table 1 Influence of previous crop and soil cultivation on density of black grass (*Alopecurus myosuroides*, plants/m²) in winter wheat (Adenstedt, 1997 and 1998)

Vorfrucht	Zuckerrüben		Winterweizen	
Bodenbearbeitung	Pflug	Mulchsaat	Pflug	Mulchsaat
Besatz	10	2	11	233

Windhalm (*Apera spica-venti*)

Der Windhalm ist nach dem Ackerfuchsschwanz das bedeutendste Ungras in den Winterungen. Befallsschwerpunkte bildeten anfänglich diluviale Sand- und Lehm Böden (ARLT et al., 1995). Infolge des hohen Anteils von Winterungen in der Fruchtfolge tritt er mit Ausnahme von schweren Lehm- und Tonböden (hier dominiert der Ackerfuchsschwanz) auf nahezu allen Standorten auf.

Da innerhalb der Windhalmpopulation der Anteil der Frühjahrskeimer im Vergleich zum Ackerfuchsschwanz sehr gering ist, hat er in Sommerungen bisher keine wirtschaftliche Bedeutung, so dass deren Anbau den Windhalm erheblich reduzieren kann. Der Wechsel von Blatt- und Halmfrüchten ist eine wirksame Maßnahme zur Windhalmkontrolle (Tab. 2).

Tabelle 2 Einfluss von Vorfrucht, Bodenbearbeitung und Herbizidanwendung auf Auflauf und Wachstum von Windhalm im nachfolgenden Wintergetreide (Glaubitz, 1997, viertes Versuchsjahr)

Table 2 Influence of previous crop, soil cultivation and herbicide application on germination and development of silky bent grass (*Apera spica-venti*) in subsequent winter cereals (Glaubitz, 1997, fourth experimental year)

Vorfrucht	Getreide				Raps				Kartoffeln/Mais			
Bodenbearbeitung	Pflügen		Pfluglos		Pflügen		Pfluglos		Pflügen		Pfluglos	
Herbizid	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Pfl. je m ²	883	303	1485	842	64	33	72	35	24	15	21	17
Rispen je m ²	199	13	703	26	102	1	58	1	14	0	19	0,3

Der Herbizideinsatz konnte den Fruchtfolgeeffekt zwar abschwächen aber nicht eliminieren.

Ob eine nicht wendende Bodenbearbeitung den Auflauf von Windhalm fördert, hängt von der Vorfrucht ab. Nach Vorfrüchten ohne Windhalmesatz, wie z. B. Mais und Kartoffeln, aber auch nach Zuckerrüben und Körnerleguminosen, ist nach pflugloser Bodenbearbeitung ein geringerer Windhalm- und Auflauf zu beobachten, da sich weniger Samen des flach keimenden Windhalms im Keimhorizont befinden. Das Ausmaß der Vermehrung durch die pfluglose Bodenbearbeitung korreliert daher mit der Stärke des Rispenbesatzes in der Vorfrucht (PALLUTT & GRÜBNER, 2004).

Neben einem erhöhten Getreideanteil kann auch eine nicht standortgerechte Fruchtfolge das Windhalmwachstum begünstigen. Auf einem Grenzstandort für den Weizenanbau konnte selbst durch eine Herbizidanwendung der Besatz des Windhalms infolge des schlecht entwickelten Weizenbestandes nicht ausreichend eingeschränkt werden. Durch den Austausch des Weizens durch den konkurrenzstärkeren Roggen ging der Besatz von Windhalm drastisch zurück (PALLUTT, 2002).

Flughafer (*Avena fatua*)

Sommergetreide betonte Fruchtfolgen fördern insbesondere auf schweren Böden den Flughafer (RADEMACHER et al., 1964). Mit der Abnahme des Sommergetreideanbaus verlor er an Bedeutung. In einigen

klimalisch günstigeren Gebieten (z.B. Rheinhessen, Pfalz) mit einem hohen Anteil an Sommerungen (Sommergerste, Zuckerrübe) hat er allerdings an Bedeutung gewonnen. Die dortige Ausbreitung des Flughafers ist besonders kritisch zu bewerten, weil die Auswahl an Flughafers-wirksamen Herbiziden eng begrenzt ist und mittlerweile wiederholt Resistenzen nachgewiesen wurden (AUGUSTIN & MENNE, 2014). Mit einem ausgewogenen Anteil an Winterungen kann dem Flughafersauftreten in diesen Gebieten erheblich entgegengewirkt werden.

Hirsearten

Die Hirsearten, vornehmlich Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) und Borstenhirse (*Setaria spp.*), kamen nach ARLT et al. (1995) in der ehemaligen DDR vorwiegend auf Diluvialstandorten vor. Hierbei waren die östlichen Anbauggebiete stärker betroffen als die westlichen. Hirsearten sind typische Ungräser in Hackfrüchten (Kartoffeln, Zuckerrüben) aber auch Mais. Diese Aussagen dürften grundsätzlich auch für die alten Bundesländer zutreffen. Die von KOCH (1970) geäußerte Ansicht, dass wärmeliebende Unkräuter vorwiegend in den wärmeren Gebieten Süddeutschlands auftreten und ungefähr mit dem Weinbau ihre Nordgrenze erreichen trifft auf Grund des mit dem Klimawandel einhergehenden Temperaturanstiegs nicht mehr zu.

Zur Förderung des Hirsevorkommens trug auch der in der Vergangenheit einseitige Einsatz von Triazinen im Mais bei, der die dikotylen Arten bekämpfte und durch Ausschaltung der interspezifischen Konkurrenz das Wachstum der Hirsearten begünstigte (KOCH & HURLE, 1978). Die Entwicklung von Herbizidresistenzen verschaffte den Hirsen zusätzliche Konkurrenzvorteile. Fruchtfolgen mit hohem Maisanteil (gebietsweise bis 100 %), fördern längerfristig das Auftreten von Hirsearten. Ein hoher Maisanteil in der Fruchtfolge hat im Hinblick auf die Ausbreitung der Hirsearten ähnliche Effekte wie ein hoher Wintergetreideanteil bei Ackerfuchsschwanz und Windhalm.

Diskussion

Obwohl seit Jahren die Intensität der Herbizidanwendung in Deutschland ein hohes Niveau erreicht hat (Anwendung von jährlich ca. 15.000 t herbizider Wirkstoffe/Jahr, Internetseite JKI), sind neue Probleme bei der Unkrautbekämpfung entstanden. Sie betrafen anfangs die Selektion schwer bekämpfbarer Arten innerhalb der Unkrautflora. Dies wurde bisher durch die Entwicklung neuer herbizider Wirkstoffe, Herbizidkombinationen, Tankmischungen und Herbizidfolgen gelöst.

Die aktuellen Pflanzenbauverfahren verstärken die Probleme bei der Unkrautkontrolle, weil sie die Konkurrenzkraft von Getreide und Raps vermindern. Der Anbau von Sorten mit geringer Bestandshöhe, die Einkürzung der Bestände mit Wachstumsregulatoren, Dünnsaaten und der Ersatz des konkurrenzstarken Winterroggens durch den konkurrenzschwachen Weizen, selbst auf Grenzstandorten, seien hier beispielhaft genannt. Diese Problematik wird durch pfluglose Bodenbearbeitung (z. Z. ca. 40 % der Ackerfläche in Deutschland, ANONYM 2021a) noch verschärft, insbesondere, wenn dauerhaft auf den Pflug zur Grundbodenbearbeitung verzichtet wird.

Die wichtigste Ursache für die derzeit bestehenden Probleme bei der Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz und Windhalm ist der hohe Anteil der Winterungen in der Fruchtfolge. Der Anbau von Feldfutter (Klee, Luzerne und deren Gemische mit Gras) ist gegenwärtig von geringer Bedeutung. Körnerleguminosen (Erbse, Ackerbohne, Lupine) haben derzeit keinen relevanten Stellenwert. Die Kartoffelanbaufläche ist ebenfalls in den letzten zwei Jahrzehnten deutlich zurückgegangen (ANONYM, 2021b).

Fruchtfolgen mit hohem Wintergetreideanteil führen zu einer einseitigen, von Ungräsern dominierten, Unkrautflora. Zu ihrer Regulierung steht nur eine eingeschränkte Auswahl von Herbiziden zur Verfügung. Die häufige Anwendung von Präparaten mit gleichem oder ähnlichem Wirkungsmechanismus führt

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
zwangsläufig zur Entwicklung von Herbizidresistenzen. Darüber hinaus fördert eine ständige Anwendung reduzierter Aufwandmengen die Entwicklung von metabolischen Herbizidresistenzen.

Die Gestaltung von ausgewogenen Fruchtfolgen ist eine wirksame Maßnahme zur Lösung der dargelegten Probleme. Idealerweise sollten Halm- und Blattfrüchte, sowie Winterungen und Sommerungen, jährlich oder jedes zweite Jahr wechseln. Dies wird in den meisten Fällen kaum zu erreichen sein. Ohne die stärkere Einbeziehung von Sommerungen (z.B. Sommergetreide, Körnerleguminosen) und der teilweise Ersatz von Mais durch Feldfutter (z.B. Luzerne, Kleeegrasmischungen) in Betrieben mit Rinderhaltung und Biogaserzeugung, sind die gegenwärtigen Bekämpfungsprobleme vor allem bei Ackerfuchsschwanz und Windhalm kaum zu lösen. Auf Grenzstandorten für den Weizenanbau sollte auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten der Weizen durch den konkurrenzstärkeren Roggen ersetzt werden.

Eine aus arbeitswirtschaftlichen und Erosionsschutz Gesichtspunkten praktizierte, dauerhaft pfluglose Bewirtschaftung kann nur in ausgewogenen Fruchtfolgen erfolgreich gelingen (PALLUTT, 2010). Es gilt standortspezifische, schlagkräftige Verfahren zur Grundbodenbearbeitung zu etablieren, um den zusätzlichen Unkrautdruck zu reduzieren der durch den absehbaren Verlust von Glyphosat zu erwarten ist.

Literatur

- ANONYM, 2021a: Access: 14. November 2021, ULR:<https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Produktionsmethoden/aktuell-bodenbearbeitung>.
- ANONYM, 2021b: Access: 20. November 2021, ULR:<https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/ackerland-hauptnutzungsarten-kulturarten>.
- ARLT, K.; S. ENZIAN, B. PALLUTT, 1995: Verbreitung landwirtschaftlich wichtiger Unkrautarten in den östlichen Bundesländern. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft **312**, 77 S.
- AUGUSTIN, B., H.J. MENNE, 2014: Herbizidresistenz von Flughäferherkünften aus Rheinland-Pfalz. Julius-Kühn-Archiv **443**, 320-323.
- BRÜCKNER, P., 1958: Untersuchung über die Verbreitung des Ackerfuchsschwanzes im Kreis Soest und die Möglichkeiten zu seiner Bekämpfung. Diss. Universität Bonn
- COLBACH, N., D.A.G. KURSTJENS, N.M. MUNIER-JOLAIN, A. DALBIES, T. DORE, 2009: zitiert in VORHENNRICH, H.-H., M. LANDSCHREIBER, U. HENNE, C. SCHLEICH-SAIDFAR, J. EPPERLEIN, K. OLDROGG-ENGE, H. MATTHIESEN, 2018: Entwicklung nachhaltiger Methoden zur Ackerfuchsschwanzbekämpfung. Thünen Working Paper **99**, 163 S.
- FRYER, J.B., 1979: Key factors affecting important weed problems and their control. Proc. EWRS-Symp. „The influence of different Factors of the Development and Control of Weeds“, Mainz, S. 13-23.
- KOCH, W., 1970: Unkrautbekämpfung. Eugen Ulmer Stuttgart, S. 50-53.
- KOCH, W., K. HURLE, 1978: Grundlagen der Unkrautbekämpfung, S. 48.
- MENCK, B.H., 1968: Biologie des Ackerfuchsschwanzes (*Alopecurus myosuroides* Huds.) und seine Verbreitung in Schleswig-Holstein. Inaugural-Diss. Christian-Albrechts Universität zu Kiel
- PALLUTT, B., J. HAAS, 1992: Beiträge zur integrierten Unkrautbekämpfung im Getreidebau. 1. Mechanisch-chemische Unkrautbekämpfung im Rahmen von Fruchtfolgen. Gesunde Pflanzen **44**, 215-222.
- PALLUTT B., 1999: Einfluss von Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Herbizidanwendung auf Populationsdynamik und Konkurrenz von Unkräutern in Wintergetreide. Gesunde Pflanzen **51**, 109-120.
- PALLUTT, B., 2002: Maßnahmen zur Unkrautbekämpfung. In Zwerger, P., Ammon, H. U.: Unkraut Ökologie und Bekämpfung. Eugen Ulmer Stuttgart, 105-117.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

PALLUTT, B., P. GRÜBNER, 2004: Langzeitwirkung ausgewählter Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Verunkrautung am Beispiel des Getreides. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft **14**, 969-979.

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

RADEMACHER, B., W. KOCH, B. WÜRZER, 1964: Gramineous weeds in cereals in West Germany and their control, Proc. 7th. British Weed Control Conference **1**, 146-152.

VOBHENNRICH, H.-H., M. LANDSCHREIBER, U. HENNE, C. SCHLEICH-SAIDFAR, J. EPPERLEIN, K. OLDROGG-ENGE, H. MATTHIESEN, 2018: Entwicklung nachhaltiger Methoden zur Ackerfuchsschwanzbekämpfung. Thünen Working Paper **99**, 163 S.

ZELLER, A.K., Y.I. KAISER, R. GERHARDS, 2018: Suppressing *Alopecurus myosuroides* Huds. in Rotations of Winter-Annual and Spring Crops, Agriculture **8**, 91; doi: 103390/agriculture8070091

Einfluss der Intensität der Herbizidbehandlung auf die Entwicklung der Unkrautflora und die Ökonomik im Ackerbau - Erfahrungen aus einem Dauerversuch

Influence of the intensity of herbicide treatment on the development of weed flora and the economics of agriculture

Klaus Gehring*, Thomas Festner, Stefan Thyssen

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, 85354 Freising

*klaus.gehring@lfl.bayern.de

DOI: 10.5073/20220117-135818

Zusammenfassung

In einem Dauerversuch am Standort Puch in Oberbayern wurde der Einfluss der chemischen Unkrautregulierung in unterschiedlicher Intensität und nach unterschiedlichen Behandlungskonzepten auf die Entwicklung der Unkrautflora, die Unkrautregulierung und die Ökonomik im Zeitraum von 2003 bis 2021 untersucht. In einer Fruchtfolge mit Winter- und Sommergetreide, Winterraps, Silomais und Zuckerrüben erfolgte der Herbizideinsatz mit dem Ziel einer möglichst effizienten Breitenwirkung im Vergleich zur gezielten Regulierung der vorhandenen Leitunkräuter und zu Behandlungen mit stark reduzierten Aufwandsmengen. Die unterschiedlichen Behandlungskonzepte und Behandlungsintensitäten hatten keinen signifikanten Einfluss sowohl auf die Vielfalt der Unkrautarten, als auch auf die Ertragsabsicherung und Ökonomik im Anbau von Getreide, Mais und Winterraps. Die Ergebnisse müssen allerdings unter dem Aspekt einer relativ leicht zu regulierenden Unkrautflora mit einjährigen, zweikeimblättrigen Unkräutern betrachtet werden.

Stichwörter: Artenvielfalt, Getreide, Mais, Pflanzenschutz, Raps, Unkrautregulierung, Zuckerrüben

Abstract

In a continuous trial at the Puch site in Upper Bavaria, the influence of chemical weed regulation was investigated to varying degrees and according to different treatment concepts on the development of weed flora, weed regulation and economics in the period from 2003 to 2021. In a crop rotation with winter and summer cereals, winter oilseed rape, silage maize and sugar beet, the herbicide was used with the aim of achieving the most efficient broad effect possible, compared to the targeted regulation of the existing lead herbs and to treatments with greatly reduced application rates. The different treatment concepts and treatment intensities did not have a significant influence on the diversity of weed species, as well as on yield protection and economy in the cultivation of cereals, maize and winter oilseed rape. However, the results have to be seen from the point of view of a relatively easy to regulate weed flora with annual, dicotyledonous weeds.

Keywords: Biodiversity, cereals, crop protection, maize, oilseed rape, sugar beet, weed control

Einleitung

Die Intensität des Pflanzenschutzmitteleinsatzes steht schon lange im Fokus der Diskussion zum Integrierten Pflanzenschutz. In kulturspezifischen Leitlinien wird für den Einsatz von Pflanzenschutzmittel das „notwendige Maß“ als Grenze für die Behandlungsintensität vorgegeben (BMEL, 2021). Neben grundsätzlichen Entscheidungshilfen, wie den Schadensschwellen für den Herbizideinsatz im Getreidebau, liegen keine konkreten Vorgaben für die Intensität der Herbizidanwendung vor (GEROWITT & HEITEFUSS, 1990). Aktuell wird die Pflanzenschutzintensität kontrovers in Bezug auf eine nachhaltige Pflanzenproduktion und den Schutz der Biodiversität im Agrarraum diskutiert (MEYER, 2014). Zur

Überprüfung verschiedener Konzepte und Intensitäten der chemischen Unkrautregulierung im Ackerbau wurde bereits 1976 ein Dauerversuchsprogramm gestartet (GEHRING et al., 2006). Der vorliegende Bericht liefert eine Auswertung der Versuchsperiode 2003 bis 2021 in Bezug auf die Entwicklung der Unkrautflora, die Unkrautregulierung und die Ökonomik in einer Marktfruchtfolge unter verschiedenen Konzepten zum Herbizid-Einsatz und zur Intensität der chemischen Unkrautregulierung.

Material und Methoden

Zur Überprüfung der Auswirkungen einer gezielten bzw. schwellenorientierten chemischen Unkrautregulierung im Vergleich zu einer reduzierten Herbizidanwendung auf die Unkrautflora, die Ertragsleistung und die Ökonomik im Ackerbau wird auf dem Versuchsgut Puch (Lkrs. Fürstenfeldbruck) der Bayerischen Staatsgüter seit 1976 ein Dauerfeldversuch durchgeführt (GEHRING et al., 2006). Der Versuchsstandort (WGS 84 lat 48.19020, lon 11.21470) charakterisiert sich als Lösslehm auf Rißmoräne (uL) in 550 mNN mit einer langjährigen Jahresdurchschnittstemperatur von 7,5 °C und einem Jahresniederschlag von 900 mm. Im berichteten Versuchszeitraum lagen die Jahresdurchschnittstemperatur bei 9,0 °C und der Jahresniederschlag bei 858 mm (AGRARMETEOROLOGIE BAYERN, 2021).

Das Untersuchungsprogramm (Tab. 1) wurde als Exaktversuche in einer randomisierten Parzellenanlage (50 m² je Parzelle) in 4-facher Wiederholung durchgeführt. Die Applikationen wurden mit einer angetriebenen, handgeführten Parzellenspritze (Typ: Schachtner, 3 m Arbeitsbreite) ausgebracht. Die Unkrautflora wurde durch Auszählung der Pflanzendichte und Bonitur des Deckungsgrades erhoben. Die Bewertung der Herbizidleistung erfolgte durch Bonitur. Mit Ausnahme bei Zuckerrüben wurde regelmäßig eine Ertragserhebung vorgenommen. Die statistische Auswertung der Versuchsdaten erfolgte mittels Varianzanalyse bzw. Rangvarianzanalyse (UNISTAT LTD., 2015).

Tabelle 1 Untersuchungsprogramm: Behandlungskonzept, Wirkstoffauswahl und Aufwandmengengestaltung

Table 1 Investigation program: treatment concept, selection of active ingredients and design of application amounts

#	Behandlungsvariante
V1	Kontrolle, unbehandelt
V2	Ortsüblich, optimal, weitgehend ohne ALS-Inhibitoren
V3	Gute fachliche Praxis, gezielt bzw. schwellenorientiert, bevorzugt mit ALS-Inhibitoren
V4	Reduziert, 50 % MTP bzw. 50 % AWM von V3
ALS = Acetolactate-Synthase, AWM = Aufwandmenge, MTP = maximal tolerierbare Pflanzenschutzmittelintensität (BURTH et al., 2002)	

Im hier berichteten Versuchszeitraum von 2003 bis 2021 wurde bis 2013 eine 4gliedrige Fruchtfolge mit Winterweizen, Wintergerste, Hafer und Zuckerrüben durchgeführt. Ab 2014 wurde die Fruchtfolge auf 6 Glieder mit den Kulturen Winterweizen im Wechsel mit Winterraps, Silomais und Zuckerrüben ausgeweitet. Für den Anbau von Raps, Mais und Rüben wurden herbizidresistente Sorten verwendet und die entsprechenden Komplementär-Herbizide eingesetzt. Mit der Ausweitung der Fruchtfolge wurde auch die Aufwandmengenreduktion in Variante 4 von einem kalkulatorischen Ansatz (MTP x 0,5) auf einen direkten Bezug zu Variante 3 (50 %ige AWM) angepasst.

Tabelle 2 Herbizid-Behandlungsintensität (Behandlungsindex, BI) in Abhängigkeit von Behandlungsvariante und Kultur

Table 2 Herbicide treatment intensity (treatment index, BI) depending on treatment variant and culture

	Behandlungsvariante		
Kultur	V2	V3	V4
Winterweizen	1,48	1,32	0,75
Wintergerste	1,13	1,48	0,77
Hafer	1,38	1,33	1,04
Silomais	1,65	1,28	0,64
Winterraps	1,97	1,00	0,50
Zuckerrüben	2,84	3,35	1,47

In den Versuchen wurden zugelassene und praxisübliche Präparate eingesetzt. Durch die Mittelauswahl und Aufwandmengengestaltung wurde hierbei in V2 eine möglichst gute Breitenwirkung angestrebt, während in V3 eine gezielte, schadsschwellenorientierte Behandlung der Leitunkräuter mit höheren Besatzdichten erfolgte. Im Mittel über die gesamte Versuchsperiode von 2003 bis 2021 betrug die Behandlungsintensität im Durchschnitt aller Kulturen in V2 einen Behandlungsindex (BI) von 1,8 (SD 0,9), in V3 einen BI von 1,7 (SD 1,2) und in der reduzierten Variante V4 einen BI von 0,9 (SD 0,6). Bezogen auf V3 erfolgte der relativ niedrigste Herbizideinsatz in Winterraps, während die höchste Behandlungsintensität in Zuckerrüben eingesetzt wurde (Tab. 2)

Ergebnisse

Unkrautflora

Aufgrund der Vorlaufzeit des Versuches hat sich in der Versuchsperiode 2003 bis 2021 in der unbehandelten Kontrolle (V1) eine deutlich höhere und stabile Unkrautflora im Vergleich zu den Behandlungsvarianten (V2-4) etabliert (Abb. 1). Die beiden dominierenden Unkräuter *Galeopsis tetrahit* (GAETE) und *Lamium purpureum* (LAMPU) hatten dabei eine um den Faktor 3,75 höhere Abundanz in V1 gegenüber V2-4. Ab einer artspezifischen Abundanz von <10 Pfl./m² in V1 traten keine Unterschiede zwischen V1 und V2-4 auf.

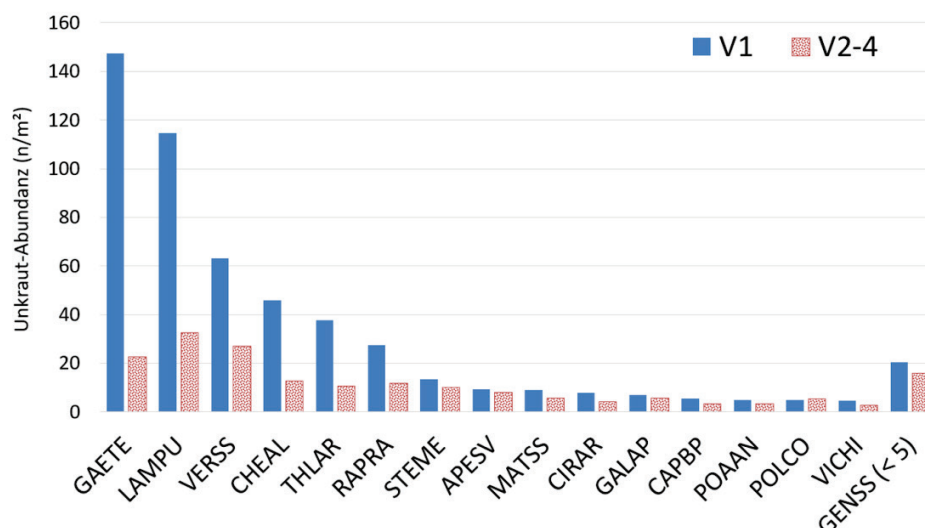


Abbildung 1 Unkrautflora in der unbehandelten Kontrolle (V1) im Vergleich zu den Behandlungsvarianten (V2-4) im Mittel der Versuchsperiode 2003-2021.

Figure 1 Weed flora in the untreated control (V1) compared with the treatment variants (V2-4) in the mean of the experimental period 2003-2021.

In der Vielfalt der Unkrautarten traten in den Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle keine signifikanten Unterschiede auf (Abb. 2). Im Mittel über die Versuchsperiode 2003-2021 lag die Unkrautartenvielfalt in der Kontrolle bei 17,6 Arten (SD 2,6) gegenüber 18,2 Arten (SD 2,4) in V2, 18,1 Arten (SD 2,8) in V4 und 17,8 Arten (SD 2,9) in V3.

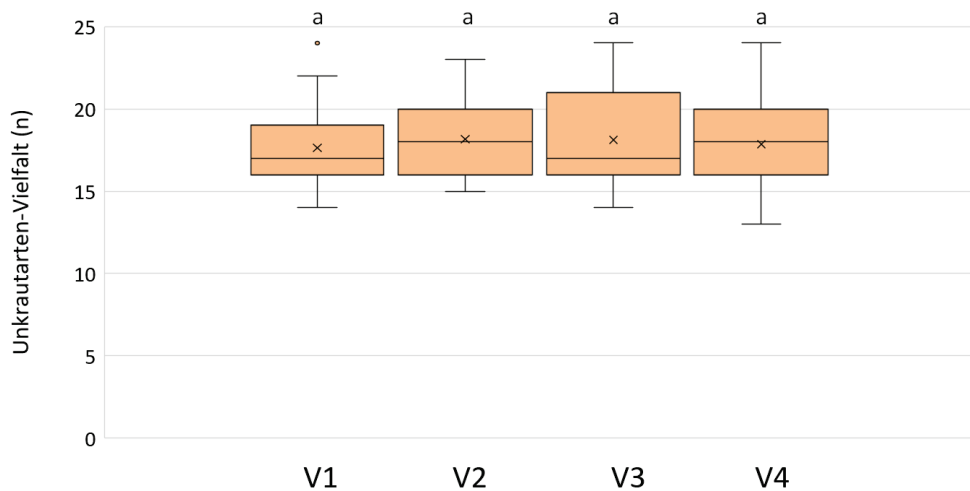


Abbildung 2 Vielfalt der Unkrautflora in den Behandlungsvarianten (V2-4) im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (V1) im Verlauf der Versuchsperiode. Statistik Kruskal-Wallis one-way ANOVA.

Figure 2 Diversity of the weed flora in the treatment variants (V2-4) compared with the untreated control (V1) during the experimental period. Statistics Kruskal–Wallis one-way analysis of variance.

Unkrautregulierung, Ertragsabsicherung und Ökonomik

Die erzielte Unkrautregulierungsleistung lag bei den Behandlungsvarianten V2 und V3 auf einem hohen bis sehr hohen Niveau (Abb. 3). Signifikante Unterschiede in der Unkrautregulierung traten zwischen den beiden Konzepten nicht auf. Die durchschnittliche Gesamt-Unkrautwirkung betrug bei V2 94,4 % (SD 4,0 %) gegenüber 96,1 % (SD 2,4 %) in V3. Die Variante V4, mit stark reduzierter Herbizidaufwandmenge, erzielte dagegen mit einer mittleren Gesamt-Unkrautwirkung von 86,3 % (SD 14,4 %) eine signifikant schwächere Regulierungsleistung.

Die relativ schwächere Unkrautregulierungsleistung der Variante V4 hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Ertragsabsicherung im Vergleich mit den Varianten V2 und V3 (Abb. 4). Im Mittel erzielten die 3 verschiedenen Behandlungskonzepte in Getreide, Winterraps und Silomais eine gleichwertige Ertragsabsicherung von relativ 140 % gegenüber der unbehandelten Kontrolle.

In Zuckerrüben wurde in der Versuchsperiode, aus arbeitstechnischen Gründen, nur in den Jahren 2012 und 2019 eine Ertragserhebung durchgeführt. Hierbei traten wesentlich höhere Effekte in der Ertragsabsicherung durch die Behandlungsvarianten auf (Ertrag relativ 514-880 %). Da die Behandlungen in Conviso-Smart®-Rüben im Jahr 2019 bisher allerdings noch nicht ökonomisch bewertet werden können, wurden die Ertragsleistungen in Zuckerrüben in der Gesamtauswertung nicht berücksichtigt.

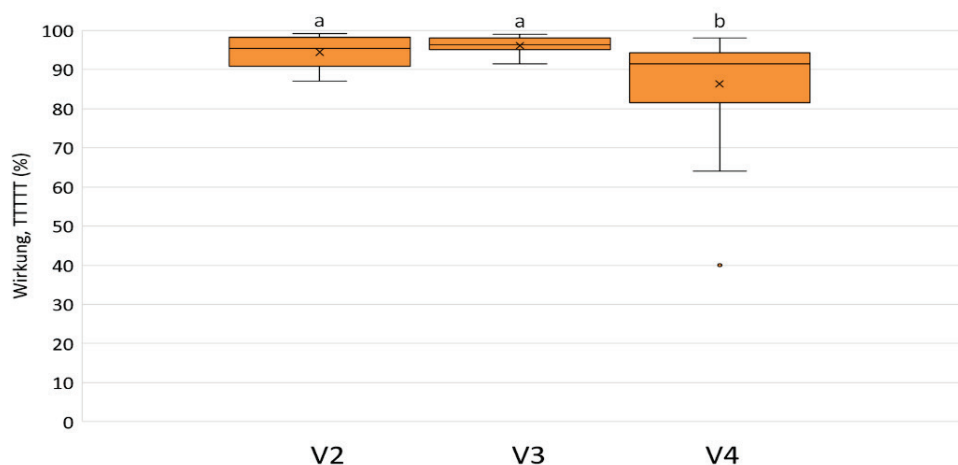


Abbildung 3 Unkrautregulierung im Vergleich der verschiedenen Behandlungsvarianten. Statistik Kruskal-Wallis one-way ANOVA.

Figure 3 Weed control in comparison of different treatment options. Statistics Kruskal–Wallis one-way analysis of variance.

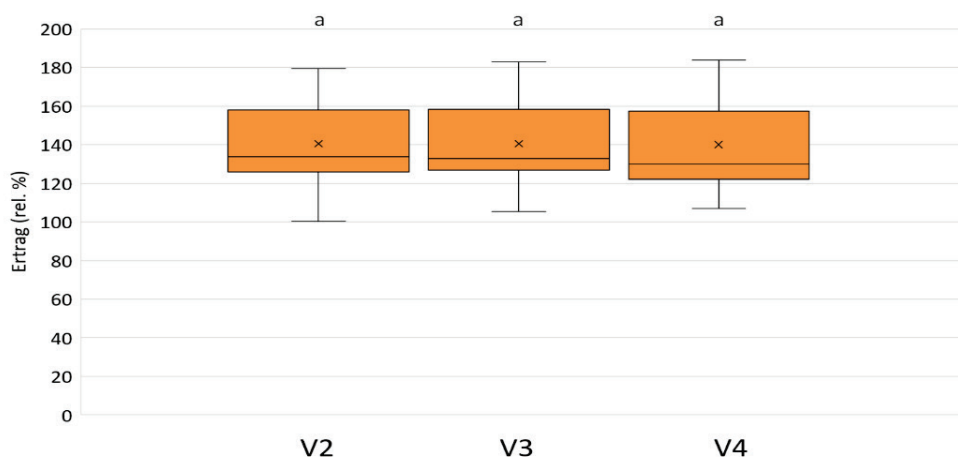


Abbildung 4 Ertragsabsicherung im Vergleich der verschiedenen Behandlungsvarianten in Getreide, Winterraps und Mais. Statistik Kruskal-Wallis one-way ANOVA.

Figure 4 Yield protection compared with the different treatment options in cereals, winter oilseed rape and maize. Statistics Kruskal–Wallis one-way analysis of variance.

Die gleichwertige Ertragsabsicherung der verschiedenen Behandlungsvarianten hat eine ebenfalls gleichwertige ökonomische Leistung zur Konsequenz (Abb. 5). Im Vergleich erzielte die Variante V2 eine bereinigte Marktleistung von 1.176 € ha⁻¹ (SD 507 € ha⁻¹) im Mittel über die Fruchtfolgeglieder Getreide, Winterraps und Silomais. Die Ergebnisse für V3 mit Ø 1.181 € ha⁻¹ (SD 510 € ha⁻¹) und V4 mit Ø 1.183 € ha⁻¹ (SD 479 € ha⁻¹) sind absolut gleichwertig.

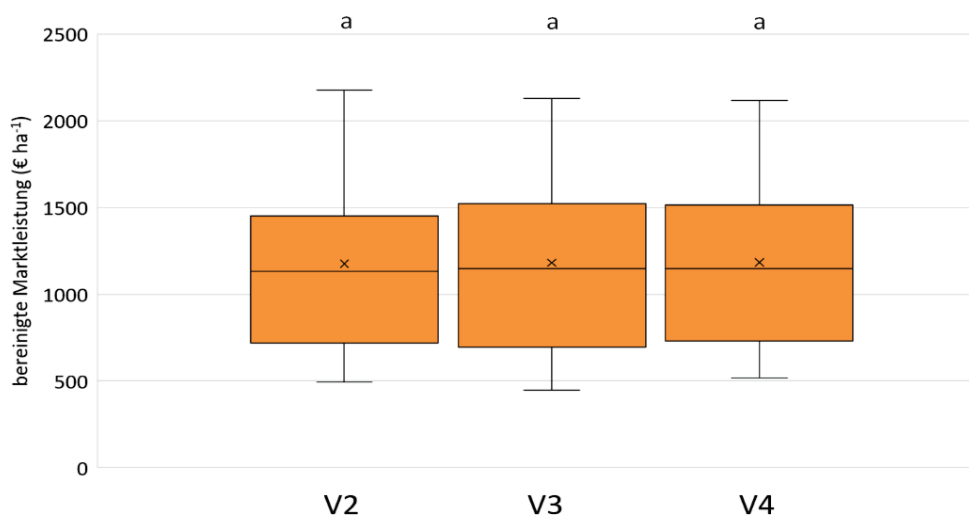


Abbildung 5 Ökonomik in Getreide, Winterraps und Mais im Vergleich der verschiedenen Behandlungsvarianten. Statistik Kruskal-Wallis one-way ANOVA.

Figure 5 Economic feasibility in cereals, winter oilseed rape and maize compared to the different treatment options. Statistics Kruskal–Wallis one-way analysis of variance.

Die geringen Unterschiede in der Unkrautregulierungsleistung und die gleichwertige Leistung in der Ertragsabsicherung und Ökonomik im Vergleich der geprüften Behandlungskonzepte müssen in diesem Dauerversuch unter dem Aspekt einer relativ einfach zu regulierenden Unkrautflora mit vorwiegend einjährigen zweikeimblättrigen Unkräutern betrachtet werden. Die in den letzten Versuchsjahren in geringem Umfang aufgetretenen Samenungräser *Apera spica-venti* (7-10 Pfl./m²) und *Poa annua* (3-5 Pfl./m²) konnten bis auf der Variante mit stark reduziertem Herbizideinsatz V4 ausreichend sicher bekämpft werden.

Der Dauerversuch wird mit dem aktuellen Konzept weitergeführt, um mögliche Veränderungen in der Entwicklung der Unkrautflora und den resultierenden Leistungen unterschiedlicher Behandlungsvarianten feststellen zu können.

Literatur

- AGRARMETEOROLOGIE BAYERN, 2021: Klimadaten der Messstation Puch, Lkrs. Fürstenfeldbruck. URL: <https://www.wetter-by.de/>
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, BMEL, 2021: Integrierter Pflanzenschutz. URL: <https://www.nap-pflanzenschutz.de/integrierter-pflanzenschutz/leitlinien-ips/>
- BURTH, U., V. GUTSCHE, B. FREIER, D. ROßBERG, 2002: Das notwendige Maß bei der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes **54** (12), 297-303.
- GEHRING, K., T. FESTNER, S. THYSEN, 2006: Anpassung der Unkrautflora an eine unterschiedliche Intensität der Herbizidbehandlung. Gesunde Pflanze **58**, 52-56.
- GEROWITT, B., R. HEITEFUSS, 1990: Weed economic thresholds in cereals in the Federal Republic of Germany. Crop Protection **9** (5), 323-331.
- MEYER, R., 2014: Diversity of European Farming Systems and Pathways to Sustainable Intensification. Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis **23** (3), 11-21.
- UNISTAT LTD., 2015: User Guide, Version 6.5. London, UK, 1244 p.

Auswirkungen reduzierter Herbizidaufwandmengen auf den Unkrautdeckungsgrad dikotyler Unkräuter – Ergebnisse aus einem Dauerfeldversuch

Effects of reduced herbicide application rates on weed coverage of dicotyledonous weeds - results from a long-term field trial

Jürgen Schwarz

Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow

juergen.schwarz@julius-kuehn.de

DOI: 10.5073/20220117-140109

Zusammenfassung

Auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf des Julius Kühn-Instituts, welches sich in Brandenburg befindet (Koordinaten: 52.108494 N, 12.636338 E), wurden in den Jahren 2003 bis 2016 die Auswirkungen reduzierter Pflanzenschutzmittelanwendungen geprüft. Die Fruchtfolge dieses Dauerfeldversuchs bestand aus Mais – Winterweizen 1 (WW1) – Wintergerste (WG) – Kartoffeln – Winterweizen 2 (WW2) – Winterroggen (WR). In den hier vorgestellten Prüffaktoren wurden die Pflanzenschutzmittel nach guter fachlicher Praxis, bzw. des integrierten Pflanzenschutzes, angewandt (Variante 2). Dies konnte auch bedeuten, dass Reduzierungen bezüglich der maximal zugelassenen Aufwandmenge eines Pflanzenschutzmittels vorgenommen wurden. In der Variante 3 wurde die Aufwandmenge bzw. der Behandlungsindex (BI) in Bezug zur Variante 2 um 25 % reduziert und in der Variante 4 erfolgte eine Reduktion um 50 % zur Variante 2. Die Erhebung des Unkrautdeckungsgrades (UDG) in Prozent (%) erfolgte nach Einsetzen der Behandlungswirkung der Herbizide. Es wurden die UDG für jede Unkrautart separat visuell bestimmt. Im Weiteren werden die UDG der vier Getreidearten (WW1, WW2, WG und WR) betrachtet. Beim BI der Herbizide wurde das Anfangsjahr des Versuchs nicht in die Berechnung einbezogen. Der mittlere Herbizid-BI der Jahre 2004 bis 2016 betrug für WG in der Variante 2 0,66; für WR 0,74; für WW1 1,06 und für WW2 1,30. Die geringen BIs sind durch eine sehr gute Fruchtfolge, wendende Bodenbearbeitung, intensives Monitoring der Unkräuter und zeitgerechte Bekämpfung zu erklären. Erwartungsgemäß steigt der UDG mit der Reduktion der Aufwandmengen an. Im Mittel der Jahre lag der UDG (%) in den Varianten 2, 3 und 4 in WG bei 0,46; 0,63 und 1,01; in WR bei 1,14; 2,66 und 1,87; in WW1 bei 1,40; 1,82 und 2,91; und in WW2 bei 0,83; 1,62 und 1,84.

Stichwörter: Behandlungsindex, Fruchtfolge, verminderter Pflanzenschutz

Abstract

The mentioned long-term field trial, located in Brandenburg (Dahnsdorf, coordinates 52.108494 N, 12.636338 E), Germany, was used to test the effects of reduced pesticide applications from the year 2003 to 2016. The crop rotation consisted of maize - winter wheat 1 (WW1) - winter barley (WB) - potatoes - winter wheat 2 (WW2) - winter rye (WR). The tested factors, presented here, include system 2, which is characterized by an application of pesticides according to good practice or integrated pest management. This could mean a reduced standard application dosage. In system 3, the application rate or treatment frequency index (TFI) was reduced by 25% in relation to system 2 and in the system 4, a reduction of 50% to system 2 was made. Weed coverage percentages (WCP) were collected after the onset of the herbicides' treatment effects. The coverage rates were determined visually for each weed species separately. Hereafter, the coverages of the four cereals (WW1, WW2, WB and WR) are regarded. For the TFI of the herbicides, the initial year of the experiment was not included in the calculation. The mean herbicide TFI from 2004 to 2016 was 0.66 for WB in system 2; 0.74 for WR; 1.06 for WW1 and 1.30 for WW2. The low TFI

is explained by several causes: a very good crop rotation, the use of mouldboard ploughing, intensive monitoring of weeds and an herbicide application on time. As expected, WCP increases when application rates are reduced. Over the years, the WCP (average) were 0.46, 0.63 and 1.01 in WB for systems 2, 3 and 4, respectively; 1.14, 2.66 and 1.87 in WR; 1.40, 1.82 and 2.91 in WW1 and 0.83, 1.62 and 1.84 in WW2.

Keywords: crop rotation, reduced pesticide application, treatment frequency index

Einleitung

Die Reduktion des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln wird seit geraumer Zeit diskutiert, auf nationaler Ebene findet dies z. B. Eingang in die Ackerbaustrategie (BMEL, 2020). Hier wird angestrebt, „die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, die nicht als „Low-risk-Produkt“ im Sinne des EU-Pflanzenschutzrechts eingestuft sind, deutlich zu reduzieren.“ Als ein weiteres Ziel wird formuliert, aus der Anwendung glyphosathaltiger Pflanzenschutzmittel bis Ende des Jahres 2023 auszusteigen. Auf Ebene der EU wird derzeit die Farm to Fork Strategie diskutiert (EUROPEAN COMMISSION, 2021). Es ist geplant, den Einsatz und das Risiko von chemischen Pflanzenschutzmitteln bis 2030 um insgesamt 50 % zu reduzieren.

Die sich stellende Frage ist, welche Auswirkungen die Anwendung von reduzierten Aufwandmengen insbesondere auf Unkräuter haben. Dieser Frage wurde und wird in Dauerfeldversuchen nachgegangen (vgl. PALLUTT, 2010; SCHWARZ und MOLL, 2010). Aus eigenen Untersuchungen (PALLUTT et al., 2010) ist bekannt, dass sich Effekte von um 50 % reduzierten Herbiziddosen im Vergleich zur situationsangepassten Aufwandmenge erst nach mehreren Jahren einstellen. Am Standort dauerte dies mehr als 6 Jahre.

Material und Methoden

Das Versuchsfeld Dahnsdorf des Julius Kühn-Instituts liegt im südlichen Brandenburg, nahe der Stadt Bad Belzig im Naturraum „Hoher Fläming“ (Koordinaten: 52.108494 N, 12.636338 E). Die Bodenbeschaffenheit ist lehmiger Sandboden mit 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 2003 bis 2016 betrug die mittlere Jahrestemperatur 9,5 °C und der mittlere Jahresniederschlag 609 mm. Dabei sind die Jahre 2003 mit nur 392 mm Niederschlag und 2007 mit 787 mm Niederschlag als Extrema hervorzuheben.

Der hier betrachtete Dauerfeldversuch wurde im Herbst 2002 angelegt und bis zum Jahr 2016 durchgeführt. Die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres 2003 werden nicht weiter berücksichtigt, da dies das erste Versuchsjahr war und die dort erzielten Ergebnisse mit größeren Unsicherheiten behaftet sind.

Die Fruchtfolge dieses Dauerfeldversuchs bestand aus Mais – Winterweizen 1 (WW1, als A-Weizen) – Wintergerste (WG)– Kartoffeln – Winterweizen 2 (WW2, als E-Weizen) – Winterroggen (WR).

Es wurden 4 verschiedene Pflanzenschutzvarianten geprüft:

1. Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel, in Getreide mechanische Unkrautbekämpfung
2. Integrierter Pflanzenschutz (Referenzvariante als Standard)
3. Reduktion des Behandlungsindex (BI) aller Pflanzenschutzmittel der Variante 2 um 25 %, ansonsten ceteris paribus
4. Reduktion des Behandlungsindex (BI) aller Pflanzenschutzmittel der Variante 2 um 50 %, ansonsten ceteris paribus

Dabei wurden alle Pflanzenschutzmittelgruppen (Herbizide, Fungizide, Insektizide, Wachstumsregler) im BI gleichermaßen reduziert. Im Folgenden werden ausschließlich die BIs der Herbizide betrachtet. Die Grundbodenbearbeitung fand mittels Pflug statt. Weitere Details zum Versuch finden sich bei SCHWARZ et al. (2018).

Vor jeder Behandlung, chemisch oder mechanisch, wurden die Art und Anzahl der Unkräuter in jeder Variante gezählt. Die Applikation der Herbizide fand bei WR und WG immer im Herbst statt; in WW1 bzw. WW2 wurde im Herbst oder im Frühjahr appliziert.

Die Erhebung des UDG in Prozent (%) erfolgte nach Einsetzen der Behandlungswirkung der Herbizide. Es wurden die UDG für jede dikotyle Unkrautart separat visuell bestimmt. Der Windhalm, das in Dahnsdorf vorherrschende Ungras, wird im Rahmen der Ährenzählung erfasst; auf diese Werte wird im Folgenden nicht eingegangen. Im Weiteren wird die Summe der UDG aller erfassten Unkrautarten der vier Getreide (WW1, WW2, WG und WR) betrachtet.

Ergebnisse

Einen Überblick über die angebauten Sorten der verschiedenen Getreidearten gibt Tabelle 1. Es wurde versucht, die Sorten über einen längeren Zeitraum möglichst beizubehalten, um eine etwaige Beeinflussung durch das Kriterium Sorte gering zu halten. In den beiden Weizen ist dies gut gelungen, bei Roggen und Gerste musste mehrmals gewechselt werden.

Tabelle 1 Angebaute Sorten im Versuch im Zeitraum 2004 bis 2016

Table 1 Cultivated varieties in the field trial in the period 2004 to 2016

Jahr	WG	WR	WW1	WW2
2004	Lomerit	Avanti	Elvis	Enorm
2005	Lomerit	Avanti	Elvis	Enorm
2006	Lomerit	Askari	Cubus	Akteur
2007	Lomerit	Askari	Cubus	Akteur
2008	Lomerit	Askari	Cubus	Akteur
2009	Laverda	Visello	Potenzial	Akteur
2010	Laverda	Visello	Potenzial	Akteur
2011	Laverda	Visello	Potenzial	Akteur
2012	Hobbit	Visello	Potenzial	Akteur
2013	Hobbit	Visello	Potenzial	Akteur
2014	Hobbit	Brasetto	Potenzial	Akteur
2015	Hobbit	Brasetto	Potenzial	Akteur
2016	Loreley	Brasetto	Potenzial	Akteur

Der Behandlungsindex (BI) der Herbizide je Getreideart und Variante wird in Tabelle 2 dargestellt. Dabei werden neben dem Mittelwert auch Minimum, Maximum und die Standardabweichung dargestellt.

Tabelle 2 BIs von Wintergerste, Winterroggen, Winterweizen 1 und Winterweizen 2 (Jahre 2004 - 2016)

Table 2 TFI of winter barley, winter rye, winter wheat 1 and winter wheat 2 (years 2004 - 2016)

Variante	Kultur	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard-abweichung
2	WG	0,00	1,13	0,66	0,30
2	WR	0,28	1,55	0,74	0,29
2	WW1	0,53	1,60	1,06	0,36
2	WW2	0,80	2,19	1,30	0,45
3	WG	0,00	0,85	0,49	0,23
3	WR	0,35	1,16	0,55	0,22
3	WW1	0,30	1,34	0,80	0,31
3	WW2	0,60	1,64	0,95	0,35
4	WG	0,00	0,57	0,33	0,15
4	WR	0,14	0,78	0,37	0,14
4	WW1	0,33	0,80	0,53	0,17
4	WW2	0,40	1,10	0,65	0,23

Variante 2 = Integrierter Pflanzenschutz

Variante 3 = Reduktion des BI um 25 % zu Variante 2

Variante 4 = Reduktion des BI um 50 % zu Variante 2

Die Ergebnisse für den UDG nach erfolgter Behandlung stellt die Tabelle 3 dar. Wie in Tabelle 3 dargestellt, konnte in der Variante 2 (gute fachliche Praxis, bzw. integrierter Pflanzenschutz) der UDG durch die gewählten Herbizide auf einem niedrigen Level gehalten werden. Die WG hat dabei mit 0,46 % den niedrigsten UDG, gefolgt von WW2 mit 0,83. Auffallend ist der WR mit einem UDG von 1,14 %, dieser erhöhte Wert resultiert hauptsächlich aus dem Jahr 2004. Hier lag der UDG mit 9,33 % sehr hoch und war der Maximalwert der Variante 2. Betrachtet man den UDG als Mittelwert der Jahre 2005 bis 2016, so läge dieser Wert bei 0,45 %. Beim etwas höheren UDG in WW1 könnte der geringere BI (Tab. 2) eine Rolle gespielt haben. Insgesamt steigen die UDG bei abnehmendem Herbizideinsatz wie erwartet von Variante 2 zu Variante 3 zu Variante 4 an. Jedoch gibt es die Ausnahme, dass der mittlere UDG in Variante 3 mit 2,66 im WR höher ist als der UDG in Variante 4 mit 1,87. Die Erklärung findet sich im Jahr 2005 mit einem sehr hohen UDG von über 17 % in der Variante 3, während in Variante 2 und 4 deutlich geringere UDG ermittelt wurden.

Tabelle 3 UDG der dikotylen Unkräuter (%) in Wintergerste, Winterroggen, Winterweizen 1 und Winterweizen 2 (Restverunkrautung nach Behandlung; Jahre 2004 – 2016)

Table 3 Total dicot weed cover (%) in winter barley, winter rye, winter wheat 1 and winter wheat 2 (residual weeds after treatment; years 2004 - 2016)

Variante	Kultur	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard-abweichung
2	WG	0,00	1,60	0,46	0,55
2	WR	0,03	9,33	1,14	2,52
2	WW1	0,07	6,85	1,40	2,33
2	WW2	0,13	3,30	0,83	0,82
3	WG	0,23	2,00	0,63	0,50
3	WR	0,10	17,18	2,66	4,95
3	WW1	0,33	7,43	1,82	2,41
3	WW2	0,30	5,70	1,62	1,61
4	WG	0,33	2,20	1,01	0,61
4	WR	0,27	7,10	1,87	2,29
4	WW1	0,73	11,43	2,91	3,66
4	WW2	0,53	4,48	1,84	1,14

Variante 2 = Integrierter Pflanzenschutz

Variante 3 = Reduktion des BI um 25% zu Variante 2

Variante 4 = Reduktion des BI um 50% zu Variante 2

Die Schwankungen der UDG waren über die Jahre z. T. sehr stark und in den reduzierten Varianten deutlicher ausgeprägt. Als Beispiel zeigt die Abbildung 1 die Entwicklung des UDG in der Variante 4 (BI – 50 %) über die Jahre in allen vier betrachteten Getreidearten.

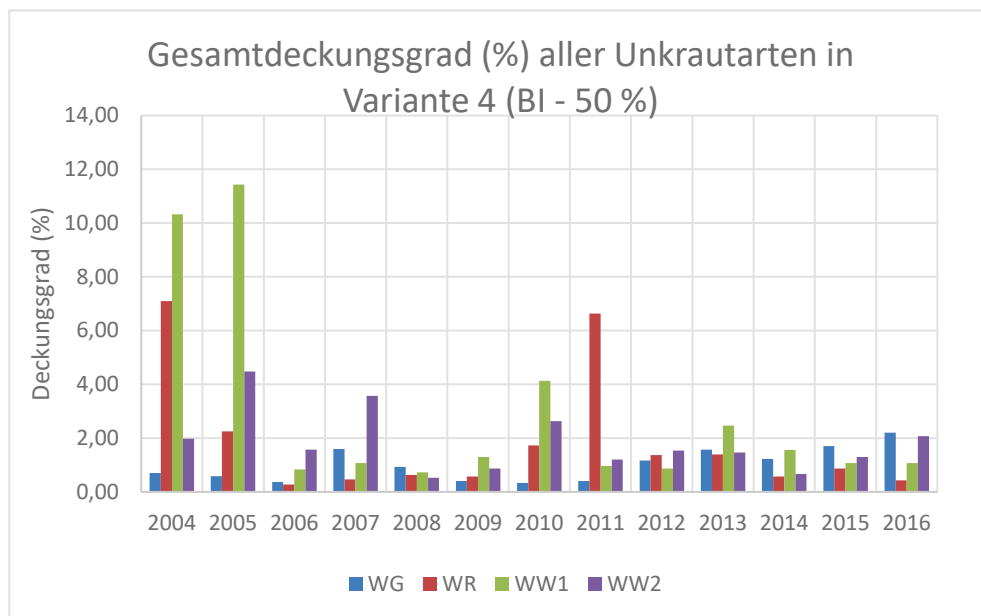


Abbildung 1 UDG der dikotylen Unkräuter (%) in Wintergerste, Winterroggen, Winterweizen 1 und Winterweizen 2 in der Variante 4 (Restverunkrautung nach Behandlung; Jahre 2004 – 2016).

Figure 1 Total coverage of dicot weeds (%) in winter barley, winter rye, winter wheat 1 and winter wheat 2 in variant 4 (residual weeds after treatment; years 2004 - 2016).

Durch die reduzierten Herbizidaufwandmengen stieg der UDG an. Bei der Reduktion der Aufwandmengen um 50 % in der Variante 4 liegt der UDG im Mittel der Versuchsjahre, außer bei WR, mindestens doppelt so hoch wie in der Variante 2. Bei WR ist von Variante 2 auf Variante 4 ein Anstieg um 64 % zu beobachten.

Die ausgewogene Fruchtfolge und der Einsatz des Pfluges zur Grundbodenbearbeitung trugen, neben dem hohen Bonituraufwand und der schnellen Reaktion, zur einer Begrenzung der Verunkrautung bei.

Besonders Windhalm kann durch den Pflug gut kontrolliert werden (SCHWARZ, 2020).

Literatur

- BMEL (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2020: Diskussionspapier Ackerbaustrategie 2035, Online:
https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Ackerbaustrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=16.
- EUROPEAN COMMISSION, 2021: Farm to Fork strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system, Online: https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en.
- PALLUTT, B., M. JAHN, B. FREIER, E. MOLL, 2010: Dauerfeldversuche auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf unter besonderer Berücksichtigung der Unkrautbekämpfung." *Journal für Kulturpflanzen* **62** (7), 238-247.
- SCHWARZ, J., E. MOLL, 2010: Entwicklung der Verunkrautung in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Herbizidintensität, *Journal für Kulturpflanzen*, Band **62** (9), 317 – 325,
- SCHWARZ, J., B. KLOCKE, C. WAGNER, S. KRENGEL, 2018: Untersuchungen zum notwendigen Maß bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Winterweizen in den Jahren 2004 bis 2016, *Gesunde Pflanzen*, Band **70** (3), 119 – 127, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10343-018-0422-3>.
- SCHWARZ, J., 2020: Beeinflussung der Unkrautflora durch verschiedene Bodenbearbeitungssysteme – Langjähriger Vergleich von wendender und nicht-wendender Bodenbearbeitung. *Julius-Kühn-Archiv* **464**, 97 – 102, DOI: <https://doi.org/10.5073/jka.2020.464.013>.

Auswirkungen von Pflanzenschutz und Düngung auf den Unkrautauflauf – Vergleich von Fruchtfolgen

Effects of pesticides and fertilization on weed emergence - comparison of crop rotations

Jürgen Schwarz

Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow

juergen.schwarz@julius-kuehn.de

DOI: 10.5073/20220117-140239

Zusammenfassung

Seit 1998 werden Auswirkungen von Düngung und Pflanzenschutz, unter anderem auf den Unkrautauflauf, in zwei Fruchtfolgen im Rahmen eines Dauerfeldversuches auf dem Versuchsfeld des Julius Kühn-Instituts in Dahnsdorf (Bundesland Brandenburg, Koordinaten: 52.108494 N, 12.636338 E) untersucht. Hierbei werden die unterschiedlichen Auswirkungen des Verzichtes auf Düngung und Pflanzenschutz (b1) mit denen bei Anwendung von Düngung und Pflanzenschutz (b4) verglichen. Die betrachtete Kulturart ist der Winterroggen, welcher in einer Fruchtfolge mit Leguminosen und Gerste (Folge 1) und als Fruchtfolge im Daueranbau (Folge 2) angebaut wird. Die Unkräuter werden im Herbst, vor der Regulierungsmaßnahme, nach Art und Anzahl bestimmt. Sofern nötig, erfolgt die Bekämpfung der Unkräuter mit Herbiziden in der Variante b4 in beiden Fruchtfolgen (Folge 1 und Folge 2). Im bisherigen Versuchszeitraum (1998 bis 2020) lag der Mittelwert des zahlenmäßigen Auflaufs (Pflanzen/m²) von dikotylen Unkräutern in Folge 1 in beiden Varianten (b1 und b4) über dem der jeweiligen Variante in Folge 2. Beim Windhalm, dem in Dahnsdorf vorherrschenden Ungras, waren die Verhältnisse umgekehrt: hier lag der Auflauf (Pflanzen/m²) in b1 und b4 in Folge 2 über dem von Folge 1. Ein weiterer relevanter Punkt sind die Unkrautarten. Hier werden nur die gefundenen Arten aufgeführt, egal wie oft und in welchem Jahr des Versuchs diese erfasst wurden. Im Fruchtwechsel Folge 1 wurden in b1 27 verschiedene Unkrautarten gefunden, in b4 28 Arten. Im Daueranbau des Winterroggens ergaben sich in b1 30 verschiedene Unkrautarten und in b4 schließlich 25 Unkrautarten. Bei der Betrachtung der oben genannten Mittelwerte unterscheiden sich die beiden Fruchtfolgen auch nach über 20 Jahren Dauerfeldversuch nur unwesentlich voneinander.

Stichwörter: *Apera spica-venti*, Unkraut-Artenanzahl

Abstract

In a long-term field trial on the experimental field of the Julius Kühn Institute in Dahnsdorf (Federal State of Brandenburg, coordinates: 52.108494 N, 12.636338 E), the effects of fertilization and pesticide use in two crop rotations on weed emergence have been investigated since 1998. Here, the effects of two strategies are compared. The first includes an abandonment of fertilizer and pesticides (b1) and the other strategy means the application of fertilizer and usage of pesticides (b4). The crop investigated thoroughly is winter rye, which on the one hand is grown in a rotation with legumes and barley (crop rotation 1) and on the other hand as a rotation with continuous cropping (crop rotation 2). Prior to regulating measures, weeds were identified by species and number. If necessary, weeds were treated with herbicides in strategy b4 in both crop rotations (crop rotation 1 and crop rotation 2). In the trial period from year 1998 to 2020, the mean value of the numerical emergence (plants/m²) of dicotyledonous weeds in crop rotation 1 was higher in both strategies (b1 and b4) than in the respective variant in crop rotation 2. For *Apera spica-venti*, the ratios were reversed, with emergence (plants/m²) in b1 and b4 in sequence 2 exceeds that of sequence 1. Another relevant point is the number of weed species found. Here, only the species found are listed,

regardless of how often and in which year of the experiment they were recorded. In crop rotation sequence 1, 27 different weed species were found in b1 and 28 species in b4. In continuous cropping of winter rye, 30 different weed species resulted in b1 and finally 25 weed species in b4. When considering the above-mentioned mean values, the two crop rotations differ only insignificantly from each other, even after more than 20 years of this field trial.

Einleitung

Die Fruchtfolge hat einen großen Einfluss auf die Unkrautentwicklung (BÖHM, 2012). Aber auch die Kombination verschiedener Faktoren wie Düngung und Pflanzenschutzmittel ist für das Auftreten von Unkräutern relevant (SCHWARZ und PALLUTT, 2010; SCHWARZ, 2018).

Material und Methoden

Es werden zwei Fruchtfolgen getestet:

Folge 2: Dauernanbau von Winterroggen (WR)

In beiden Fruchtfolgen werden Effekte der Düngung und des Pflanzenschutzes mit folgenden Varianten untersucht:

b1: Verzicht auf Düngung und Pflanzenschutz
b2: Verzicht auf Düngung, Einsatz von Pflanzenschutz
b3: Einsatz der Düngung, Verzicht auf Pflanzenschutz
b4: Einsatz von Düngung und Pflanzenschutz

[illegible]

Figure 1 Experimental plan Folge 1 of the year 2020 with the variants b1 to b4 and the subplots (1 – 4) of the variants.

Die Grundbodenbearbeitung erfolgte mit dem Pflug. Die Bruttogröße einer Parzelle in Folge 1, z. B. b1 in WR, beträgt 500 m². In dieser Parzelle werden die Erträge, Unkräuter und weitere Parameter auf vier

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

Unterparzellen (Abb. 1) erfasst. Die Bruttogröße einer Parzelle in Folge 2, z. B. b1 in WR, beträgt 1.500 m². In dieser Parzelle werden die Erträge, Unkräuter und weitere Parameter auf sechs Unterparzellen erfasst. Vor jedem Einsatz eines Herbizides in Getreide wurden die Art und Anzahl der Unkräuter in jeder Variante gezählt. Die Zählung erfolgt mittels 0,25 m² Zählrahmen und 2 Zählstellen für jede Unterparzelle, so dass sich für eine Variante 8 Zählstellen ergeben.

Die Applikation der Herbizide fand bei Winterroggen und Wintergerste immer im Herbst statt; in Erbsen wurde im Frühjahr appliziert; in Weißklee fand keine Herbizidanwendung statt. Im Folgenden liegt der Fokus jeweils auf der extensiven Variante b1 (Verzicht auf Düngung und Pflanzenschutz) im Vergleich zur intensiven Variante b4 (mit dem Einsatz von Düngung und Pflanzenschutz). Winterroggen wird in Folge 1 und Folge 2 in jedem Jahr angebaut. Hierbei wird der Winterroggen in Folge 1 (Fruchtwechsel) und Folge 2 (Daueranbau) vergleichend dargestellt.

Ergebnisse

Im bisherigen Versuchszeitraum (1998 bis 2020) lag der Mittelwert des zahlenmäßigen Auflaufs (Pflanzen/m²) von dikotylen Unkräutern in Folge 1 in beiden Varianten (b1 und b4) über dem der jeweiligen Variante in Folge 2. In Folge 1, b1 liefen im Mittel der Jahre 395,5 und in b4 93,0 dikotyle Unkräuter je m² auf. In Folge 2, b1 liefen im Mittel der Jahre 352,1 und in b4 23,5 dikotyle Unkräuter je m² auf, siehe auch Tabelle 1.

Tabelle 1 Auflauf (Pflanzen/m²) dikotyler Unkräuter als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (Std) jeweils für die Varianten b1 und b4 in Folge 1 und Folge 2

Table 1 Emergence (plants/m²) of dicotyledonous weeds as mean (MW) and standard deviation (Std) for each of the strategies b1 and b4 in crop rotation 1 and crop rotation 2

Jahr	Folge 1				Folge2			
	b1		b4		b1		b4	
	MW	Std	MW	Std	MW	Std	MW	Std
1998	10,5	3,5	9,0	2,8	5,0	3,2	30,8	8,5
1999	45,0	5,7	94,0	7,1	13,0	5,4	42,5	7,0
2000	92,5	12,0	29,5	3,5	4,5	3,5	15,8	7,8
2001	148,5	7,8	211,0	19,8	42,3	15,8	23,0	12,6
2002	81,4	23,7	42,7	6,3	114,7	87,9	20,7	8,2
2003	150,3	32,2	75,0	29,2	130,3	20,6	19,5	6,1
2004	165,8	25,2	146,8	27,6	124,2	40,9	21,2	16,3
2005	199,0	95,0	43,3	15,6	114,8	25,8	10,5	8,8
2006	243,5	72,8	66,0	18,4	228,2	29,7	9,3	6,2
2007	251,3	131,1	150,0	14,1	201,6	33,4	11,5	6,1
2008	124,5	31,3	17,0	8,9	266,2	55,8	11,2	10,6
2009	411,3	124,4	88,8	38,0	156,0	16,7	2,0	1,3
2010	468,3	121,7	41,8	18,3	243,0	62,0	5,6	7,6
2011	420,0	161,6	60,3	18,9	547,0	78,7	13,6	14,4
2012	420,0	222,3	117,0	28,5	289,8	96,9	16,3	18,2
2013	519,5	78,9	202,8	177,0	893,3	213,8	15,0	16,5
2014	640,5	330,4	22,5	6,4	746,7	302,9	13,8	13,0
2015	434,5	157,3	178,5	173,1	641,2	91,5	16,2	21,3
2016	756,5	242,7	82,5	93,8	665,0	77,9	7,2	8,8
2017	1032,0	246,1	131,5	25,2	370,7	42,3	18,8	26,2
2018	1447,5	236,2	184,5	111,5	523,0	78,0	49,2	55,7
2019	249,5	124,5	0,5	1,0	938,2	350,9	19,8	19,9
2020	784,5	279,8	145,0	44,6	839,2	166,0	147,3	190,2

Beim Windhalm waren die Verhältnisse umgekehrt, hier lag der Auflauf (Pflanzen/m²) in b1 und b4 in Folge 2 über dem von Folge 1. In Folge 1, b1 liefen im Mittel der Jahre 53,4 und in b4 32,4 Windhalmpflanzen je m² auf. In Folge 2, b1 liefen im Mittel der Jahre 67,3 und in b4 35,0 Windhalmpflanzen je m² auf, siehe auch Tabelle 2.

Tabelle 2 Auflauf (Pflanzen/m²) von Windhalm als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (Std) jeweils für die Varianten b1 und b4 in Folge 1 und Folge 2

Table 2 Emergence (plants/m²) of loose silky as mean (MW) and standard deviation (Std) for each of the strategies b1 and b4 in crop rotation 1 and crop rotation 2

Jahr	Folge 1				Folge2			
	b1		b4		b1		b4	
	MW	Std	MW	Std	MW	Std	MW	Std
1998	5,5	6,4	6,5	3,5	6,0	3,2	1,5	2,4
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0
2000	16,0	1,4	9,5	3,5	6,0	4,7	1,0	1,1
2001	16,0	0,0	5,5	4,9	188,0	52,3	8,7	6,2
2002	290,0	87,9	21,0	20,6	165,6	52,4	6,2	4,2
2003	64,8	22,4	38,5	5,4	170,5	37,6	15,8	6,6
2004	170,5	92,1	86,5	37,8	157,5	61,7	23,5	20,5
2005	138,3	30,7	27,5	13,4	57,7	31,7	10,7	11,6
2006	45,0	4,2	34,5	3,5	70,3	16,6	18,5	4,1
2007	16,0	11,3	14,7	9,4	36,9	20,4	31,1	14,1
2008	23,5	12,0	17,0	16,8	85,8	38,7	49,8	14,0
2009	46,0	19,8	45,8	13,1	52,8	16,8	102,2	42,7
2010	26,8	11,0	32,5	4,5	46,8	10,8	34,6	9,3
2011	59,0	11,1	20,8	5,9	63,8	16,3	103,3	24,0
2012	17,0	3,5	10,5	2,5	11,3	5,8	9,4	1,4
2013	41,5	8,3	90,8	23,1	111,2	21,6	66,2	8,5
2014	38,5	14,0	26,0	2,3	55,8	18,9	66,8	7,0
2015	58,0	14,3	45,5	25,4	87,2	22,9	108,3	23,4
2016	37,5	12,2	34,0	13,5	53,3	9,3	14,3	5,6
2017	33,5	20,9	23,0	5,8	27,3	6,1	51,7	11,1
2018	23,5	11,1	117,0	62,4	44,3	13,3	28,5	10,0
2019	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,8	0,0	0,0
2020	62,5	21,7	39,0	22,2	48,3	23,7	51,3	6,8

Bemerkenswert ist hier das Versuchsjahr 2019, mit dem außergewöhnlich trockenen Herbst des Jahres 2018. Zum Zeitpunkt der Unkrautbonitur vor der Regulierungsmaßnahme war kein Windhalm vorhanden, dieser lief erst deutlich später auf.

Neben der Auswirkung der Fruchtfolge, Düngung und des Herbizideinsatzes auf die gefundene Anzahl des Auflaufs der Unkräuter, ist ein weiterer interessanter Punkt die gefundenen unterschiedlichen Unkrautarten. Eine hohe Anzahl im Auflauf von Unkräutern muss nicht zwangsläufig für eine große Artenzahl sprechen. Seit Versuchsbeginn wurden in der Variante 1 in Folge 1 27 verschiedene Unkrautarten gefunden. Bei der Zählweise wird nicht unterschieden, wie oft und in welchem Jahr des Versuches die Unkräuter gefunden wurden. In der Variante b4 in Folge 1 wurden 28 Arten gefunden. Vergleicht man dies mit dem Daueranbau von Roggen in Folge 2, so wurden dort in der Variante b1 30 verschiedene Unkrautarten und in der Variante b4 25 Unkrautarten gefunden (Abb. 2).

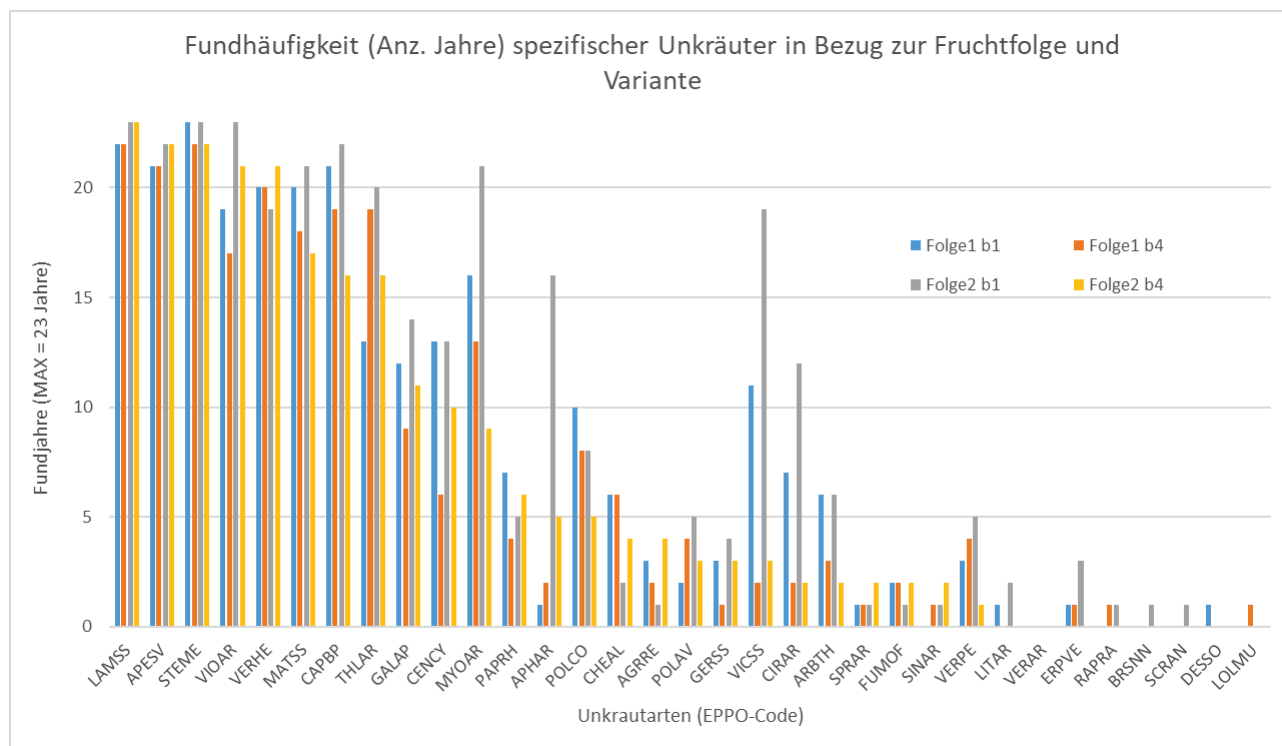


Abbildung 2 Anzahl der Jahre in welchen das entsprechende Unkraut gefunden wurde, jeweils für die Varianten b1 und b4 in Folge 1 und Folge 2.

Figure 2 Number of years in which the corresponding weed was found, in each case for the strategies b1 and b4 in crop rotation 1 and crop rotation 2.

Betrachtet man die Anzahl der Unkrautarten, die in mindestens 11 Versuchsjahren vorkamen, so sind dies für Folge 1 b1 11 Arten und für Folge 1 b4 9 Arten. In Folge 2 ergibt sich Folgendes: in b1 14 Unkrautarten und in b4 10 Arten.

Bei der Betrachtung der oben genannten Werte unterscheiden sich die beiden Fruchtfolgen auch nach über 20 Jahren Dauerfeldversuch nicht wesentlich voneinander. Die weitere Versuchslaufzeit wird zeigen, ob dies so bleibt.

Literatur

BÖHM, H., 2012: Unkrautregulierung durch Fruchtfolgegestaltung und alternative Managementverfahren. Julius-Kühn-Archiv **443**, 24-36.

SCHWARZ, J., 2018: Effects of crop rotation, herbicide application and nitrogen on the emergence of *Vicia* spp. Julius-Kühn-Archiv **458**, 451-453.

SCHWARZ, J., 2020: Auswirkungen von mehrjährig herbizidfreiem Management auf den nachfolgenden - Auflauf von dikotylen und monokotylen Unkräutern - Ergebnisse einer Dekade. Julius-Kühn-Archiv **464**, 51-56.

SCHWARZ, J. and B. PALLUTT, 2010: Influence of crop rotation, fertilization and pesticide use on weed infestation, yields and resource efficiency, **15th** European Weed Research Society Symposium, p. 160.

Untersuchungen zur Lebensdauer der Diasporen von *Datura stramonium* L.

Studies on the longevity of the diaspores of Datura stramonium L.

Hans-Peter Söchting^{1*}, Pauline Clauß²

¹Julius Kühn-Institut Braunschweig, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland

²Technische Universität Braunschweig, Institut für Geoökologie

*hans-peter.soechting@julius-kuehn.de

DOI: 10.5073/20220117-140535

Zusammenfassung

Nicht zuletzt durch den Klimawandel und sich verändernde Anbaumethoden im Ackerbau breitet sich die neophytische Unkrautart *Datura stramonium* in Deutschland weiter aus. Als Spätkeimer profitiert die Art in landwirtschaftlichen Kulturen davon, dass dann Unkrautregulierungsmaßnahmen bereits abgeschlossen sind und sie sich dann dementsprechend gut entwickeln kann. Kenntnisse zur Samenbildung, zum Keimverhalten sowie zur Samenüberdauerung der Art sind für eine integrierte Bekämpfung notwendig. Um den Einfluss des Samenalters auf die Keimung der Samen zu untersuchen, wurde ein Keimtest mit Diasporen 16 verschiedener Jahrgänge aus dem Zeitraum 1973 bis 2019 durchgeführt. Ermittelt wurde die kumulative Keimrate und der KR50-Wert (Zeitpunkt an dem 50 % der Gesamtkeimrate erreicht sind). Parallel dazu wurde bei 10 der 16 geprüften Jahrgänge ein Triphenyltetrazoliumchlorid-Test durchgeführt, um auf diese Weise die Keimfähigkeit der Populationen im Labortest mit der generellen Lebensfähigkeit der Diasporen zu vergleichen. Die Ergebnisse dokumentieren eine lange Überlebensdauer der Samen, was bei der Bekämpfung der Art berücksichtigt werden muss.

Stichwörter: *Datura stramonium*, Diasporen, Keimung, TTC-Test, Weißer Stechapfel

Abstract

Not least due to climate change and changing cultivation methods in agriculture, the neophytic weed specie *Datura stramonium* continues to spread in Germany. As a late germinating weed, the specie benefits in agricultural crops from the fact that weed control measures have often already been completed and it can then develop accordingly well. Knowledge of seed formation, germination behaviour and seed persistence of the species is necessary for integrated control. To investigate the influence of seed age on seed germination, a germination test was carried out with diaspores of 16 different vintages from the period 1973 to 2019. The cumulative germination rate and the KR50 value (time at which 50% of the total germination rate is reached) were determined. In parallel, a triphenyltetrazolium chloride test was carried out on 10 of the 16 vintages tested in order to compare the germination capacity of the populations in the laboratory test with the general viability of the diaspores. The results document a long survival time of the seeds, which need be taken into account when controlling the species.

Keywords: *Datura stramonium*, diaspore, emergence, jimson weed, TTC-test

Einleitung

Zu den neophytischen Unkrautarten, die vermehrt in der Landwirtschaft auftreten, zählt in Deutschland *Datura stramonium* (Weißer Stechapfel) (MEINLSCHMIDT & HÄNSEL, 2008). *Datura stramonium* ist ein tropanalkaloidhaltiges Unkraut (ROTH et al., 1994) und steht in Deutschland auf der offiziellen Giftpflanzenliste des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Aufgrund zu hoher Tropanalkaloidgehalte in verschiedenen Getreideerzeugnissen kam es in Deutschland in der jüngeren Vergangenheit vermehrt zu Rückrufen von Lebensmitteln (EUROPEAN COMMISSION: RASFF Portal, 20.02.2021). Aus diesem Grund rückte die Pflanzenart in den Fokus wissenschaftlicher

Untersuchungen, um die Kontaminationswege vom Acker in das verarbeitete Lebensmittel ausfindig zu machen. Da die Keimungsbiologie für die Ausbreitung der Art von besonderer Bedeutung ist, wurden dazu am Julius Kühn-Institut (JKI) in Braunschweig Untersuchungen durchgeführt, von denen hier einige Ergebnisse präsentiert werden. Daraus wurden Schlussfolgerungen abgeleitet, wie sich die Art weiter in Deutschland ausbreiten und als Ackerunkraut an Bedeutung gewinnen wird und welche integrierten Maßnahmen in der Landwirtschaft zur Bekämpfung der Pflanze sinnvoll sind.

Material und Methoden

Einfluss des Samenalters auf die Keimfähigkeit der Samen von *Datura stramonium*

Die Versuche erfolgten in Anlehnung an die ISTA-Richtlinie (ISTA, 2014; ISTA, 2020) und das Handbuch der Genbank WEL (LANG et al., 2014). Als Gefäße für die Keimtests wurden Glas-Petrischalen mit Deckel und 9 cm Durchmesser verwendet. In jede Petrischale wurde ein Filterpapier vom Typ MN (Macherey-Nagel) 827 mit einem Durchmesser von 8,5 cm und einer Stärke von 0,7 mm gelegt. Je Variante wurden 100 Samen desselben Jahrgangs zufällig ausgewählt und in vier Wiederholungen mit je 25 Samen mit einer Pinzette in Petrischalen gleichmäßig verteilt. Den Petrischalen mit den Samen wurden jeweils 5,5 ml Nährlösung (2,0 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ + 0,1%ige Previcur Energy Lösung) zugefügt. Die Petrischalen mit den Samen wurden in Klimaschränke eingestellt (20°C), die auf 14 Stunden Tag und 10 Stunden Nacht eingestellt waren. Die Lichtintensität in der Tagesperiode betrug 3.750 Lux (Leuchtstoffröhren, Philips Master TL-D Reflex 18W/840). Täglich wurden die Petrischalen mit den Samen kontrolliert und bei Bedarf mit Leitungswasser nachbefeuchtet, um eine Austrocknung zu verhindern. Sobald Samen gekeimt waren, wurden sie gezählt und mit einer Pinzette der Petrischale entnommen. Als gekeimt galt ein Samen, bei dem die gesunde Keimwurzel deutlich erkennbar war.

Verwendet wurden Samen aus dem JKI die bei 5°C und Dunkelheit gelagert worden waren. Die Samen stammten aus den Jahren 1973, 1974, 1982, 1995, 1996, 1998, 1999, 2007, 2008, 2011, 2013, 2015, 2016, 2017, 2018 und 2019. Der Mittelwert der Anzahl gekeimter Samen, die prozentuale kumulative Keimrate und der KR50-Wert (50 % der Gesamtkeimrate) wurden berechnet. Für die Auswertung wurde eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt.

Für die statistische Auswertung und das Erstellen der Abbildungen wurden sowohl die Statistiksoftware „RStudio“ (Version 4.0.3), als auch „Excel“ (Excel 2019, Microsoft Corporation) genutzt.

Überprüfung der Lebensfähigkeit der Samen von *Datura stramonium* mit dem Triphenyltetrazoliumchlorid-Test

Mit dem Triphenyltetrazoliumchlorid-Test (TTC-Test) kann indirekt die Atmungsaktivität im Gewebe der Samenzellen bestimmt werden. Der Test beruht auf der Aktivität von Dehydrogenase-Enzymen, welche in den Mitochondrien der Zellen die Atmungsreaktionen katalysieren (FRANCA-NETO & KRZYŻANOWSKI, 2019). Der TTC-Test wurde in Anlehnung an das Handbuch der Genbank WEL „Qualität und Keimungseigenschaften von Saatgut in der Genbank WEL“ (LANG et al., 2014) durchgeführt. Für den Test wurden je 100 Samen der Populationen 1973, 1974, 1982, 1995, 1998, 1999, 2008, 2015, 2016 und 2018 ausgewählt. Ziel dieser Untersuchung war es, die Keimfähigkeit der Populationen im Labortest (siehe oben) mit der generellen Lebensfähigkeit der Pflanzensamen (TTC-Test) zu vergleichen. In vier Wiederholungen wurden pro Population 25 Samen in Schnappdeckelgläser gefüllt und in Leitungswasser über Nacht eingeweicht. Am Folgetag wurden die Samen mit einem Skalpell längs geteilt und die größere Hälfte wurde für den Test verwendet. Über den Längsschnitt war es möglich, den Keimling im Samen gut zu erkennen. Jeweils 25 Samenhälften je Wiederholung wurden in ein Schnappdeckelglas gegeben und mit 2 ml der TTC-Lösung bedeckt. Dabei handelt es sich um eine 1%ige Lösung von Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). Um nach dem Verschließen der Gläser eine entsprechende Reaktion zu erzeugen, wurden die Gläschen für

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

sechs Stunden bei 30 °C in einen Trockenschrank und anschließend über Nacht in einen Kühlraum (ca. 6-8°C) gestellt. Da Triphenyltetrazoliumchlorid sehr lichtempfindlich ist, wurden die Gläser und die Lösung grundsätzlich mit Alufolie abgedeckt. Nach der Reaktionszeit wurde die TTC-Lösung durch ein Sieb gegossen und die Samenhälften mit Leitungswasser abgespült. Danach wurden die Samenhälften unter einem Präpariermikroskop (Vergrößerung 20fach) begutachtet. Die Samen der vier Wiederholungen einer Population wurden, entsprechend der sichtbaren Einfärbung den drei Kategorien (lebend, tot, intermediär) zugeordnet (Tab. 1) und gezählt. Anschließend wurde der Mittelwert der Samenanzahl berechnet.

Tabelle 1 Beschreibung der Bezeichnungen ‚lebend‘, ‚intermediär‘ und ‚tot‘ entsprechend der variierenden Färbungen des Samengewebes und der Keimlinge

Table 1 Description of the designations 'live', 'intermediate' and 'dead' according to the varying colourations of the seed tissue and the seedlings

Wert	Bezeichnung	Beschreibung
1	lebend	gesamtes Gewebematerial des Samens mit Nährgewebe und Keimling ist deutlich rot gefärbt
0,5	intermediär	nur leicht oder teilweise gefärbter Keimling im Samengewebe
0	tot	Samen ohne eine Spur von Färbung bzw. leicht gefärbtes Gewebematerial aber ungefärbter Keimling

Die Auswahl der Samen erfolgte zufällig. Für die statistische Auswertung und das Erstellen der Abbildungen wurden sowohl die Statistiksoftware „RStudio“ (Version 4.0.3), als auch „Excel“ (Excel 2019, Microsoft Corporation) verwendet. Für die Auswertung wurde eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt.

Ergebnisse

Einfluss des Samenalters auf die Keimfähigkeit der Samen von *Datura stramonium*

Das Alter der Samen (Jahrgänge des Zeitraums 1973 bis 2019) hatte einen signifikanten Einfluss auf die Keimfähigkeit der Populationen. Die Keimfähigkeit, bestimmt durch die Anzahl gekeimter Samen pro Population im Keimversuch, fiel mit abnehmendem Alter der Samen ab (Abb. 1 und 2). Analog zur Keimfähigkeit nahm auch die Keimgeschwindigkeit mit zunehmendem Samenalter ab. Die jüngeren Jahrgänge 2017, 2018 und 2019 keimten am schnellsten. Nach einer Woche waren bei diesen drei Populationen rund 75 % der Samen gekeimt, während bei allen älteren Populationen durchweg noch keine Keimung zu verzeichnen war. Der älteste Jahrgang 1973 keimte erst 15 Tage nach Versuchsbeginn, etwa eine Woche später als die jüngeren Jahrgänge. Obwohl die Keimungsgeschwindigkeit, verglichen mit den Keimungsgeschwindigkeiten der jüngeren Jahrgänge, etwas niedriger war, hatte der Jahrgang 2013 die höchste maximale Keimfähigkeit mit einem Prozentsatz von 89 %.

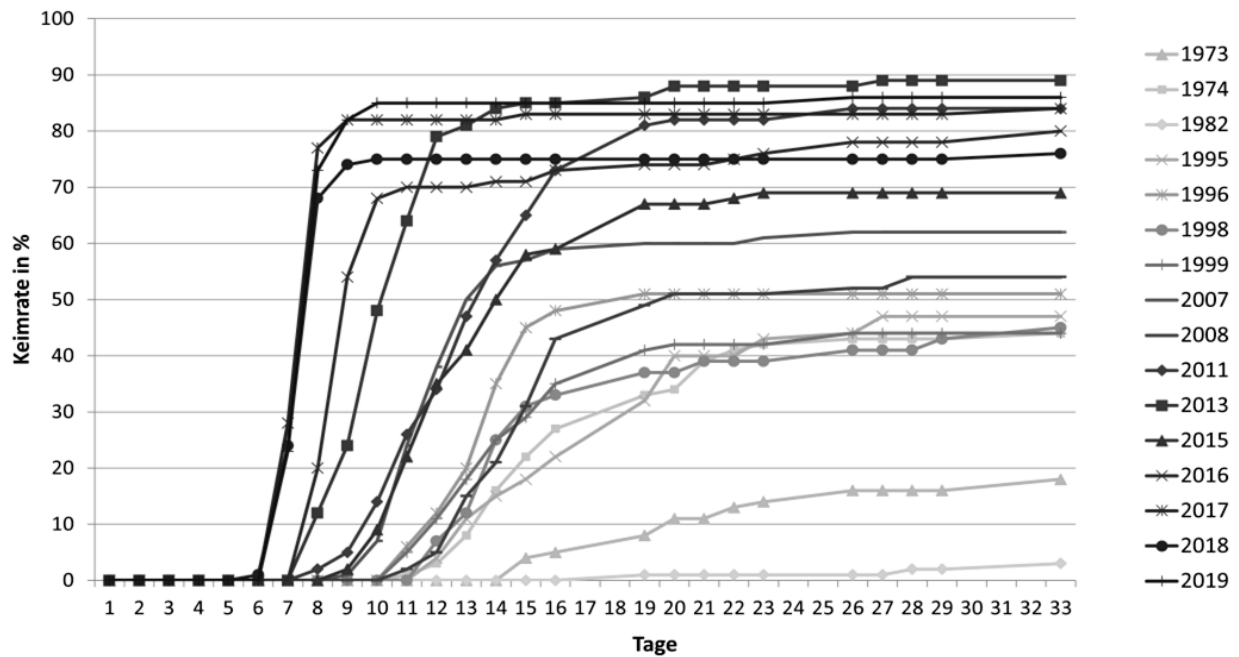


Abbildung 1 Prozentuale Keimrate von *Datura stramonium*-Populationen von 1973 bis 2019 in Abhängigkeit vom Alter der Samen über einen Zeitraum von 33 Tagen bei 20/10°C im Wechsel von 14/10 Stunden und 14-stündiger Beleuchtung bei 20°C. Die Kurven beschreiben kumulativ die prozentuale Anzahl der gekeimten Samen aus vier Wiederholungen einer Population an den jeweiligen Boniturterminen.

Figure 1 Percentage germination rate of *Datura stramonium* populations from 1973 to 2019 as a function of seed age over a period of 33 days at 20/10°C alternating between 14/10 hours and 14-hour illumination at 20°C. The curves cumulatively describe the percentage of germinated seeds from four replicates of a population on the respective assessment dates.

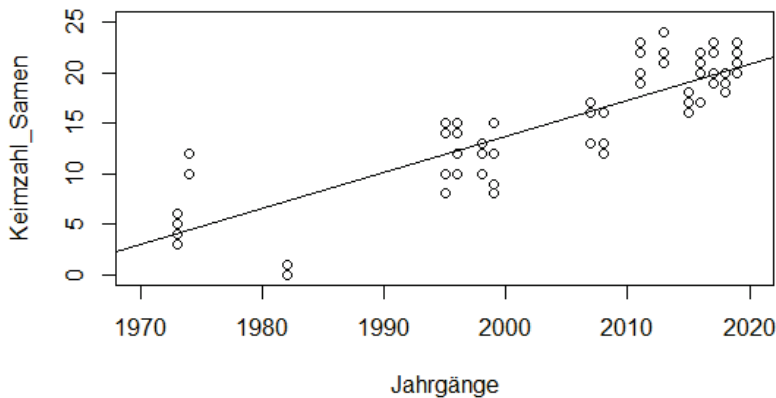


Abbildung 2 Linearer Zusammenhang zwischen der Anzahl gekeimter Samen und den Samenjahrgängen 1973, 1974, 1982, 1995, 1996, 1998, 1999, 2007, 2008, 2011, 2013, 2015, 2016, 2017, 2018 und 2019. ○ steht für die Anzahl gekeimter Samen einer Wiederholung eines bestimmten Jahrgangs. Für jeden Jahrgang wurden vier Wiederholungen mit je 25 Samen über einen Zeitraum von 33 Tagen bei 20/10°C im Wechsel von 14/10 Stunden und 14-stündiger Beleuchtung bei 20°C zum Keimen angeregt.

Figure 2 Linear relationship between the number of germinated seeds and the seed vintages 1973, 1974, 1982, 1995, 1996, 1998, 1999, 2007, 2008, 2011, 2013, 2015, 2016, 2017, 2018 and 2019. ○ presents the number of germinated seeds of a replicate of a given vintage. For each vintage, four replicates of 25 seeds each were induced to germinate over a period of 33 days at 20/10°C, alternating between 14/10 hours and 14 hours of light at 20°C.

Überprüfung der Lebensfähigkeit der Samen von *Datura stramonium* mit dem Triphenyltetrazoliumchlorid-Test

Das Alter der Samen (Jahrgänge im Zeitraum 1973 bis 2019) hatte einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl lebender und toter Samen der Populationen. Bei jüngeren Jahrgängen stieg die Anzahl lebender Samen (Abb. 3) und die Anzahl toter Samen nahm ab (Abb. 4). Der Anteil intermediärer Samen (Abb. 5) lag bei den mittleren Jahrgängen 1995 bis 2008 am höchsten. Die Jahrgänge 1973, 1974, 1995 und 1998 hatten nur einen Anteil lebender Samen von unter 10 %, bei den jüngeren Jahrgängen 2015, 2016 und 2018 waren im Mittel über 20 der insgesamt 25 Samen (80 %) lebend. Die Jahrgänge 2008, 2015, 2016 und 2018 wiesen keine toten Samen auf. Auffällig war die sehr hohe Anzahl toter Samen der Population 1982. Im Mittel wurden 22,5 von insgesamt 25 Samen (90 %) als tot bewertet und die Population hatte keine lebenden Samen.

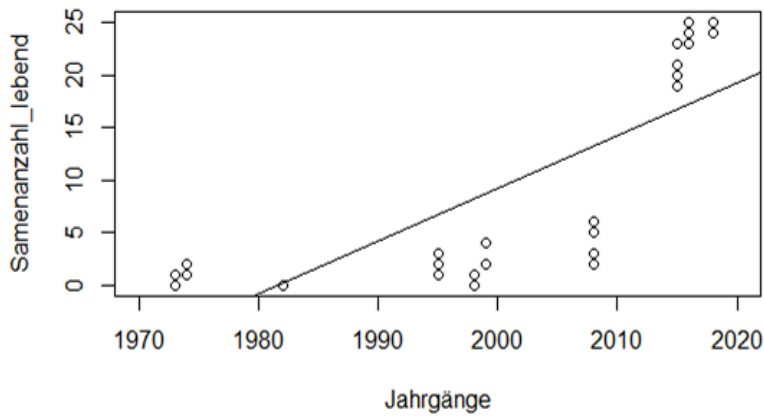


Abbildung 3 Linearer Zusammenhang zwischen der Anzahl lebender Samen und den Samenjahrgängen 1973, 1974, 1982, 1995, 1998, 1999, 2008, 2015, 2016 und 2018. **○** steht für die Anzahl lebender Samen einer Wiederholung eines bestimmten Jahrgangs. Für jeden Jahrgang wurde die Lebensfähigkeit der Samen anhand vier Wiederholungen mit je 25 Samen untersucht.

Figure 3 Linear relationship between the number of germinated seeds and the seed vintages 1973, 1974, 1982, 1995, 1998, 1999, 2008, 2015, 2016 and 2018. **○** presents the number of germinated seeds of a replicate of a given vintage. For each vintage, seed viability was assessed using four replicates of 25 seeds each.

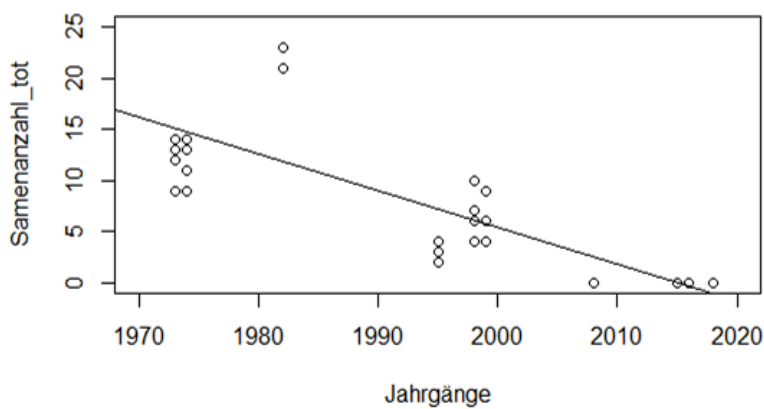


Abbildung 4 Linearer Zusammenhang zwischen der Anzahl toter Samen und den Samenjahrgängen 1973, 1974, 1982, 1995, 1998, 1999, 2008, 2015, 2016 und 2018. **○** steht für die Anzahl toter Samen einer Wiederholung eines bestimmten Jahrgangs. Für jeden Jahrgang wurde die Lebensfähigkeit der Samen anhand vier Wiederholungen mit je 25 Samen untersucht.

Figure 4 Linear relationship between the number of germinated seeds and the seed vintages 1973, 1974, 1982, 1995, 1998, 1999, 2008, 2015, 2016 and 2018. **○** presents the number of germinated seeds of a replicate of a given vintage. For each vintage, seed viability was assessed using four replicates of 25 seeds each.

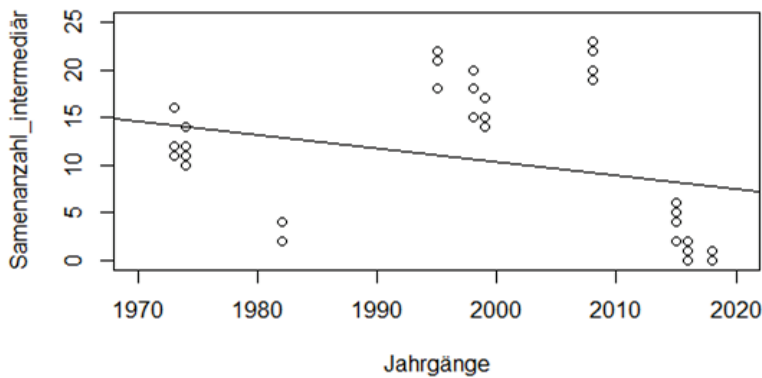


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen der Anzahl intermediärer Samen und den Samenjahrgängen 1973, 1974, 1982, 1995, 1998, 1999, 2008, 2015, 2016 und 2018. ○ steht für die Anzahl intermediärer Samen einer Wiederholung eines bestimmten Jahrgangs. Für jeden Jahrgang wurde die Lebensfähigkeit der Samen anhand vier Wiederholungen mit je 25 Samen untersucht.

Figure 5 Linear relationship between the number of germinated seeds and the seed vintages 1973, 1974, 1982, 1995, 1998, 1999, 2008, 2015, 2016 and 2018. ○ presents the number of germinated seeds of a replicate of a given vintage. For each vintage, seed viability was assessed using four replicates of 25 seeds each.

Diskussion

In den hier dargestellten Versuchen wurde die Keimfähigkeit von *Datura stramonium*-Samen in Abhängigkeit vom Samenalter untersucht und die generelle Lebensfähigkeit der Samen im TTC-Test geprüft. Eine deutliche Abnahme der Keimfähigkeit zeigte sich mit zunehmendem Alter der Samen. Die Unterschiede in den Keimraten der 16 Populationen, die im Zeitraum zwischen 1973 und 2019 am JKI geerntet wurden, könnten natürlich auch durch unterschiedliche Witterungsbedingungen der jeweiligen Erntejahre, differierende Erntezeitpunkte oder Einflüsse bei der Zwischenlagerung der Samen hervorgerufen worden sein, bevor sie in einen auf 5°C eingestellten Kühlraum dauerhaft eingelagert wurden. Die Unterschiede in den Keimraten waren jedoch nicht nur signifikant, sondern wurden auch durch den TTC-Test bestätigt. Die geringeren Keimraten und das spätere Einsetzen der Keimung bei älteren Populationen lassen darauf schließen, dass die Unterschiede hauptsächlich auf Alterungsprozesse zurückzuführen sind. Auffällig war die sehr schlechte Keimfähigkeit der Population 1982. Möglich ist, dass die Samen zum Erntezeitpunkt noch unreif waren oder falsch zwischengelagert wurden. Auch ungünstige Klimaverhältnisse im Erntejahr der Samen könnten ein Grund gewesen sein. Auf Basis des TTC-Tests wurde bestätigt, dass analog zur Keimfähigkeit auch die generelle Lebensfähigkeit der *Datura stramonium*-Samen, bestimmt durch die Anzahl lebender Samen, mit zunehmendem Samenalter ab und die Anzahl toter Samen zunahm. Nichtsdestotrotz wiesen auch die ältesten Jahrgänge 1973 und 1974 lebensfähige und intermediäre Samen auf und Samen dieser Jahrgänge konnten unter günstigen Laborbedingungen zur Keimung angeregt werden. Ähnliche Ergebnisse zeigt ein Experiment von TOOLE & BROWN (1946), bei dem *Datura stramonium*-Samen 38 Jahre im Boden eingegraben wurden und 91 % der Samen nach diesem Zeitraum noch als lebensfähig galt. Bei den jüngeren Jahrgängen 2015, 2016 und 2018 zeigte der TTC-Test fast nur lebende Samen, was sich im Keimversuch durch den großen Anteil gekeimter Samen dieser Populationen bestätigte. Generell zeigte ein Vergleich von TTC-Test zu Keimtest bei allen Populationen, dass der Anteil lebender Samen (lebensfähig) und intermediärer Samen (eventuell lebensfähig) zusammengefasst größer war als der Anteil der Samen, der im Keimversuch keimte. Bei den als intermediär bezeichneten Keimlingen findet aufgrund der Färbung in einzelnen Gewebebereichen zelluläre Atmungsaktivität statt, was ein Beweis für Lebensfähigkeit darstellt. Ob dies jedoch für eine Keimung ausreicht oder der Anteil von lebensfähigem Gewebe zu gering ist, ist daran nicht eindeutig auszumachen. Der Vergleich von TTC-Test und Keimtest zeigt dennoch, dass bei allen Populationen ein Teil der Samen

keimte, der beim TTC-Test als intermediär eingestuft wurde, womit diese zum Großteil als lebensfähig bewertet werden können. Unterschiede in den Ergebnissen ergeben sich durch die subjektive Bewertung der Sameneinteilung in die drei Vitalitätszustände. Bei Untersuchungen CONCLINS (1976) wiesen nicht voll ausgereifte *Datura stramonium*-Samen aus noch grünen Kapseln nur eine Keimung von 67 % auf, wobei die Samen derselben Pflanze nach einem Monat eine Keimung von 100 % erreichten. Voll ausgereifte Samen erreichten bei sofortigem Aussäen hohe Keimraten aber keine Keimung ein paar Monate später. Nach CONCLIN (1976) könnte neben einer Dormanz auch die Entwicklung einer undurchlässigen Samenschale dafür verantwortlich sein. Eine mit der Zeit undurchlässigere Samenschale könnte in dem hier durchgeführten Keimversuch auch zum späteren Einsetzen der Keimung der älteren Samen beigetragen haben. Leider waren für die Untersuchung keine „frischen“ *Datura stramonium*-Samen des Jahrgangs 2020 verfügbar, mit denen eine Überprüfung der Dormanzeigenschaften und das Vorhandensein primärer Dormanz an gerade ausgereiften Samen hätte stattfinden können.

Neben veränderten und einseitigen Bewirtschaftungs- und Anbaumaßnahmen in der Landwirtschaft, wie z. B. vermehrter Maisanbau, führen auch steigende Temperaturen und derzeitige Klimaentwicklungen zu einer verstärkten Ausbreitung von *Datura stramonium* (FOLLAK, 2008). Analog zu anderen europäischen Ländern ist durchaus anzunehmen, dass sich *Datura stramonium* aufgrund dieser Rahmenbedingungen auch in Deutschland weiter ausbreiten und als Ackerunkraut an Bedeutung gewinnen wird. Für eine erfolgreiche Bekämpfung der Unkrautart in der Landwirtschaft sollte generell der Aufwuchs bzw. das Ausreifen der Pflanzen verhindert werden, da bereits eine Pflanze pro Hektar das Potential besitzt, die gesamte Erntemenge bei Getreide zu kontaminieren. Integrierte Maßnahmen wie ein intensiver Fruchtwechsel, eine spezifisch ausgerichtete Bodenbearbeitung, frühe Saattermine und dichte Kulturpflanzenbestände sind hier neben der chemischen Unkrautkontrolle als mögliche Maßnahmen zu nennen.

Literatur

BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. 2012:

<https://www.giznord.de/giznord/aktinfo/giftpflanzenliste.html>. Abgerufen am 20.02.2021.

CONKLIN, M.E., 1976: Genetic and biochemical aspects of the development of *Datura*. Basel, München, Paris, London, New York, Sydney: Karger (Monographs in developmental biology, Vol. 12).

EUROPEAN COMMISSION, 2021: RASFF Portal – the Rapid Alert System for Food and Feed.

<https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/portal/?event=searchResultList>.

Abgerufen am 20.02.21.

FOLLAK, S., 2008: Zum Auftreten einiger bemerkenswerter neophytischer Unkräuter in landwirtschaftlichen Kulturen. Linzer biologischer Beitrag **40**/1, 371–380.

FRANCA-NETO, J.D.B., F.C. KRZYZANOWSKI, 2019: Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation. Journal Seed Science **41** (3), 359–366.

ISTA, 2014: Leitfaden zur Qualitätsprüfung von On-farm erzeugtem Saatgut von Gemüsearten. International Seed Testing Association. Bassersdorf, Switzerland.

ISTA, 2020: International Rules for Seed Testing 2020. International Seed Testing Association. Bassersdorf, Switzerland.

LANG, J., D. LISTL, P. GLABB, C. REISCH, P. POSCHLOD, 2014: Qualität und Keimungseigenschaften von Saatgut in der Genbank WEL. Handbuch Genbank WEL.

MEINLSCHMIDT, E., S. HÄNSEL, 2008: Untersuchungen zur Biologie und Bekämpfung von Weißem Stechapfel (*Datura stramonium* L.) in Mais. Journal of Plant Protection, Special Issue **XXI**, 569–574.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

ROTH, L., M. DAUNDERER, K. KORMANN, 1994: Giftpflanzen - Pflanzengifte: Vorkommen, Wirkung, Therapie. allergische und phototoxische Reaktionen. 4., überarb. und wesentlich erw. Aufl.: Landsberg: ecomed Verl.-Ges.; 1994.

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

Utilisation of old, extensive pig breeds for yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) control - A non-chemical and appealing approach

Einsatz von alten, extensiven Schweinerassen zur Erdmandelgrasbekämpfung – ein nicht-chemischer, attraktiver Ansatz

René Total¹, Martina Schmid², Martina Keller^{1*}

¹Agroscope, Extension Gemüsebau, Wädenswil, Switzerland

²Landwirtschaftsamt Kanton Zug, Switzerland

*martina.keller@agroscope.admin.ch

DOI: 10.5073/20220117-140810

Abstract

Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) is a troublesome weed in Switzerland. It reproduces mainly by tubers, but also by seeds. Dormant tubers in the soil cannot be controlled with herbicides. Pigs are known to reduce yellow nutsedge infestation levels by rooting up and consuming tubers. We hypothesized, that old pig breeds would especially be suited for yellow nutsedge control, as they search more actively for feed in the soil than modern pig breeds. A field trial with old pig breeds (Turopolje and Mangalica) was carried out in a field infested with yellow nutsedge (2019-2020). The pigs stayed in the field for 8 months. Infestation levels were determined before and after the trial by counting *C. esculentus* plants at 50 monitoring sites in the field. In addition, soil samples were taken before and after the experiment. The samples were placed in the greenhouse and emerging yellow nutsedge shoots were considered as a measure of the tuber bank in the soil. After 8 months of pig grazing in the field, we observed significantly less yellow nutsedge plants at the monitoring sites. Yellow nutsedge infestation levels *i.e.* the tuber bank was significantly reduced by 90%. This reduction is higher than the ones achieved in previous experiments and reported in the literature. Grazing of old pig breeds could be a non-chemical and an appealing approach for the public to considerably reduce yellow nutsedge infestation levels in affected fields.

Keywords: Free range pigs, Mangalica, swine, Turopolje, weed control, yellow nutsedge

Zusammenfassung

Das Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) verursacht große Probleme in der Schweiz. Es vermehrt sich hauptsächlich über Knöllchen im Boden, es werden aber auch keimfähige Samen gebildet. Schweine sind bekannt dafür, dass sie durch ihre Wühl- und Fressaktivität Erdmandelgrasbefall reduzieren können. Wir vermuteten, dass sich alte Schweinerassen besonders für die Erdmandelgrasbekämpfung eignen würden, da sie aktiver nach Futter im Boden suchen als moderne Rassen. Ein Feldversuch mit alten Schweinerassen (Woll- und Turopoljeschwein) wurde auf einem mit Erdmandelgras befallenen Feld durchgeführt (2019-2020). Die Schweine blieben während acht Monaten auf der Fläche. An 50 Stellen im Feld wurde die Erdmandelgrasdicke vor und nach der Beweidung bestimmt. Ausserdem wurden ebenfalls vor- und nachher Bodenproben im Feld gezogen. Diese wurden im Gewächshaus ausgelegt und die Zahl gekeimter Erdmandelgrastriebe als Maß für den Knöllchenvorrat im Boden herangezogen. Nach der Beweidung mit Schweinen beobachteten wir signifikant weniger Erdmandelgraspflanzen im Feld. Auch der Knöllchenvorrat im Boden ging signifikant zurück (-90 %). Diese Abnahme ist größer als diejenige, die wir in früheren Versuchen beobachtet haben. Die in der Literatur angegebenen Werte sind ebenfalls geringer. Die Beweidung mit alten Schweinerassen ist ein nicht-chemischer und für die Bevölkerung attraktiver Ansatz, um die Erdmandelgrasverseuchung in betroffenen Feldern deutlich reduzieren zu können.

Stichwörter: Bekämpfung, Erdmandelgras, Freilandschweine, Mangalica, Turopolje

Introduction

Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) is a troublesome weed worldwide. In Switzerland, introduced about 40 years ago, it is present in all important arable and vegetable producing regions now. Especially in vegetables, it causes high yield losses (TOTAL et al., 2018). This weed reproduces mainly by tubers, but also by seeds (FOLLAK et al., 2016). Dormant tubers in the soil cannot be controlled with herbicides. Pigs (*Sus domesticus*) are well known for their grubbing and digging activity (D'EATH & TURNER, 2009) and it is commonly known that they consume nutsedge tubers (SCHOENBECK, 2013). Previous experiments have confirmed, that nutsedge infestation levels can be reduced by the utilization of free range pigs (MACDONALDS et al., 2016; KELLER & TOTAL, 2017). In those experiments, modern pig breeds were used. In our own previous experiments (KELLER & TOTAL, 2017), the animals grew fast and became less and less active with increasing weight. In contrast, old pig breeds grow slowly and they are known to search very actively for feed. Thus, we hypothesized, that old pig breeds would be better suited for yellow nutsedge control than the previously used fast growing ones.

Material and methods

Trial description

The trial was carried out in a field in Cham (ZG), in Switzerland (8.470 E, 47.207 N), which was moderately infested with yellow nutsedge. Average temperature at trial site is 11.3 °C and average rainfall is 1251 mm (nearest weather station, agrometeo). The soil was heterogeneous. This was due to the fact, that soil from road construction sites had been stored in the field. Thereafter, left over soil was spread across the field. This is also how yellow nutsedge has been introduced. Trial area was 0.2 ha. In 2020, cereals were grown. 17 young pigs (body weight 10 to 15 kg) of the races Turopolje and Mangalica were put on the cereal stubbles on 10 October 2019. This corresponds to a density of 118 m² per pig. They stayed in the field until 28 May 2020. The soil had to be loosened twice (19 March 2020 and 20 April 2020) with a cultivator (working depth: 0.25 to 0.30 m). Top soil compaction was due to weather conditions (heavy rains followed by dry periods). Feed rations were increased in winter to account for higher energy consumption due to low temperature.

Soil and pig feces samples

Soil samples of 10 l (sampling depth: 0.2 m) were taken before (6 September 2019) and after the trial (12 June 2020) at 5 sampling sites in the field. An adjacent field (325 m²) also infested with yellow nutsedge was taken as untreated control and 4 soil samples were collected accordingly. The soil samples were put in shallow trays (0.35 by 0.55 m) in the greenhouse (average temperature 20-25 °C). Before soil samples had been stored at 4 °C for stratification. The number of yellow nutsedge shoots were counted after 8 weeks. Values were transformed to shoots per m². These data was taken as a measure of yellow nutsedge infestation in the field. Around 25 pig feces samples were collected in the field (25 November 2019). The feces samples collected that day were fresh to several days old (visual assessment). Sample weight varied between 50 and 100 g. The samples were treated in the same way as the soil samples, however counting was carried out after 4 weeks.

Infestation levels in the field

At 50 monitoring sites within the pig grazing area the number of yellow nutsedge shoots were counted before (6 September 2019) and after the trial (2 July 2020). The size of monitoring sites varied between 1 and 2 m². Monitoring sites were georeferenced with a precise Trimble device (precision: 0.02 m) allowing to sample exactly the same sites and areas at the 2 monitoring dates.

Statistical analyses

For the pig feces samples, no statistical analysis was carried out. A paired t-test was carried out for the observations of yellow nutsedge infestation levels in the field before and after pig grazing. For the greenhouse samples, paired t-tests (sampling before and after experiment) were carried out separately for the treatments “pig” and “untreated check”. Analyses were performed in R (R CORE TEAM, 2020).

Results

Immediately after the pigs were let on the field, they started rooting up the soil. They remained very active during the whole experiment. We observed higher digging activity in field regions with higher yellow nutsedge infestation levels. The soil had to be loosened twice to ensure continuous digging over the trial period. Pig grazing reduced yellow nutsedge infestation levels significantly. Pigs caused a reduction in yellow nutsedge infestation levels of 90% (greenhouse data) (Tab. 1). In contrast, the paired t-test did not indicate any significant difference between the samples taken before and after the trial in the untreated check (p-value: 0.58). The higher value after the experiment in the untreated check is most likely due to inherent variability. In the field, a reduction of 54% was determined (Fig. 1). After 4 weeks of favourable germination conditions, no yellow nutsedge plants were observed in the feces samples in the greenhouse (data not shown).

Table 1 Potential *C. esculentus* density based on the soil samples put in the greenhouse for the treatment “pig” and the untreated check. Group means and standard deviations are shown.

Tabelle 1 Potentielle Erdmandelgrasdichte bestimmt anhand der im Gewächshaus ausgelegten Bodenproben für das Verfahren «Schwein» und die unbehandelte Kontrolle. Dargestellt sind die Mittelwerte und Standardabweichungen.

treatment	<i>C. esculentus</i> per m ²		significance
	before	after	p-value
untreated check (n=4)	95 (115)	145 (82)	0.58
pig (n=5)	208 (116)	20 (24)	0.01

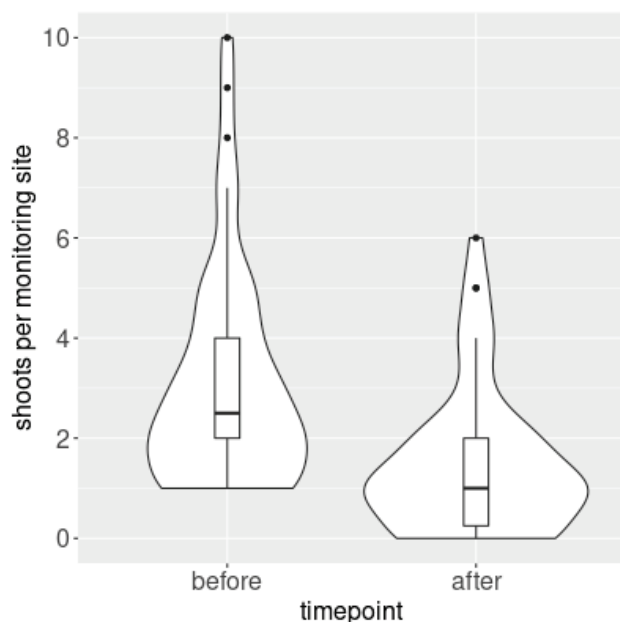


Figure 1 Distribution of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) infestation level (number of shoots) at the 50 monitoring sites within the pig fence “before” and “after” the experiment *i.e.* the pig grazing. The pairwise t-test was significant.

Abbildung 1 Verteilung der Erdmandelgrasverseuchung (Anzahl Erdmandelgrastriebe pro Beprobungsstelle) an den 50 Beprobungsstellen innerhalb des Zaunes vor (before) und nach (after) der Beweidung mit Schweinen. Der paarweise t-Test war signifikant.

Discussion

In the greenhouse experiment, a high reduction of 90% in the tuber bank could be achieved by grazing old pig breeds for several months. The observed reduction of yellow nutsedge infestation in the field at the monitoring sites was smaller (-54%). Counting was done once in autumn (before) and once in summer (after). This could have contributed to the smaller observed reduction, as summer is the “heyday” of yellow nutsedge growth. The reduction in the tuber bank determined in this experiment is higher than in our previous experiments and higher than the values reported in the literature (KELLER & TOTAL, 2017; MACDONALDS et al., 2016). Comparisons between experiments are difficult to be made, as experimental conditions varied considerably. In the experiments carried out in Florida in 2014 and 2015, infestation levels were reduced by 48%. The pigs in those experiments stayed for less time in the field (12 weeks), but the pig density was considerably higher (50 and 25 m² per pig) than in our experiment (118 m² per pig) (MACDONALDS et al., 2016). No yellow nutsedge plants germinated in the feces samples. In a small pretest, we fed yellow nutsedge tubers (cultural form) directly to the pigs. They clearly chewed the tubers. These two findings strongly suggest that yellow nutsedge tubers are actually destroyed and inactivated by in- and digestion. This is an important prerequisite. Otherwise, the tubers would not be destroyed, but merely be relocated within the field and even worse be provided with additional nutrients. Grazing pigs as a control measure against yellow nutsedge is labor intensive. In addition, the infrastructure for free range pigs has to be available (fences, housing, feed station and watering place). In contrast to other control approaches such as fallow (WIRTH et al., submitted) or maize combined with intensive chemical control (KELLER et al., 2018), a certain profit can be achieved by selling the pig meat. The high nutrient input due to grazing pigs has to be accounted for. In our experiment, pig densities were relatively high. In practice, pig densities in the fields would have to be chosen according to the legal requirements of the respective country. The use of herbicides and pesticides in general is strongly debated. Grazing pigs is a non-chemical approach with the advantage, that also dormant tubers in the soil are controlled. In addition, other problematic perennial weeds could be diminished (e.g. WÜNSCH et al., 2011). Free range pigs – especially old races – are an

attraction for the public. In the press, there were many positive reports about our experiment. Concluding, grazing pigs is an effective, non-chemical and appealing approach to control yellow nutsedge in infested fields.

Acknowledgements

We would like to thank our partners Natur Konkret Guido Leutenegger AG (www.natur-konkret.ch) and Roman Schuler for their contribution to this project.

Further information

An extended trial report is available in German (TOTAL & SCHMID, 2020). The report was written for farmers and advisors and provides hands-on advice concerning pig husbandry and management.

References

- D'EATH, R.B., S.P. TURNER, 2019: The Natural Behaviour of the Pig. In: The Welfare of Pigs, J.N. MARCHANT-FORDE (Editor), Springer, DOI 10.1007/978-1-4020-8909-1, 13-45.
- FOLLAK S., R. BELZ, C. BOHREN, O. DE CASTRO, E. DEL GUACCHIO, N. PASCUAL-SEVA, M. SCHWARZ, F. VERLOOVE, F. ESSL, 2016: Biological flora of Central Europe: *Cyperus esculentus* L.. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics **23**, 33-51.
- KELLER, M, R. TOTAL, J. KRAUSS, R. NEUWEILER, 2018: Validation of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) control strategies in maize in an on-farm, large-scale field trial. Julius-Kühn-Archiv **458**, 197-203, DOI: 10.5073/jka.2018.458.028.
- MACDONALD, G., D.L. COLVIN, J.A. FERRELL, 2016: Utilization of domesticated swine for nutsedge (*Cyperus* spp.) management in annual cropping systems. "Weed Science and Management to Feed the Planet" – Proceedings of the 7th International Weed Science Congress, June 19-25, 2016, Prague, Czech Republic, 648.
- R CORE TEAM, 2020: R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>
- SCHOENBECK, M., 2019: Weed Profile: Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus*) and Purple Nutsedge (*C. rotundus*). <https://eorganic.org/node/5131>, last retrieved 07.10.2021.
- 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. Julius-Kühn-Archiv **458**, 472-476, DOI: 10.5073/jka.2018.458.028.
- TOTAL, R., M. SCHMID, 2020: Bekämpfung von Erdmandelgras mit Freilandschweinen: Versuch 2019-2020, Bibersee, Cham ZG. Agroscope Transfer **356**, 1-6, Agroscope, DOI: 10.34776/at356g.
- WIRTH, J., M. WILLI, M., KELLER, submitted: Mehrjährige Schwarzbrache: eine geeignete Methode zur Erdmandelgras-Bekämpfung.
- WÜNSCH, K., S. MAIER, S. GRUBER, W. CLAUPEIN, 2011: Rodung von Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) mit Weideschweinen im Vergleich zu maschineller Rodung. Journal für Kulturpflanzen **63** (6), 179-185, ISSN 0027-7479.

Sektion 4: Resistenzmanagement

Session 4: Resistance management

Management of herbicide resistant weeds in a crop rotation with an Acetolactat-synthase-inhibitor tolerant sugarbeet variety

Kontrolle von herbizidresistenten Unkräutern in einer Fruchtfolge mit einer Acetolactat-Synthase-Hemmer toleranten Zuckerrübensorte

Jan Petersen*, Anja Löbmann

Technische Hochschule Bingen, Berlinstr. 109, 55411 Bingen

*petersen@th-bingen.de

DOI: 10.5073/20220117-141121

Abstract

ALS-resistant weeds are of major importance in many European agriculture systems. Resistant biotypes showed up in more weed species, more regions and in more crops. Therefore, every method or tool to control weeds, that potentially increases the selection pressure on herbicides and weeds must be handled with care. On the other hand new tools like herbicide tolerant varieties offer new possibilities for weed control. Particularly in sugarbeet, chemical weed control is still a compromise between efficacy and crop selectivity today. ALS-tolerant varieties offer the opportunity to improve crop safety and efficacy. To investigate the influence of these sugar beet varieties on the dynamic of ALS-resistant weed populations in a three-year crop rotation, a six-year field trial was conducted on two experimental sites. Four different weed control strategies were tested, which exhibit different levels of selection pressure to ALS inhibitors. The field trial showed that continuous use of ALS herbicides quickly increased the density of resistant weed populations leading to a large yield reduction. However, this process was much slower, when the frequency of ALS inhibitor use was reduced. Yet, it was not stopped completely. Even the use of alternative modes action was only partly able to slow down the resistance evolution. While weeds resistant to ALS herbicides only could be well controlled, multiple resistant weeds were able to build up a new resistance mechanism (ACCase inhibitor resistance). Here this was the case for *Alopecurus myosuroides*. As a consequence, use of alternative MoAs failed to control *A. myosuroides*. Due to these complex interactions sustainable use of herbicide tolerant varieties is not easy in the long run. Advantages might be long lasting when site-specific resistant weed status is adequately addressed.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, ALS-resistant weeds, ALS-tolerant crops, herbicide rotation, *Tripleurospermum perforatum*

Zusammenfassung

In vielen europäischen Ackerbausystemen ist das Vorkommen von ALS-Hemmer resistenten Unkräutern von großer Bedeutung. In mehr und mehr Unkrautarten, Regionen und Ackerbaukulturen treten diese resistenten Biotypen auf. Daher muss jede Maßnahme, die den Selektionsdruck entsprechend verstärkt, sehr kritisch gesehen werden. Auf der anderen Seite bieten herbizidtolerante Sorten neue Möglichkeiten der Unkrautkontrolle. Gerade in Zuckerrüben ist die Herbizidanwendung immer noch ein Kompromiss zwischen Wirksamkeit und Kulturverträglichkeit. ALS-Hemmer tolerante Sorten bieten hier die Möglichkeit die Wirksamkeit aber auch die Selektivität der Herbizidmaßnahmen in Zuckerrüben zu verbessern. Um den Einfluss dieser Sorten auf die Dynamik der ALS-resistenten Unkrautpopulationen in einer dreijährigen Fruchtfolge zu untersuchen, wurden an zwei Standorten Feldversuche über sechs Jahren durchgeführt.

Dabei wurden vier verschiedenen Herbizidstrategien mit unterschiedlichem Selektionsdruck auf ALS-Hemmer resistente Unkräuter geprüft.

Die Ergebnisse zeigten, dass ein kontinuierlicher Einsatz von ALS-Hemmern zu einem schnellen Anstieg der Resistenzhäufigkeit bei den Unkräutern mit entsprechend deutlichen Ertragsverlusten führt. Mit nachlassender Einsatzhäufigkeit der ALS-Hemmer in der Fruchtfolge deutlich zeigte sich auch ein verlangsamter Anstieg der Resistenzhäufigkeit. Prinzipiell war der Prozess der Resistenzentwicklung aber nicht zu stoppen. Auch der gezielte Einsatz alternativer Herbizidwirkungsweisen war dazu nur teilweise geeignet. Zwar konnten die ALS-resistenten Unkräuter durch die alternativen Wirkungsweisen in der Dichte reduziert werden, andererseits wurden aber weitere Resistenzmechanismen bei den Unkräutern – hier beim Ackerfuchsschwanz – selektiert. Diese komplexen Interaktionen machen einen nachhaltigen Herbizideinsatz in den toleranten Kulturen nicht einfach. Die Vorteile der herbizidtoleranten Sorten können aber längerfristig genutzt werden, wenn die Maßnahmen auf die jeweilige Unkrautart und die vorliegende Resistenzsituation abgestimmt werden.

Stichwörter: Acker-Fuchsschwanz, ALS-resistente Unkräuter, ALS-tolerante Kulturen, Geruchlose Kamille, Herbizidrotation

Introduction

Weed control in sugarbeets with herbicides is still a compromise between efficacy and selectivity. Three to four repeated herbicide applications in mixtures with reduced dosages is the common strategy to control the weed flora in conventional sugarbeet growing. However, herbicide-tolerant sugar beet varieties offer the opportunity to achieve better and easier weed control in combination with a high crop safety.

Glyphosat-tolerant sugarbeet varieties are grown in the USA to a large extend of the total growing area (KHAN, 2015). In Europe, these transgenic varieties are not cultivated due to restrictions by law.

Acetolactate synthase (ALS)-inhibitor-tolerant varieties can be selected without gene transfer. In sugarbeet, natural selection of a mutation conferring resistance to ALS inhibitors was done in cell cultures exposed to foramsulfuron and thienencarbazone. A herbicide containing the ALS inhibitors foramsulfuron and thienencarbazone and the ALS-resistant sugar beets were brought to the European market since 2018 as a system named 'CONVISO' (WEGENER et al., 2016).

On the other hand, herbicide resistance to ALS inhibitors in weeds is quite common and present in many weeds in European cropping systems (HEAP, 2021). In the past, triflurosulfuron-methyl was the only ALS inhibitor used in sugar beet cultivation but it was never used as the sole herbicide to control weeds. Due to applied herbicide mixtures, selection pressure towards ALS-resistant weeds was low. However, in other crops grown in rotation with sugarbeets the use of ALS inhibitors is quite common. This leads to the present study on the hypothesis that integration of ALS-tolerant sugarbeet varieties will increase the risk to select ALS inhibitor-resistant weeds and the question if it is possible to control ALS-resistant weeds in a crop rotation including ALS-tolerant sugarbeet varieties. To answer this question, a six-year field experiment was set up with a sugarbeet-wheat-wheat rotation under different herbicide regimes.

Material and Methods

Field experiments with a crop rotation consisting of sugarbeet-winter wheat-winter wheat were conducted on two sites in Germany (Bingen and Sickte/Braunschweig) from 2014 to 2020. An ALS-tolerant hybride was chosen as sugarbeet variety in all treatments. The field trial was a two-factorial complete randomized block design with four replications. Plots had a size of 90 m² in Bingen and 180 m² in Sickte and were separated from each other to reduced weed seed and pollen transfer between the plots (distances of 9 to 12 m between different plots). Four different weed strategies were applied (Tab. 1). In addition to these herbicide regimes, glyphosate was used prior sowing of sugarbeet in spring. After finishing the first crop

rotation, herbicide treatments were adapted to current weed situation (Tab. 1 and 2). Each crop was grown and each herbicide treatment was applied on each site in every year. Before seed bed preparation and planting of winter wheat or sugarbeet in the first experimental year, seeds of *Alopecurus myosuroides* (ALOMY) and *Tripleurospermum perforatum* (MATIN) were sown on both sites. Susceptible and resistant biotypes of each species were established (ALOMY: herbicide susceptible ('Appels Wilde Samen', Darmstadt); resistant: ALS inhibitor target-site resistance, Trp574Leu enhanced metabolic resistance to Pinoxaden; MATIN: herbicide susceptible (Bingen); ALS-inhibitor target-site resistance, Pro197Gln, Freiburg/Elbe). ALOMY was not present on both experimental sites before the start of trial. In contrast, ALS-susceptible MATIN populations were growing naturally on both sites. Weed density was assessed and ALOMY heads were counted in four subplots of 0.25 m² in each plot. Leaf samples of ALOMY and MATIN plants surviving the herbicide treatments were taken (maximum 15 plants per plot) in each year. Leaf samples were analysed for presence of ALS target-site resistance (LÖBMANN et al., 2019). Sugarbeet yield including the concentration of relevant ingredients as well as wheat yield was measured on subplots (15 m²) of each plot and year.

Table 1 Herbicide strategies in sugarbeet and winter wheat in first and second crop rotation

Tabelle 1 Herbizidstrategien in Zuckerrüben und Winterweizen in der ersten und zweiten Fruchtfolge-Rotation

	1. rotation			2. rotation		
regime	SB	WW 1	WW 2	SB	WW 1	WW 2
I	ALS	ALS	ALS	other+aMoA	ALS+other	ALS+other
II	ALS	other	other	ALS	other	other
III	ALS+aMoA	ALS+aMoA	other	ALS+aMoA	ALS+other	ALS+other
IV	other	other	other	other+aMoA	other	other

SB-sugarbeet, WW 1-winter wheat after sugarbeet, WW 2 – stubble winter wheat; ALS-ALS inhibitor, aMoA-alternative mode of action (here: clethodim for ALOMY and clopyralid for MATIN control), other-herbicide not belonging to ALS inhibitors and not clethodim or clopyralid

Table 2 Herbicides and dosages used in the field trial

Tabelle 2 Eingesetzte Herbizide und Aufwandmengen im Versuchszeitraum

Rotation	crop	ALS	aMoA	other
first	SB	2 x 0.5 l/ha Conviso one +1.0 l/ha Mero or 1 x 1.0 l/ha Conviso one	0.5 l/ha Select +1.0 l/ha Radiamix 83.5 g/ha Lontrel 720 SG	3 x 2.0 l/ha Goltix Titan 3 x 1.25 l/ha Betanal Maxxpro
	WW	500 g/ha Atlantis WG +1.0 l/ha Biopower +60 g/ha Pointer SX		0.3 l/ha Cadou SC +0.75 l/ha Bacara forte 1.2 l/ha Axial50 3.0 l/ha Duanti
second	SB	2 x 0.5 l/ha Conviso one + 1.0 l/ha Mero	0.5 l/ha Select+1.0 l/ha Radiamix 83.5 g/ha Lontrel 720 SG	3 x 2.0 l/ha Goltix Titan 3 x 1.5 l/ha Betanal Maxxpro
	WW	500 g/ha Atlantis WG + 1.0 l/ha Biopower		0.3 l/ha Cadou SC +0.75 l/ha Bacara forte 1.2 l/ha Traxos 1.5 l/ha Ariane C

Results and Discussion

Although the same weed populations and seed densities were established on both experimental sites, weed flora developed differently. In Bingen, ALOMY was the dominant weed species while MATIN dominated in Sickte. Due to continuous use of ALS inhibitor herbicides in strategy I in the first three years of the field trial, ALS inhibitor-resistant weed density increased rapidly (Tab. 3 and Fig. 1). The number of ALOMY heads increased from 1.1 in 2015 to 1,109 heads/m² in 2017 in sugarbeet (Tab. 3). In the stubble wheat ALOMY density reached more than 1,300 heads/m² within three years in Bingen. In Sickte, MATIN reached a density of ~70 plants/m² in the third year in sugarbeet due to the continuous use of ALS inhibitors (Fig. 1). However, this increase was slower when ALS frequency in the rotation was lower (regime II and III) or density of resistant weeds was kept to a moderate level when no ALS herbicides were applied. This may indicate that the isolation between the plots was not sufficient and resistance was transferred between the plots via pollen or via seed dispersal. In addition, these results show that continuous use of alternative mode of action is able to reduce the density of ALS-resistant weeds, but not the resistance frequency within a population of a field (Fig. 2).

Table 3 Development of *Alopecurus myosuroides* head density (heads/m²) in different crops of a sugar beet – wheat – wheat – crop rotation depending on the weed control regime from 2015 to 2020 in Bingen

Tabelle 3 Entwicklung der Acker-Fuchsschwanzährendichte in einer Zuckerrüben-Weizen-Weizen Fruchtfolge in Abhängigkeit der Herbizidstrategien in den Jahren 2015 bis 2020 am Standort Bingen

strategy	year crop	2015		2016		2017		2018		2019		2020	
		Ø	sd	Ø	sd	Ø	sd	Ø	sd	Ø	sd	Ø	sd
I	sugar beet	1.1	0.4	80.3	58.6	1109.6	220.5	4.0	8.1	46.8	17.6	16.7	18.5
	wheat	38.8	65.7	135.9	106.3	598.0	362.5	130.7	80.0	8.8	10.0	114.8	69.8
	stubble wheat	18.5	28.4	142.0	78.0	1305.7	474.9	117.3	67.5	196.2	175.4	31.0	26.9
II	sugar beet	1.3	1.1	47.1	46.7	613.7	359.9	39.3	37.6	20.5	24.8	174.0	130.5
	wheat	68.5	82.3	16.0	18.9	13.3	13.1	71.4	54.4	7.0	13.4	33.7	19.5
	stubble wheat	50.8	66.4	50.3	40.9	57.0	91.2	20.2	28.7	237.2	156.2	19.7	26.1
III	sugar beet	0.9	0.5	41.4	39.4	108.1	75.9	48.5	38.8	171.7	87.4	56.2	49.6
	wheat	52.9	86.3	63.2	61.7	464.7	199.1	95.4	75.4	21.3	19.8	177.0	72.5
	stubble wheat	60.3	88.0	50.2	41.5	156.9	105.9	172.3	93.0	186.8	123.3	76.8	57.9
IV	sugar beet	0.6	0.2	20.4	21.8	35.9	32.2	3.8	7.7	18.7	14.2	46.2	34.6
	wheat	64.5	91.7	5.0	9.8	16.1	15.6	59.6	45.8	4.7	11.3	30.3	26.3
	stubble wheat	69.1	86.9	63.3	41.8	17.4	19.5	18.2	25.2	167.5	104.2	26.0	24.2
		Ø	mean	sd - standard deviation									

After changing the herbicide regime in the second rotation (2018-2020; Tab. 1) particularly in regime I, the high density of ALS-resistant weeds in these plots could be controlled (Tab. 3, Fig. 1).

Surprisingly, ALOMY densities increased from 2019 to 2020 in regimes III and IV (data not shown). Clethodim was used as an alternative mode of action to control ALS-resistant ALOMY in sugarbeet. In previous years this was a successful tool, but at the end of the six-year trial period more ALOMY plants survived this treatment. Additional investigation showed that these ALOMY plants also exhibited an Ile1781Leu substitution in the ACCase protein in addition to the Trp574Leu substitution in the ALS protein. This position is well described to confer target-site resistance to ACCase-inhibitor herbicides (data not shown). In contrast, consequent use of alternative modes of action in sugarbeet as well as in winter wheat led to sustainable control of MATIN. Yet, the evolution of multiple resistance as in ALOMY is also possible in MATIN. Here, synthetic auxin herbicides are at risk of resistance evolution.

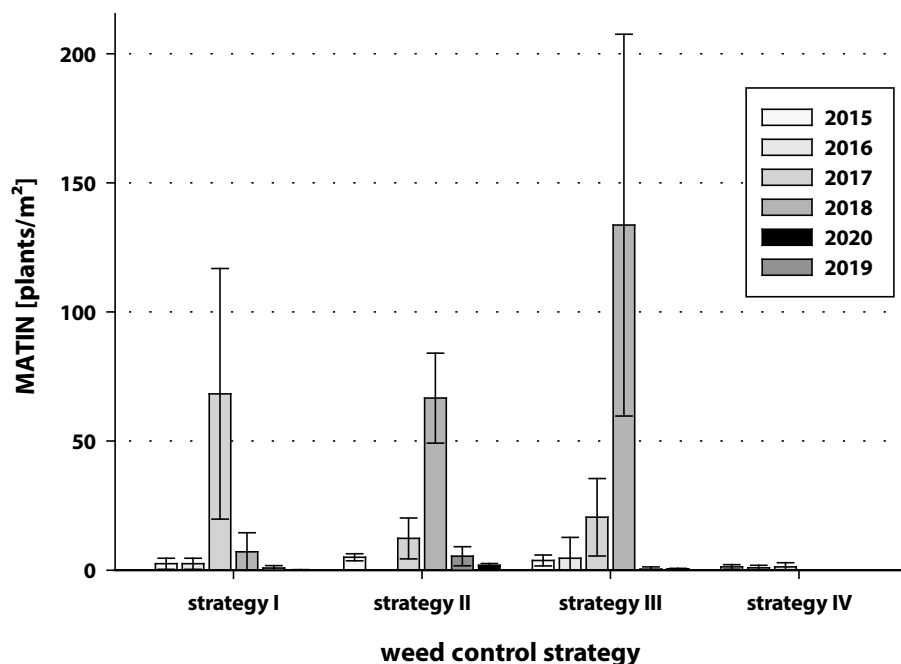


Figure 1 Development of MATIN density in an ALS inhibitor tolerant sugar beet variety depending on weed control strategy from 2015 to 2020 in Sickte.

Abbildung 1 Entwicklung der Dichte der Geruchlosen Kamille in einer ALS-toleranten Zuckerrübensorte in Abhängigkeit von der Herbizidstrategie in den Jahren 2015 bis 2020 am Standort Sickte.

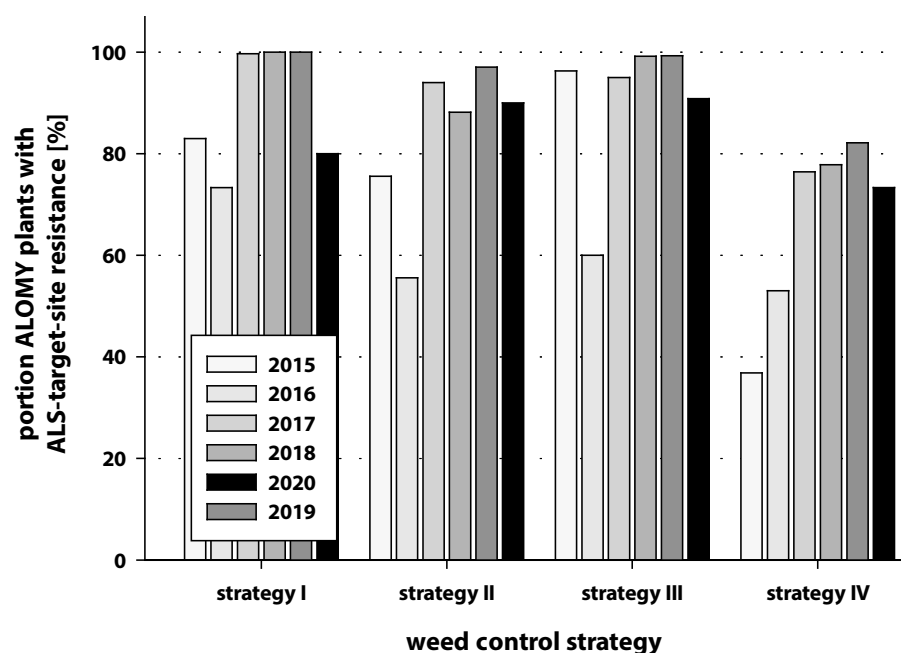


Figure 2 Proportion of ALS-inhibitor target-site resistant *Alopecurus myosuroides* plants in mean of three crops in crop rotation depending on the herbicide regime from 2015 to 2020 in Bingen.

Abbildung 2 Anteil der ALS-Hemmer zielortresistenter Acker-Fuchsschwanzpflanzen im Mittel der Fruchtfolgeglieder in Abhängigkeit der Herbizidstrategie in einer ALS-toleranten Sorte in den Jahren 2015 bis 2020 am Standort Bingen.

The yield, an indicator of sustainable production systems, decreased rapidly in response to ‘regime I’ herbicide treatment within the first three-year period (Fig. 3 to 5). However, even with a high weed density of resistant weeds it is possible to stabilize the yield on an acceptable level, if an alternative herbicide regime provides a good efficacy.

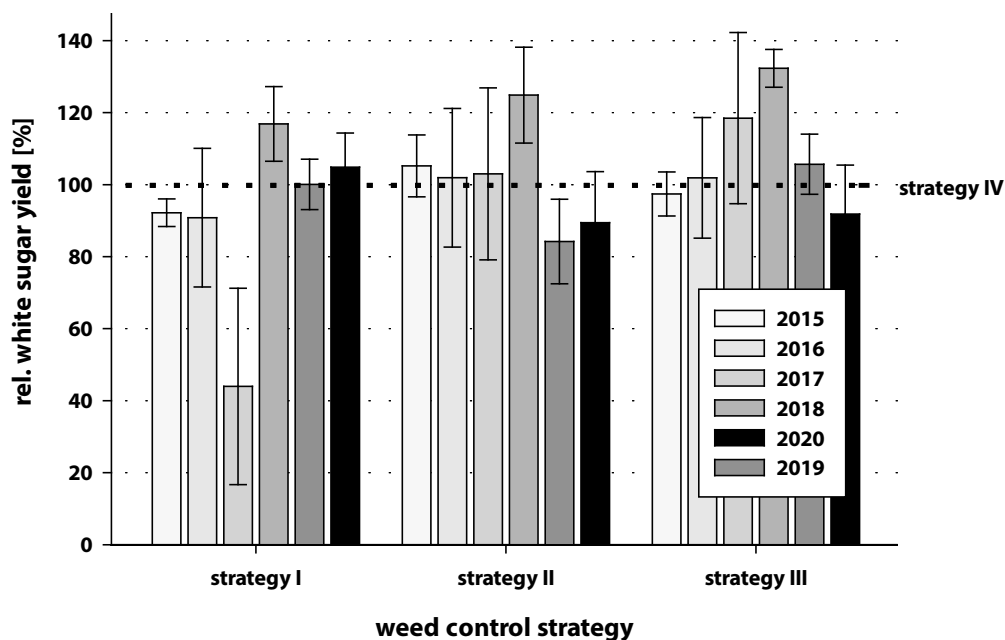


Figure 3 Development of relative white sugar yield depending on weed control strategy in ALS-tolerant variety between 2015 and 2020 (mean of sites Bingen and Sickte); 100% = yield of strategy IV in each individual year.

Abbildung 3 Entwicklung des bereinigten Zuckerertrages in Abhängigkeit der Herbizidstrategie in einer ALS-toleranten Sorten in den Jahren 2015 bis 2020 (Mittelwert der Standorte Bingen und Sickte); 100 % = Ertrag der Strategie IV je Versuchsjahr.

Apart from this, yield data showed that in mid terms using only one or two alternative modes of actions is not sufficient to ensure a high yielding system in a three year crop rotation. Consequently, sustainable weed control systems should integrate more than just an adapted herbicide rotation. Wider crop rotation, diverse soil tillage systems and other agronomic tools need to be used in an integrated weed control system to set up a sustainable growing system for herbicide-tolerant sugar beets.

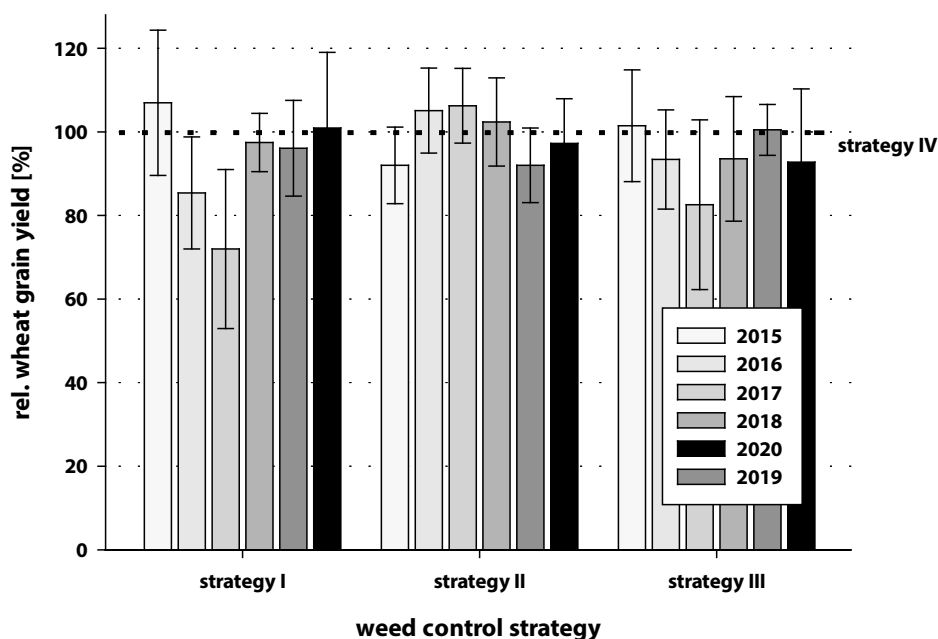


Figure 4 Development of relative wheat grain yield (wheat after sugar beet) depending on weed control strategy in ALS-tolerant variety between 2015 and 2020 (mean of sites Bingen and Sickte); 100% = yield of strategy IV in each individual year.

Abbildung 4 Entwicklung des relativen Rügenweizenenertrages in Abhängigkeit der Herbizidstrategie in einer ALS-toleranten Sorten in den Jahren 2015 bis 2020 (Mittelwert der Standorte Bingen und Sickte); 100 % = Ertrag der Strategie IV je Versuchsjahr.

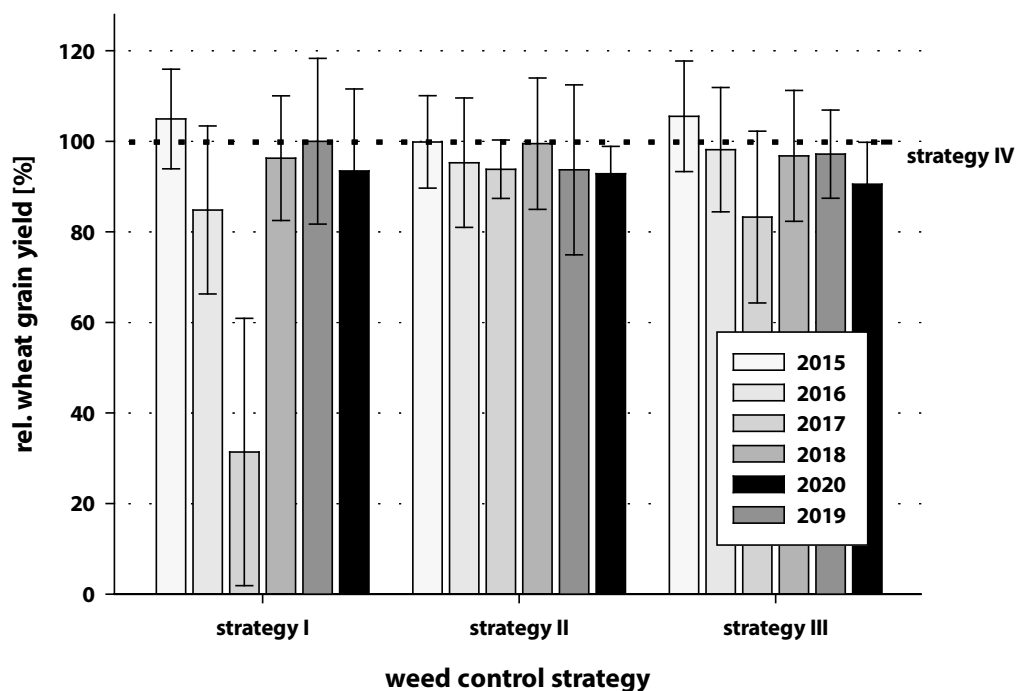


Figure 5 Development of relative stubble wheat grain yield (wheat after wheat) depending on weed control strategy in ALS-tolerant variety between 2015 and 2020 (mean of sites Bingen and Sickte); 100% = yield of strategy IV in each individual year.

Abbildung 5 Entwicklung des relativen Stoppelweizenertrages in Abhängigkeit der Herbizidstrategie in einer ALS-toleranten Sorten in den Jahren 2015 bis 2020 (Mittelwert der Standorte Bingen und Sickte); 100 % = Ertrag der Strategie IV je Versuchsjahr.

Acknowledgement

The project was financially and technically supported by Bayer CropScience Deutschland GmbH and KWS Saat SE. Engaged work of the technicians in Bingen and Sickte guaranteed the successful conduction of the field trials.

Literature

- HEAP, I., 2021 The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. (available at www.weedscience.org)
- GÖTZE, P., C. KENTER, M.J. WENDT, E. LADEWIG, 2018: Übersicht zu Wirksamkeitsversuchen von Conviso One in Zuckerrüben. Julius-Kühn-Archiv **458**, 498-500.
- KHAN, M.F.R., 2015: Update on adoption of glyphosate-tolerant sugar beet in the United States. Outlooks on Pest Management **26** (2), 61-65.
- LÖBMANN, A., O. CHRISTEN, J. PETERSEN, 2019: Development of herbicide resistance in weeds in a crop rotation with acetolactate synthase-tolerant sugar beets under varying selection pressure. Weed Research **59**, 479-489.
- WEGENER, M., N. BALGHEIM, M. KLIE, C. STIBBE, B. HOLTSCHULTE, 2016: Conviso Smart – an innovative approach of weed control in sugar beet. Zuckerindustrie **141** (8), 517-524.

Möglichkeiten der digitalen Unkraut- und Resistenzmanagement-Beratung basierend auf Praxisdaten aus einem deutschlandweiten Monitoring der Jahre 2019-2021

Potential for a digital weed and resistance management tool based on field data of a monitoring conducted in Germany between 2019-2021

Johannes Herrmann^{1*}, Martin Heß¹, Nele Bollmann¹, Jean Wagner²

¹Agris42 GmbH, Stuttgart

²PlantaLyt GmbH, Hannover

*johannes.herrmann@agris42.de

DOI: 10.5073/20220117-141322

Zusammenfassung

Das Vorkommen resistenter Ungräser stellt für Landwirte und Beratung ein zusätzliches Problem für die langfristige Planung des Unkrautmanagements dar. Wir stellen hier einen Ansatz zur individuellen Risikoermittlung der Resistenzentwicklung und der Ableitung individueller Maßnahmen zur Resistenzvermeidung und Kontrolle von Ungräsern vor. Die Basis für die Entwicklung eines Beratungs-Algorithmus bildet dabei ein deutschlandweit durchgeführtes Monitoring der Jahre 2019-2021. Auf Basis dieser Daten, zusammen mit weiteren externen Daten, wird mit Hilfe von Verfahren des maschinellen Lernens ein Algorithmus erarbeitet, der frühzeitig auf Resistenz-Probleme einzelner Flächen hinweist und eine Anpassung von Maßnahmen vorschlägt. Ein Prototyp ist für die Saison 2022/23 geplant.

Stichwörter: Herbizidresistenz, Prognosemodelle, Resistenzmonitoring

Abstract

The occurrence of resistant weeds poses an additional challenge for farmers and consultants in the strategic planning of weed management practices. We here describe an approach for an individual risk assessment for weed resistance and the development of individual management practices. The basis sets a weed monitoring conducted in the years 2019-2021 in Germany. Based on this data and by combining external data, we will develop a forecasting algorithm based on machine learning. This algorithm shall detect resistance problems on a field level early and provide individual recommendations. A first prototype is planned for the season 2022/23.

Keywords: Forecasting models, resistance monitoring, weed resistance

Einleitung

Durch die Verfügbarkeit hochwirksamer chemisch, synthetischer Herbizide konnte sich die Beratung zur Unkrautkontrolle in den letzten Jahrzehnten weitgehend auf die Optimierung einzelner operativer und taktischer Maßnahmen, hauptsächlich dem Herbizideinsatz, konzentrieren. Entscheidungen über die Wahl der Herbizide, Aufwandmengen und Details der Applikationstechnik standen im Vordergrund der Beratung. Die Qualität dieser taktischen Beratung und die anschließende Durchführung der Herbizidapplikation hat inzwischen einen hohen Standard erreicht und dürfte sich bspw. durch die Möglichkeit der teilflächenspezifischen Applikation von Herbiziden auch noch weiter verbessern. Auch ist die praktische Erfahrung des Herbizideinsatzes bei den Landwirten auf einem hohen Niveau. Die meisten Herbizide sind seit Jahrzehnten mit ihren Wirkungsprofilen und spezifischen Anwendungsanforderungen bekannt und der Bedarf an zusätzlicher Beratung ist in diesem Bereich gering.

Eine anlassbezogene Unkrautbekämpfung ist jedoch nur möglich, wenn zur Lösung aller Unkrautprobleme eine umfangreiche Palette an Wirkstoffmechanismen zur Verfügung steht. Dies ist schon seit einigen Jahren

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online für einen Teil der Betriebe wegen verschiedener Arten von Herbizidresistenzen nicht mehr gegeben, z.B. Resistenzen gegen ALS- und/oder ACCase-Inhibitoren. Strikte gesellschaftliche Forderungen und politische Vorgaben mit dem Ziel, den Herbizideinsatz in den nächsten Jahren zu senken, werden die chemische Unkrautkontrolle weiter einschränken. Hinzu kommen Anwendungseinschränkungen hinsichtlich geringerer Aufwandmengen, eingeschränkte Applikationstermine und eine Zunahme an Teilflächen, die nicht behandelt werden dürfen.

Damit besteht die Herausforderung der nächsten Jahre darin, die Wirksamkeit der vorhandenen Herbizide zu erhalten (Resistenzmanagement) und im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes zunehmend nicht-chemische Bekämpfungsmaßnahmen mit einzubeziehen. Dies führt auch zwangsläufig dazu, dass der Resistenzstatus einer Fläche bekannt sein muss, da die auf den Flächen vorkommenden Unkrautpopulationen vielfach nicht mehr empfindlich gegenüber den eingesetzten Herbiziden sind. Das Erkennen des Ungrasarten-Spektrums muss also um das Wissen über die Herbizidempfindlichkeit der Populationen auf der Fläche erweitert werden um in Fruchtfolgeplanungen mit einbezogen werden, sodass Kulturübergreifende Resistenzen die Bekämpfung in bspw. Sommerungen nicht erschweren. Die Möglichkeiten verschiedener ackerbaulicher Maßnahmen sind dem Landwirt grundsätzlich bekannt. Bei der praktischen Umsetzung in die jeweilige spezifische Betriebssituation besteht allerdings großer Beratungsbedarf. Wir beobachten auch große Qualitätsunterschiede in der praktischen Durchführung nicht-chemischer Bekämpfungsmaßnahmen. Der Grundsatz, dass im Ackerbau jede Kulturmaßnahme eine Maßnahme zur Unkrautkontrolle und umgekehrt jede Unkrautkontrollmaßnahme gleichzeitig eine Kulturmaßnahme sein muss (RÜBENSAM und RAUHE, 1968), ist ein alter Grundsatz der wieder stärker beachtet werden muss. Um die Beratung zu unterstützen stellen wir hier einen ganzheitlichen Ansatz zur feldspezifischen Beratung zur Resistenzvermeidung und Unkrautkontrolle dar. Auf dieser Basis können betriebsspezifische, längerfristige Bekämpfungsstrategien entwickelt und vorgeschlagen werden. Grundlage des Ansatzes sind eigens für diesen Zweck von Agris42 erhobene Daten aus den Jahren 2019-2021. In diesen Jahren wurden jährlich 1.300 Felder von uns beprobt. Dabei handelt es sich um Daten von 320 Betrieben mit starkem oder niedrigem Befall sowie ohne oder mit Resistenzen unterschiedlichster Ausprägung was Wirkstoffe aber auch vorkommende Arten auf dem Feld betrifft. Dabei liegt der Fokus wegen deren Bedeutung und höheren Resistenzrisikos auf den Gräsern.

Material und Methoden

In einem deutschlandweiten Monitoring der Jahre 2019-2021 wurden auf 1.369 Feldern (12.000 ha) jährlich wiederholte Erhebungen zur Restverunkrautung und der Resistenzsituation nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen durchgeführt. Dabei wurden der Befall aller gefundenen Ungräser und zusätzlicher Unkräuter in Befallsstufen eingeteilt (HERRMANN, 2020). Zusätzlich wurden Proben von samenreifen Ungräsern und Unkräutern gesammelt und ausgewählte Arten im Rahmen einer Resistenzuntersuchung im Biotestverfahren mit Herbiziden aus der Familie der ALS- und ACCase-Inhibitoren behandelt (HERRMANN, 2020).

Für die untersuchten Felder wurden die Ackerschlagkarteien der zurückliegenden 6 Jahre erfragt, um die beobachteten Befalls- und Resistenzdaten gezielter auswerten zu können. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die abgefragten Daten.

Tabelle 1 Übersicht über die vom Landwirt abgefragten Informationen zur Bewirtschaftung. Optionale Angaben sind kursiv dargestellt

Table 1 Overview of the collected field management data. Optional data in italics

Aussaat	Aussaatdatum, Kultur, <i>Aussaatstärke</i>
Bodenbearbeitung	Termin und Maßnahme/Maschine
Herbizideinsatz	Termin, Herbizid, Aufwandmenge, <i>Zielunkräuter, Zufriedenheit mit der Maßnahme</i>
Ernte	Termin und Ertrag, Lohnunternehmer oder eigener Mähdrescher
Standort	Ackerzahl, Bodenart, Bewirtschaftungsauflagen

Zusätzlich werden die erhobenen Daten durch Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und Bodenkarten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) erweitert (BGR, 2021).

Auswertung der Daten

Zentraler Punkt bei der Auswertung ist die Bildung von vergleichbaren Indizes aus den vorhandenen Daten. Diese ist bereits bei HERRMANN (2016) und LEPKE (2020) im Detail beschrieben. Dabei werden die qualitativen Daten quantitativ übersetzt und vergleichbar gemacht. Zusätzlich werden die Daten aus der Resistenzanalyse und den Feldbeobachtungen genutzt um den derzeitigen Status des Feldes zu beschreiben. Dabei werden z.B. der Anteil Sommerung und Winterungen, die Häufigkeit des Pflugeinsatzes oder der Einsatz bestimmter Wirkstoffgruppen ermittelt und quantitativ abgebildet.

Ergebnisse

Für den Landwirt und seine Berater stellt sich bezüglich des Unkrautmanagements derzeit die Frage, ob die verfügbaren Wirkstoffe noch zuverlässig wirken und welche Fruchtfolge- und Bewirtschaftungsmaßnahmen ggf. verändert werden müssen um die vorhandenen Unkräuter langfristig effektiv zu kontrollieren. Durch das vermehrte Auftreten resistenter Ungräser (PETERSEN, 2020; HERRMANN, 2020; HEAP, 2020) sind allgemeine Aussagen zur Bekämpfung einzelner Arten in vielen Regionen nicht mehr möglich und der Resistenzstatus muss zwingend bekannt sein. Darüber hinaus besteht das Problem, dass die Resistenzbildung nur vorbeugend unterbunden werden kann, wenn sich für die resistenten Ungräser aus dem Vorhandensein der Resistenzeigenschaft kein Selektionsnachteil ergibt. Dies ist bei den ALS- und ACCase-Resistenzen in Gräsern der Fall (POWLES & YU, 2010; HERRMANN, 2016). Für den landwirtschaftlichen Betrieb ist es daher wichtig zu wissen, auf welchen Flächen ein erhöhtes Risiko zur Resistenzbildung besteht und wie dieses verringert werden kann. Dabei spielen neben den agronomischen Faktoren auch Standortfaktoren, wie Bodenart und Bodentyp, eine wichtige Rolle (HERRMANN, 2016). Dies erklärt, warum bei gleicher Bewirtschaftung nicht alle Felder eines Betriebes gleichermaßen von dem Auftreten resistenter Populationen beeinträchtigt sein müssen.

Die grundsätzliche Herangehensweise an das Problem und die Durchführbarkeit mit Hilfe von repräsentativ erhobenen Praxisdaten wird bei HERRMANN (2016) und LEPKE (2020) beschrieben und ist exemplarisch in Abbildung 1 dargestellt. Dabei stellt das Monitoring (HERRMANN, 2020), welches ca. 0,1 % der deutschen Ackerfläche umfasst, einen kleinen, aber repräsentativen Ausschnitt der Gesamtackerfläche dar. Die systematische Analyse dieser Flächen soll zu einem besseren Gesamtverständnis des Systems führen. Dabei stellen wir eine anonyme Verknüpfung zwischen einzelnen Flächen unterschiedlicher Betriebe her und analysieren Ähnlichkeiten, sodass sich von diesen Flächen auf weitere, nicht im Monitoring enthaltene Flächen schließen lässt. Ziel ist es dadurch sowohl Ableitungen für das Management von Resistenzfällen zu

gewinnen, als auch vorbeugende Maßnahmen frühzeitig durch individuelle Risikoabschätzungen einzuleiten. Die in Abbildung 1 dargestellten Einflussfaktoren werden dabei genutzt um 1) eine individuelle Risikoabschätzung bezüglich Befalls- und Resistenzsituation zu geben und 2) basierend darauf Fruchtfolge- und Management-Anpassungen vorzuschlagen. Ein wichtiger Baustein ist dabei, dass die meisten im Monitoring enthaltenen Flächen derzeit noch kein oder nur ein geringes Resistenzniveau aufweisen (Hess, 2022). Das heißt, die Verungrasung nach Abschluss aller Maßnahmen ist noch gering und die Resistenzsituation ist nicht ausgeprägt. Etwa 10 % der Felder weisen jedoch eine hohe Restverunkrautung zusammen mit einem Vorkommen verschiedener Resistenzen auf, sodass hier ein guter Querschnitt über die Situation in Deutschland erzielt wird.

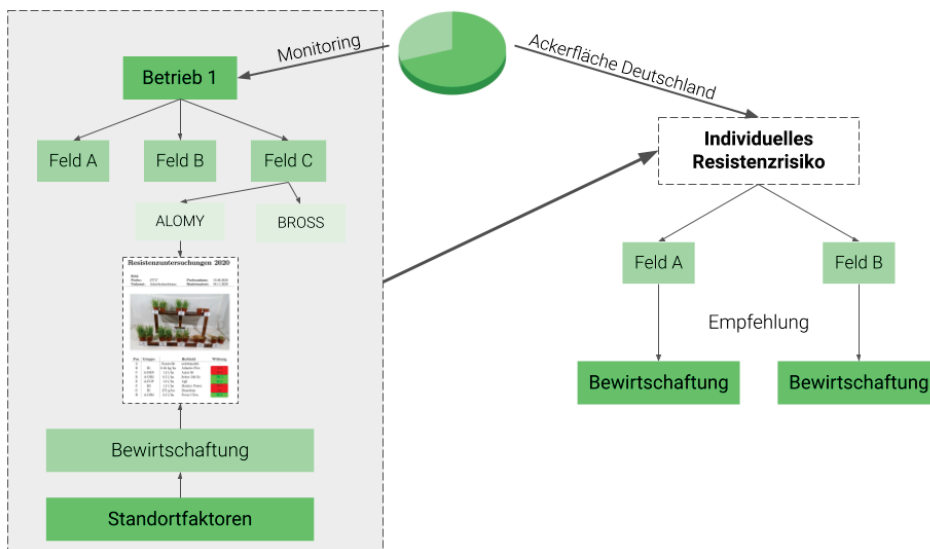


Abbildung 1 Schematische Darstellung der Erstellung des Prognose-Modells. Links der Ablauf des Monitorings und die Erhebung von Feld-, Resistenz- und Bewirtschaftungsdaten. Rechts die Übertragung der Ergebnisse auf weitere Flächen.

Figure 1 Schematic representation of the development of a forecasting algorithm. Left the collection of data in the monitoring from collection of infestation levels in the field, resistance confirmation testing to the collection of field management information. Right the use of the forecasting model on additional fields.

Anders als bei bisherigen Beratungsmodellen basieren Risikoeinschätzungen und Empfehlungen hierbei auf Praxisdaten und nicht auf Expertenmeinungen. Besonders die langfristige, zurzeit 3-jährige wiederkehrende Beprobung der gleichen Flächen erlaubt eine präzisere Einschätzung der Situation. Durch die Erfassung mehrerer Flächen eines Betriebes, sowie der Berücksichtigung mehrerer Betriebe je Region lassen sich zudem die Effekte einzelner Maßnahmen von der Qualität der Umsetzung durch den Landwirt trennen. Dadurch wird eine hohe Objektivität erreicht, die durch einen repräsentativen Datensatz gesichert ist. Durch die Verwendung von Konzepten des maschinellen Lernens im Vergleich zu deterministischen Modellen erfolgt die Berechnung der Empfehlung auch in wesentlich kürzerer Zeit, was zu einer höheren Akzeptanz der Benutzer führen wird (HERRMANN, 2016). Dadurch ist ebenfalls sichergestellt, dass eine Erweiterung und die Pflege des Beratungs-Algorithmus einfacher möglich ist und jeder neue Datensatz direkt zu einer Verbesserung des Modells führt.

Es wird also der Ansatz unternommen, die isolierten Daten jedes Betriebs anonym, ohne Rückverfolgbarkeit und unter Einhaltung des Datenschutzes als Basis zu gemeinschaftlichem Wissen für unsere Kunden zu nutzen. Durch die Nutzung von Programmierschnittstellen (API) ist dabei eine gezielte Einbindung in bestehende Farm-Management-Systeme möglich, sodass Daten vom Landwirt nicht doppelt erfasst werden müssen. Dies ermöglicht das direkte Nutzen der Beratungswerkzeuge als Assistenten bei der Planung der Anbaustrategie für die folgenden Jahre.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
Ziel ist es, ein Pilotprojekt zur Validierung des Ansatzes 2022/23 mit ausgewählten Betrieben und Beratern zu starten.

Literatur

- BGR, 2021: Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:200.000, URL:
https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Informationsgrundlagen/Bodenkundliche_Karten_Datenbanken/BUEK200/buek200_node.html .
- HEAP, I., 2021: International Survey Of Herbicide Resistant Weeds, URL: 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, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 208p., DOI: 10.24355/dbbs.084-201701240925-0.
- HERRMANN, J., M. HESS, J. WAGNER, 2020: Befall und Herbizid-Sensitivität in ausgewählten Regionen Deutschlands: Ergebnisse eines Gräser-Resistenzmonitorings 2019. Julius-Kühn-Archiv **464**, 333-338, DOI: 10.5073/jka.2020.464.050.
- HESS, M., 2022: Ergebnisse eines Deutschlandweiten Gräser-Monitorings der Jahre 2019-2021: Befalls- und Resistenzentwicklung. Julius-Kühn-Archiv **468**
- LEPKE, J., R. BEFFA, O. RICHTER, J. HERRMANN, 2020: Transferability of a random forest model for resistance prediction between different regions in Europe. Julius-Kühn-Archiv **464**, 490-497, DOI: 10.5073/jka.2020.464.074.
- PETERSEN, J., H. RAFFEL, 2020: Evolution der Herbizidresistenz in *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* im deutschen Getreideanbau der letzten 15 Jahre. Julius-Kühn-Archiv **464**, 326-332, DOI: 10.5073/jka.2020.464.049.
- POWLES, S., Q. YU, 2010: Evolution in action: plants resistant to herbicides. Annu. Rev. Plant Biol. **61**, 317–347, DOI: 10.1146/annurev-arplant-042809-112119.
- RÜBENSAM. E., K. RAUHE, 1968: Ackerbau, 2. überarbeitete Auflage, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.

Ergebnisse eines deutschlandweiten Gräser-Monitorings der Jahre 2019 - 2021: Befalls- und Resistenzentwicklung

Results of a weed monitoring 2019-2021: Development of infestation and resistance situation

Martin Heß^{1*}, Johannes Herrmann¹, Nele Bollmann¹, Jean Wagner²

¹Agris42 GmbH, Stuttgart

²PlantaLyt GmbH, Hannover

*martin.hess@agris42.de

DOI: 10.5073/20220117-141508

Zusammenfassung

Der Befall und die Resistenzsituation von *Alopecurus myosuroides* Huds., *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv., *Bromus* spp. und *Lolium* spp. wurden in den Jahren 2019-2021 untersucht. Es zeigt sich, dass gerade im Jahr 2021 der Befall höher war als in den Jahren davor. Resistenzen wurden gerade bei *A. myosuroides* und *Lolium* spp. sowohl bei den ACCase- als auch bei den ALS-Inhibitoren gefunden, während für *Bromus* spp. und *A. spica-venti* eher Probleme bei Sulfonylharnstoffen gefunden wurden. Zunehmend beobachten wir jedoch Fälle von Mischverungrasungen mehrerer resistenter Gräser, die die Landwirte zunehmend vor Probleme stellen.

Stichwörter: Deutschland, Herbizidresistenz, Resistenzmonitoring, Unkrautbefall

Abstract

The infestation and the resistance situation with *Alopecurus myosuroides* Huds., *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv., *Bromus* spp. and *Lolium* spp. were determined between 2019-2021. Especially in 2021, the infestation was higher than in the years before, with no clear trend. Resistance cases were found for *A. myosuroides* and *Lolium* spp. for both ALS- and ACCase-inhibitors. For *A. spica-venti* and *Bromus* spp., resistance to ALS-inhibitors were found with minor exceptions. More problematic is the simultaneous occurrence of more than one resistant grass per field, posing new problems to farmers.

Keywords: Germany, resistance monitoring, weed infestation, weed resistance

Einleitung

Unkrautbekämpfung ist zur Sicherung der Erträge essenziell und Herbizide sind 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 (HEAP, 2014; HEAP, 2015). Der Einsatz von Herbiziden zur Bekämpfung von Unkräutern kann resistente Unkräuter selektieren (DÉLYE et al., 2010). Deren häufiger Einsatz kann daher bei gleichzeitiger geringer Anwendung alternativer Bekämpfungsmaßnahmen schneller zu sicht- und messbaren Resistenzproblemen im Feld führen (HERRMANN, 2016). Probleme mit Resistenzen sind jedoch für den Landwirt mit erheblichen Kosten verbunden. Somit wäre es notwendig zum einen das Resistenzmaß 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 (NEVE et al., 2014). Dies ist jedoch

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
notwendig, um den Bedarf für neuartige Lösungen frühzeitig zu erkennen und Landwirte gezielt auf zukünftige Probleme hinzuweisen.

Dazu wurde im Jahr 2019 ein deutschlandweites Monitoring mit dem Schwerpunkt *A. myosuroides* und *A. spica-venti* gestartet. Ziel war es, den Befall vor der Ernte (nach Abschluss aller Bekämpfungsmaßnahmen) als Indikator für das Ausmaß des Problems im Feld und den Resistenzgrad im Gewächshaus zu dessen Erklärung zu bestimmen. Dabei wurde versucht, das Bundesgebiet weitestgehend abzudecken. Wir stellen hier repräsentativ für die Situation in Deutschland sowohl die Befallssituation als auch die Resistenzausprägungen dar.

Material und Methoden

Das Monitoring umfasst 1369 Felder und wird seit 2019 jedes Jahr durchgeführt. Dabei werden der Befall nach Abschluss aller Behandlungen im Feld für jedes Unkraut bzw. Ungras bestimmt, der Resistenzstatus für ausgewählte Ungräser ermittelt sowie Informationen zur Bewirtschaftung bei den Landwirten erfragt. Die dargestellten Daten zum Befall beziehen sich dabei auf die Situation zur Ernte und nach Abschluss aller Herbizidmaßnahmen, in Reihenkulturen auch nach mechanischer Bekämpfung. Es wurden Proben von samenreifen Ungräsern gesammelt und anschließend auf Resistenzen im Biotest-Verfahren mit zugelassenen Herbiziden untersucht. Die detaillierte Methode ist bei HERRMANN (2020) beschrieben. Die statistische Analyse wurde mit R 3.6.3 durchgeführt.

Ergebnisse

Befall von A. myosuroides, A. spica-venti, Bromus spp. (B. sterilis L., B. secalinus L., B. commutatus Schrad.) und L. multiflorum Lam. 2019 - 2021

Abbildung 1 zeigt den Befall der vier wichtigsten beprobten Ungräser in den Jahren 2019 - 2021 nach Abschluss der Behandlungen im Feld. Dadurch ergibt sich für die Resistenzbetrachtung ein geeigneteres Bild, da nur der Befall derjenigen Ungräser bewertet wird, die durch die Herbizidmaßnahmen nicht kontrolliert wurden. Grundsätzlich zeigt sich, dass auf den Flächen mehrheitlich nur eine geringe bis mittlere Verungrasung gefunden wurde. So wurde beispielsweise in 50 % der Fälle keine Verungrasung oder nur einzelne Pflanzen gefunden. Der Anteil der Flächen mit ganzflächigem Befall betrug weniger als 10 % mit Ausnahmen bei *A. myosuroides* 2019 (11,6 %) und 2021 (17,2 %) sowie *A. spica-venti* 2019 (10,3 %). Es zeigt sich, dass mit Ausnahme von *A. spica-venti* für alle untersuchten Gräser in 2021 der Anteil der höheren Befallsklassen ausgeprägter war als in den Jahren 2020 und 2021.



Abbildung 1 Verteilung der Befallsklassen der verschiedenen Ungräser mit Bezug auf den Vorerntebefall nach Abschluss aller Bekämpfungsmaßnahmen durch den Landwirt. 1=keine/ einzelne Pflanzen, 2= kleine Nester, 3=größer Nester/halbes Feld, 4= ganzes Feld, 5=ganzes Feld, starker Befall.

Figure 1 Distribution of the weed infestation classes after weed management practices were carried out. 1=no/single weeds, 2=small patches, 3=larger patches up to half of the field, 4=entire field, 5=entire field, heavy infestation.

Zusammensetzung der Arten

Neben der Frage nach dem Ungrasbefall einzelner Arten wurde auch das gemeinsame Auftreten der jeweiligen Arten untersucht. Hier zeigt sich, dass auf den untersuchten Flächen in 61 % der Fälle *A. myosuroides* allein vorkam. Auf 21 % der Flächen wurde *A. myosuroides* und ein weiteres Gras beobachtet, auf 13 % der Flächen wurden nur andere Ungräser als *A. myosuroides* beobachtet und auf 5 % der Felder wurden *A. myosuroides* und mindestens zwei andere Gräser beobachtet.

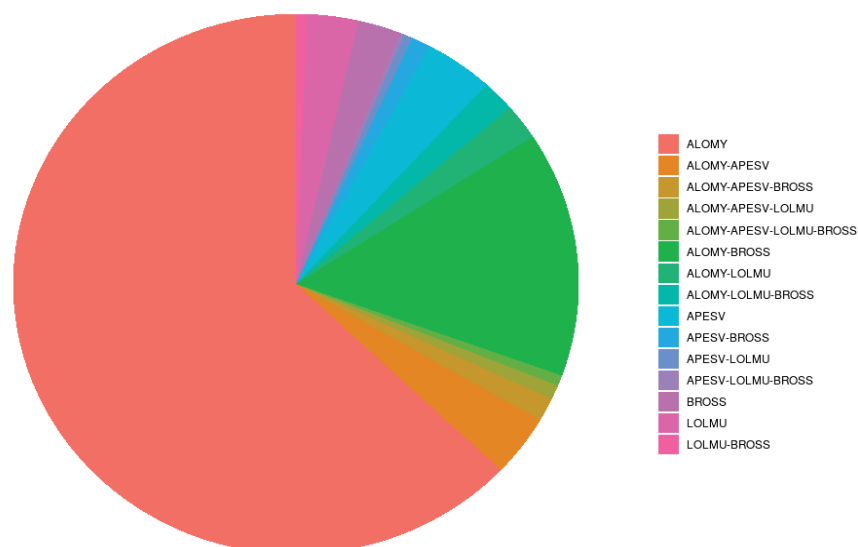


Abbildung 2 Relativer Anteil [%] der gefundenen Kombinationen der untersuchten Gräser auf 1369 im Monitoring untersuchten Flächen.

Figure 2 Relative distribution [%] of different combinations of grasses found on 1369 fields in the monitoring across fields.

Aus den Kombinationen geht auch hervor, dass von den 21 % der Felder mit Mischverungrasung aus *A. myosuroides* und einem weiteren Gras hier die *Bromus*-Arten mit 15 % dominierten. Meist dominiert bei den Mischverungrasungen eine Art.

Verbleibende Wirkung ausgewählter Herbizide

Abbildung 3 zeigt die verbleibende Wirkung verschiedener Herbizide auf die untersuchten Ungräser. Dabei wurden Behandlungen mit ATTRIBUT® (Propoxycarbazone, *Bromus* spp.), HUSAR® OD (Iodosulfuron, *A. spica-venti*) und ATLANTIS® WG (Mesosulfuron, Iodosulfuron, *A. myosuroides*, *Lolium* spp.) unter dem Begriff "Getreide-ALS" zusammengefasst.

Die Abb. 3 zeigt, dass unter den getesteten ACCase-Inhibitoren gegen *A. myosuroides* AXIAL® 50 (Pinoxaden) am häufigsten von Resistenzen betroffen war, gefolgt von AGIL®-S (Propaquizafop), FOCUS® ULTRA (Cycloxydim) und SELECT® 240 EC (Clethodim). Dieses Bild ergibt sich jedoch nicht bei der Bekämpfung von *Lolium* spp., wo AGIL-S etwas schlechter als AXIAL 50 abschnitt. Des Weiteren kann man beobachten, dass in *A. myosuroides* und *Lolium* spp. sowohl gegen ACCase- als auch ALS-Inhibitoren Resistenzen beobachtet wurden, während in *A. spica-venti* nur für ALS-Inhibitoren Probleme beobachtet wurden und im Fall der ACCase-Inhibitoren diese noch selten auftreten. Bei der Prüfung von ALS-Inhibitoren im Getreide (Getreide-ALS vs. BROADWAY®, Pyroxsulam) konnten wir beobachten, dass die Sulfonylharnstoffe gegen *A. myosuroides* und *Lolium* spp. etwas besser wirkten als BROADWAY, während sich dies gegen *A. spica-venti* umgekehrt verhält.

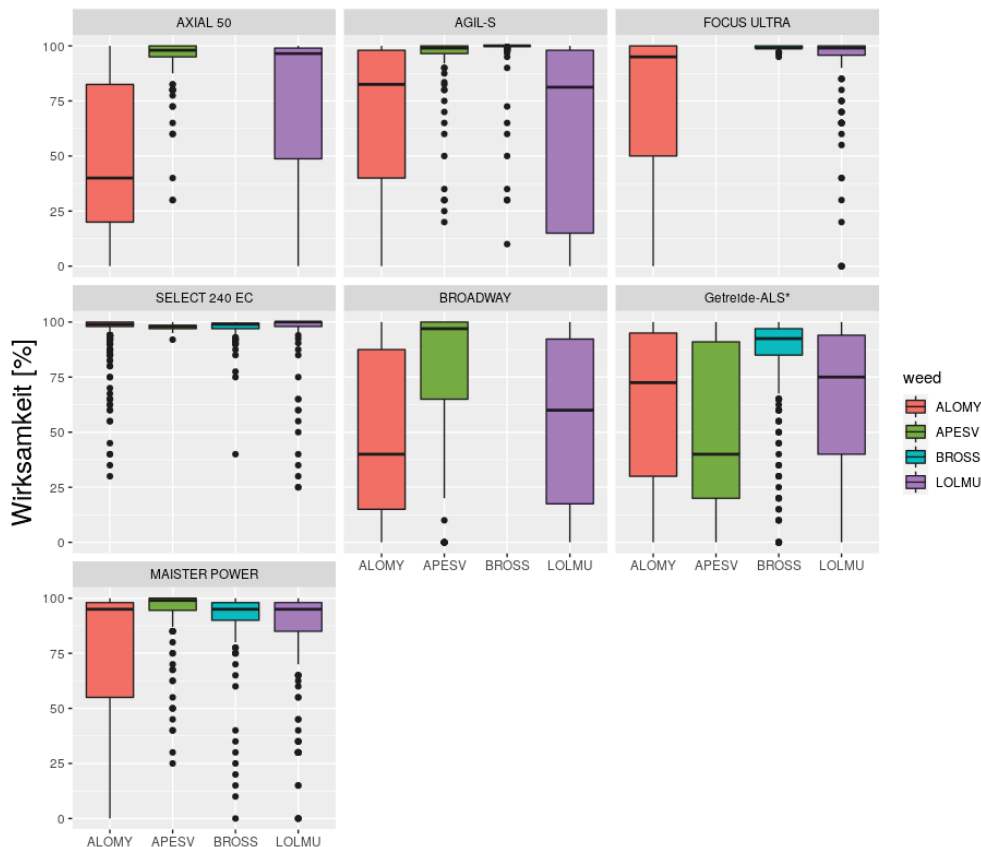


Abbildung 3 Ergebnisse der Biotest-Untersuchungen für verschiedene Ungräser und Herbizide im Gewächshaus.

ALOMY = *A. myosuroides*, APESV = *A. spica-venti*, BROSS = Trespe Arten, LOLMU = *Lolium multiflorum*.

Figure 3 Results of the greenhouse bioassay for several weed species and different herbicides. ALOMY = *A. myosuroides*, APESV = *A. spica-venti*, BROSS = brome grasses, LOLMU = *Lolium multiflorum*.

Auch zeigt sich, dass Herbizidresistenzen in *Bromus* spp. bisher kaum ausgeprägt sind, sich jedoch einzelne Fälle gegen ALS-Inhibitoren zeigen (Abb. 3). Für *Lolium* spp. und *A. myosuroides* zeigt sich zudem, dass Minderwirkungen von FOCUS ULTRA etwas häufiger zu finden sind als von SELECT 240 EC, obwohl beide zu den "DIMs" gehören.

Auffallend ist, dass der ALS-Inhibitor Foramsulfuron (Mais) weniger von Resistenzen betroffen ist, als andere ALS-Inhibitoren, die im Getreide eingesetzt werden. Dies zeigt sich bei allen getesteten Arten und hängt mit einer Mutation an Position Thr547 zusammen, die als einzige Resistenz gegenüber diesem Wirkstoff bewirkt.

Eine Korrelation zwischen den Befallsklassen und der verbleibenden Herbizidwirkung wurde nicht festgestellt (Daten nicht dargestellt). Dies bedeutet, dass auch auf Flächen mit guter Bekämpfungsleistung im Feld resistente Pflanzen herausselektiert werden können, die unter Umständen in Zukunft zu Problemen führen.

Korrelation der verbleibenden Wirkung von Sulfonylharnstoffen des Getreides beim Vorkommen mehrerer Arten

Da Minderwirkungen in allen untersuchten Arten gefunden wurden, stellt sich aus Sicht der Praxis die Frage, inwieweit eine Korrelation der Wirkung bei gleichzeitigem Auftreten mehrerer Ungräser besteht. Dazu wurden Korrelationen der gefundenen Wirkungsgrade gegen *A. myosuroides*, dem am häufigsten gefundenen Ungras, mit denen gegen *Bromus* spp., *Lolium* spp. und *A. spica-venti* errechnet.

In keinem Fall konnte eine enge Korrelation gefunden werden. Folgende Korrelationen wurden für die Ergebnisse gefunden: zwischen *A. myosuroides* und *Bromus* spp. $r=0,19$, $p<0,001$, $N=734$, zwischen *A. myosuroides* und *A. spica-venti* $r=0,42$, $p<0,01$, $N=65$ und zwischen *A. myosuroides* und *Lolium* spp. $r=0,31$, $p<0,05$, $N=83$. Bisher ist das Vorkommen von zwei resistenten Gräsern auf dem selben Feld noch selten. Gerade bei *B. commutatus* traten jedoch vereinzelt Fälle, bei denen keine Restwirkung von sowohl ATLANTIS (*A. myosuroides*) als auch ATTRIBUT mehr gefunden wurde (Daten nicht dargestellt). Wir glauben, dass gerade diese Fälle in Zukunft häufiger auftreten werden.

Diskussion

Während einzeln betrachtet das Befallsgeschehen nach Abschluss der Behandlungen auf den Flächen mehrheitlich niedrig ist, konnten gerade für *A. myosuroides* 2021 häufiger Flächen mit schwerem Befall beobachtet werden. Hinzu kommt, dass gerade gegen *A. myosuroides* und *Lolium* spp. Minderwirkungen sowohl der ACCase- als auch der ALS-Inhibitoren beobachtet werden. Mit Blick auf die Befallsdaten fällt auf, dass ein Teil dieser Proben von Feldern stammt, in denen der Landwirt eine gute Bekämpfungsleistung erzielte, jedoch die wenigen überlebenden Pflanzen resistent waren. Die Ergebnisse der Befallsstärke vor der Ernte nach Abschluss aller Bekämpfungsmaßnahmen dokumentieren den endgültigen Erfolg der Maßnahmen. Die Restverunkrautung mit dikotylen Arten (Ergebnisse nicht gezeigt) ist deutlich geringer als die mit Gräsern. Felder mit ganzflächigem Befall mit einer einzelnen dikotylen Art wurden praktisch nicht beobachtet. Unter den Gräsern ist *A. myosuroides* mit etwa 10 % der Felder in den hohen ertragsrelevanten Befallsstufen 4 und 5 das größte Einzelproblem. Trends einer Zu- oder Abnahme der Befallsstärken lassen sich nach drei Beobachtungsjahren nicht erkennen. Allerdings war in der Saison 2020/21 der Vorerntebefall mit *A. myosuroides* deutlich höher. Wir führen dies auf eine insgesamt stärkere Befallssituation zurück, die vermutlich auf einen höheren Samenvorrat während der letzten zwei Jahre, aufgrund geringeren Auflaufs wegen Trockenheit, zurückgeht. Wir dürfen daher von einer starken Ergänzung des Samenvorrates im Boden ausgehen. Für *A. spica-venti* konnten wir einen stärkeren Befall nicht feststellen. Im Vergleich zu *A. myosuroides* war ein stärkerer Frühjahrsauflauf nicht zu beobachten.

Schwerer ganzflächiger Befall mit *Bromus* spp. konnte nur auf wenigen Feldern beobachtet werden. Dies hauptsächlich mit der Tauben Trespe (*Bromus sterilis*), obwohl diese Art relativ frequent ist, allerdings meist auf die Ackerränder beschränkt. Wiesentrespe (*Bromus commutatus*) scheint sich als Ackergras stärker zu etablieren.

Zusätzlich konzentriert sich jedoch die Betrachtung der Problematik in Problemregionen zunehmend auf ein Spektrum an Ungräsern. Dabei spielen vor allem Mischverungrasungen aus *A. myosuroides*, *Bromus* spp., *A. spica-venti* und *Lolium* spp. eine wichtige Rolle. So konnten wir Fälle aufzeigen, bei denen im Getreide auf Grund von Resistenzen bei Sulfonylharnstoffen sowohl *A. myosuroides* als auch *Bromus* spp. nicht mehr ausreichend bekämpft werden konnten. Durch den Wegfall der Sulfonylharnstoffe in diesen Fällen ergibt sich aber das Problem, dass die bisherige Bekämpfungsstrategie gegen beide vorkommenden Arten unter Umständen nicht mehr ausreicht. Hierbei stellt sich die Frage, ob das Thema Mischverungrasung ein neues Problem ist, welches durch größere Felder, die verschiedene Standortbedingungen vereinigen, begünstigt wird. Wahrscheinlich müssen wir uns auch von der eher statischen Arten-Definition lösen, nach der Arten bestimmte feste Standortansprüche besitzen und von bestimmten ackerbaulichen Produktionsmethoden mehr oder weniger begünstigt werden oder davon, dass ein Herbizid gegen alle Populationen die gleiche Wirkung hat. Das deutlichste Beispiel dazu ist natürlich die Herbizidresistenz. Zwar gehören Pflanzen von *A. myosuroides* mit unterschiedlichstem Resistenzprofil immer noch zur Art *A. myosuroides*, aber eine generelle Herbizidempfehlung ist nicht mehr möglich. Der Landwirt muss vor dem Einsatz das Resistenzprofil der zu behandelnden Population kennen. Dies gilt insbesondere für Wirkstoffe mit höherer Resistenzprävalenz von 10 % der Populationen oder mehr. Wir

können auch annehmen, dass gleichzeitig mit der Resistenzselektion die Arten eine Evolution durch die üblichen praktizierten ackerbaulichen Produktionsverfahren erfahren haben. Also, dass nicht nur bestimmte Produktionsverfahren bestimmte Arten begünstigen, sondern dass auch ein aktiver evolutionärer Anpassungsprozess permanent stattfindet. Wir vermuten dies besonders für die Gräserarten. Es ist durchaus möglich, dass eine Art Ko-Evolution zwischen Herbizidresistenz und Adaptation an verschiedene agronomische Eigenschaften stattfindet.

Literatur

- DÉLYE, C., S. MICHEL, A. BÉRARD, 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, DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03233.x.
- HEAP, I., 2014: Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest Manag. Sci.* **70** (9), 1306–1315, DOI: 10.1002/ps.3696.
- HEAP, I., 2021 International Survey Of Herbicide Resistant Weeds. URL: 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, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 208 p., DOI: 10.24355/dbbs.084-201701240925-0.
- HERRMANN, J., M. HESS, J. WAGNER, 2020: Befall und Herbizid-Sensitivität in ausgewählten Regionen Deutschlands: Ergebnisse eines Gräser-Resistenzmonitorings 2019. 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, Julius-Kühn-Institut, Braunschweig, Germany, Julius-Kühn-Archiv **464**, 333-338, DOI: 10.5073/jka.2020.464.050.
- HOGREFE, C., 2011: Untersuchungen zur Herbizidresistenz in verschiedenen Feldpopulationen von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in Deutschland, Masterarbeit Hochschule Neubrandenburg.
- 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, 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), 1385–93, DOI: 10.1002/ps.3757.
- PETERSEN, J., G. NARUHN, H. RAFFEL, 2012: Nicht-Zielortresistenzen bei *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* – Resistenzmuster und Resistenzfaktoren. 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, Julius-Kühn-Institut, Braunschweig, Germany, Julius-Kühn-Archiv **434**, 43-50, DOI: 10.5073/jka.2012.434.004.
- POWLES, S., Q. YU, 2010: Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annu. Rev. Plant Biol.* **61**, 317–347, DOI: 10.1146/annurev-arplant-042809-112119.

Resistenzsituation in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen sowie Empfehlungen der Pflanzenschutzdienste zu Antiresistenz-Strategien am Beispiel von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*)

On the issue of herbicide resistance in the federal states Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia and recommendations of the official plant protection service for the control of Alopecurus myosuroides

Ewa Meinlschmidt^{1*}, Christine Tümmeler², Katrin Ewert³, Elke Bergmann⁴

¹Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen

²Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Steinplatz 1, 15806 Zossen OT Wünsdorf

³Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum, Apoldaer Straße 4, 07774 Dornburg-Camburg

⁴Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau, Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg

*Ewa.Meinlschmidt@smekul.sachsen.de

DOI 10.5073/20220124-061511

Zusammenfassung

In den Bundesländern Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen wird seit mehreren Jahren eine Zunahme von herbizidresistenten Unkrautbiotypen festgestellt. Zur Überwachung der Entwicklung von Herbizidresistenz entnimmt der Pflanzenschutzdienst jährlich Samenproben von *Alopecurus myosuroides*, bei denen eine Minderwirkung nach der Herbizidanwendung beobachtet wurde. Regional wurden auch resistente Populationen von *Apera spica-venti*, *Lolium* spp., *Echinochloa crus-galli*, *Bromus sterilis* sowie *Amaranthus retroflexus*, *Matricaria* spp., *Papaver rhoeas* und *Stellaria media* nachgewiesen. In dem Beitrag werden die gegenwärtige Resistenzsituation bei *A. myosuroides* in o.g. Bundesländern vorgestellt sowie die Ursachen der Zunahme der Resistenzen erörtert. Biotests zeigten bereits, dass bei der Bekämpfung von *A. myosuroides* Wirkstoffe der HRAC-Gruppen 1 und 2 deutlich an Wirksamkeit verloren haben. Durch molekularbiologische Analysen konnten Mutationen nachgewiesen werden, die die Bindung zwischen den Herbiziden und den Zielproteinen ALS oder ACCase behindern.

Stichwörter: ALS und ACCase-Hemmer, Herbizidresistenz, Herbizidwirksamkeit, Ungrasbekämpfung

Abstract

In the federal states Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia black-grass has been spreading on arable land for a number of years and herbicidal control is no longer effective. The plant protection services are obliged to provide an official consulting for farmers in the framework of an integrated pest management. To monitor the development of herbicide resistance, seed samples of *Alopecurus myosuroides* were taken annually and bioassays showed a decrease in herbicide efficiency. Locally, additional cases of resistance were found in populations of *Apera spica-venti*, *Lolium* spp., *Echinochloa crus-galli*, *Bromus sterilis* sowie *Amaranthus retroflexus*, *Matricaria* spp., *Papaver rhoeas* und *Stellaria media*.

This study presents the current stage of herbicide resistance in populations of *A. myosuroides* in the mentioned federal states and discusses possible cause-effect chains. Bioassays showed reduced efficacy of HRAC group 1 and 2 herbicides. Known herbicide target sites in the *ALS* and *ACCase* genes were examined for mutations affecting binding of herbicides belonging to these groups.

Keywords: ALS and ACCase inhibitors, grass weed control, herbicide efficacy, herbicide resistance

Einleitung

In den Bundesländern Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen gehört *Alopecurus myosuroides* neben *Apera spica-venti* zu den wichtigsten Leitunggräsern im Beratungsgebiet des amtlichen Pflanzenschutzdienstes. Der Pflanzenschutzdienst als unabhängige Institution hat einen Auftrag zur neutralen fachlichen Beratung der Landwirte im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes und der guten fachlichen Praxis. *A. myosuroides* nimmt in den letzten Jahren sowohl in der Verbreitung als auch in der Befallsstärke zu. Besonders deutlich ist dies in Thüringen zu beobachten. Während noch vor 10 Jahren *A. myosuroides* nur vereinzelt, vor allem in Westthüringen auftrat, hat er sich mittlerweile in fast ganz Thüringen ausgebreitet und bereitet den Landwirten große Bekämpfungsprobleme. Eine ähnliche Situation findet man auch in Sachsen-Anhalt. Im Gegensatz dazu dominiert in Brandenburg und Sachsen bisher noch immer *A. spica-venti* (SCHRÖDER et al., 2010). *A. myosuroides* nimmt in Sachsen, besonders im Westen des Landes, mit Besatzdichten bis zu 3000 Pflanzen/m² zu. In Brandenburg ist er vorwiegend regional auf den tonigen Böden im Nordosten und Osten des Landes ein Problem.

Getreidebetonte Fruchtfolgen, reduzierte Bodenbearbeitung, Vorverlegung des Saattermins, zunehmend überbetriebliche Erntetechnik sowie einseitiger Herbizideinsatz sind Gründe für das verstärkte Auftreten der Ungräser. Aber auch wegfallende Wirkstoffe (z. B. Isoproturon, Flupyrsulfuron, Flurtamone), die verschärften Zulassungskriterien oder die Anwendungsbestimmungen NT145, 146, 170, die den Einsatz der zur Verfrachtung neigenden Pendimethalin- und Prosulfocarb-haltigen Herbizide erschweren, machen eine effektive Bekämpfung der Ungräser immer schwieriger (GEHRING et al., 2018). Neben *A. myosuroides* und *A. spica-venti* finden sich regional in Sachsen, Thüringen und Brandenburg auch zunehmend Flächen mit resistentem *Lolium* spp. Multiple Resistenzen gegenüber ACCase-Hemmern und ALS-Hemmern, aber auch gegen Flufenacet, wurden nachgewiesen (DICKE und MEINLSCHMIDT, 2020).

Im konventionellen Ackerbau ist eine effektive chemische Bekämpfung der Ungräser mit einem Wirkungsgrad der eingesetzten Herbizide von mindestens 97-98 % erforderlich, um die Ungraspopulation nachhaltig zu kontrollieren. Die Bekämpfung der Schadgräser stellt Praktiker unter diesen Bedingungen vor schwer überwindbare Probleme. Neben den ackerbaulichen Maßnahmen ist der Herbizideinsatz nach wie vor ein wichtiger Baustein in der Ungrasbekämpfung. Zur Erarbeitung der Anti-Resistenzstrategien führt der Pflanzenschutzdienst der Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen seit 2010 Resistenzuntersuchungen durch. Dazu erfolgt die Entnahme der Samenproben von *A. myosuroides*, *A. spica-venti*, *Lolium* spp., *Bromus* spp. sowie von zweikeimblättrigen Unkräutern von Flächen mit herbiziden Minderwirkungen.

Im Folgenden ist die Resistenzsituation gegenüber *A. myosuroides* und anderen Leitunkräutern in Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen dargestellt.

Material und Methoden

Biotest und molekulargenetische Untersuchungen

Die Entnahme der Samenproben von *A. myosuroides* erfolgte von Flächen, auf denen eine Minderwirkung von Herbiziden beobachtet wurde. Ausgewertet wurde der Zeitraum 2018-2020 (für Thüringen 2017-2019). Insgesamt wurden in Brandenburg 17 Biotypen, in Sachsen 18, in Thüringen 23 und in Sachsen-Anhalt 46 Biotypen untersucht. Die Verdachtsproben wurden mit Herbiziden aus den Wirkstoffklassen 1, 2, 5 und 15 in drei Wiederholungen zunächst in Biotests in zertifizierten Laboren sowie in der Gefäßstation des Pflanzenschutzdienstes Sachsen auf mögliche Minderwirkungen untersucht. Die Applikation erfolgte für die Bodenherbizide im BBCH 00-09 und für die Blattherbizide im BBCH 11-13. Die Wirkstoffe bzw. Wirkstoffkombinationen sind in der Tabelle 1 dargestellt. Der Wirkungsgrad wurde gemäß EPPO-Richtlinie

PP 1/93(3) 28 Tage nach der Herbizidapplikation bonitiert. Die Einstufung von Sensitivität bzw. Resistenz erfolgte entsprechend dem in Tabelle 2 aufgeführtem Schema nach Moss (1999).

Für im Biotest als resistent eingeschätzte Biotypen erfolgten im Anschluss in den meisten Fällen molekulargenetische Analysen in zertifizierten Laboren um zu prüfen, ob Mutationen in den Zielgenen vorliegen, die eine Resistenz bedingen können. Für diese Analysen wurde Blattmaterial von untersuchten Pflanzen verwendet, die eine Herbizidbehandlung mit Herbiziden der HRAC-Gruppen 1 und 2 überlebt hatten.

Tabelle 1 Geprüfte Herbizide und Aufwandmengen gegenüber *A. myosuroides*

Table 1 Herbicides and herbicide rates used in the resistance test against *A. myosuroides*

Herbizid	Aufwandmenge (l bzw. kg/ha)	Wirkstoffe (g/ha)	HRAC-Gruppe
Cadou SC	0,5	250 Flufenacet	15
Axial 50	0,9	45 Pinoxaden	1
Axial 50	1,2	60 Pinoxaden	1
Sword	0,25	53,5 Clodinafop	1
Topik	0,6	53,5 Clodinafop	1
Traxos	1,2	30 Pinoxaden, 27 Clodinafop	1
Agil-S	1,0	100 Propaquizafop	1
Focus Ultra + Dash E.C.	1,25 + 1,25	125 Cycloxydim	1
Focus Ultra	2,5 + 2,5	250 Cycloxydim	1
Select 240 EC + Radiamix	0,75 + 1,0	180 Clethodim	1
Segment	1,0	149,5 Sethoxydim	1
Atlantis WG + Biopower bzw. Atlantis OD	0,4 -0,5 + 1,0 1,5	2,2 - 2,8 Iodosulfuron, 11,7 - 14,6 Mesosulfuron	2
Broadway + Broadway- Netzmittel	0,22 + 1,2	5 Florasulam, 15 Pyroxulam	2
Monsoon	1,0	22,5 Foramsulfuron	2
MaisTer power	1,5	45 Foramsulfuron, 1,3 Iodosulfuron, 14,7 Thienicarbazone	2
Oust	0,1	100 Sulfomethuron-methyl	2
Attribut	0,1	66,3 Propoxycarbazone	2

Tabelle 2 Einteilung der Resistenzklassen nach Moss (1999)

Table 2 Classification of herbicide resistance according to Moss (1999)

Klasse	Wirkungsgrad in %
s	86-100
1	76-85
2	57-75
3	38-56
4	19-37
5	0-18

Ergebnisse

Einschätzung der Resistenzsituation bei *A. myosuroides* gegenüber ausgewählten Wirkstoffen in den Bundesländern

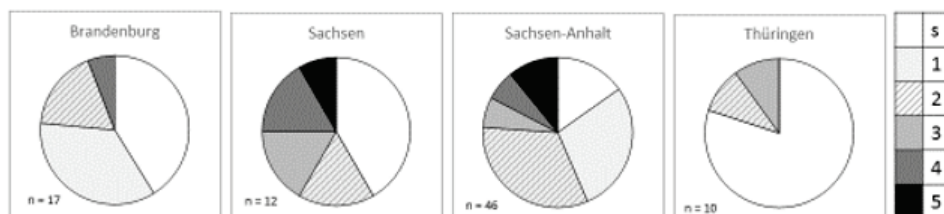


Abbildung 1 Einstufung der Resistenzen der untersuchten *A. myosuroides*-Biotypen gegenüber Pinoxaden in Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt (60 g/ha) und Thüringen (45 g/ha) nach Resistenzklassen (s bis 5).

Figure 1 Ranking of the resistance classes (s to 5) of *A. myosuroides* biotypes after a treatment with 60 g/ha pinoxaden in Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and 45 g/ha pinoxaden in Thuringia.

Die ermittelten Resistenzen gegenüber dem Wirkstoff Pinoxaden (Abb. 1) sind in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich ausgeprägt. Während der überwiegende Anteil der Biotypen in Brandenburg und Thüringen noch sensitiv bzw. mit leichten Minderwirkungen (Resistenzklassen s und 1) reagiert, werden in Sachsen-Anhalt und Sachsen ca. 60 % der untersuchten Biotypen als resistent (Resistenzklasse 2 – 5) eingestuft.

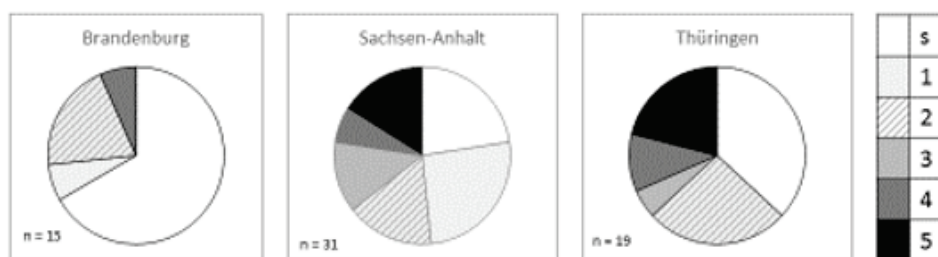


Abbildung 2 Einstufung der Resistenzen der untersuchten *A. myosuroides*-Biotypen gegenüber Clodinafop (53,5 g/ha) in Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen nach Resistenzklassen (s bis 5).

Figure 2 Ranking of the resistance classes (s to 5) of *A. myosuroides* biotypes after a treatment with 53.5 g/ha clodinafop in Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia.

Die Resistenzen gegenüber FOP-Wirkstoffen, wie Clodinafop, zeigt Abbildung 2. In Sachsen-Anhalt und Thüringen liegen für mehr als die Hälfte der untersuchten Biotypen bereits ausgeprägte Resistenzen vor. Für ein Fünftel in Thüringen bzw. ein Sechstel in Sachsen-Anhalt wurden Resistenzen in der höchsten Ausprägung (Resistenzklasse 5) eingestuft. In Brandenburg reagieren noch ca. zwei Drittel der Biotypen sensitiv auf den Wirkstoff Clodinafop.

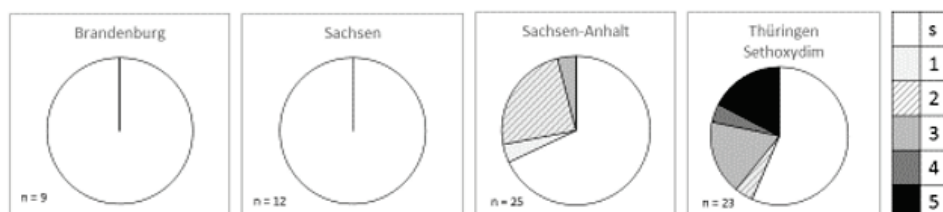


Abb. 3 Einstufung der Resistenzen der untersuchten *A. myosuroides*-Biotypen gegenüber Cycloxydim (250 g/ha) in Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Sethoxydim (149,7 g/ha) in Thüringen nach Resistenzklassen (s bis 5)

Fig. 3 Ranking of the resistance classes (s bis 5) of *A. myosuroides* biotypes after a treatment with 250 g/ha cycloxydim in Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and 149.7 g/ha sethoxydim in Thuringia

Die Wirkstoffgruppe der DIMs, am Beispiel von Cycloxydim, ist in Brandenburg und Sachsen in den Untersuchungen aus den Jahren 2018-2020 noch voll wirksam (Abb. 3). In Sachsen-Anhalt weisen ca. ein Viertel der untersuchten Biotypen eine Resistenz mit geringer Ausprägung auf. In Thüringen wurde der Wirkstoff Sethoxydim geprüft. Für 43 % der Biotypen wurde eine ausgeprägte Resistenz eingeschätzt. Gegenüber dem Wirkstoff Clethodim geprüfte *A. myosuroides*-Biotypen in Brandenburg und Sachsen-Anhalt reagierten zu 100 % sensitiv (Daten nicht dargestellt).



Abb. 4 Einstufung der Resistenzen der untersuchten *A. myosuroides*-Biotypen gegenüber Mesosulfuron (14,6 g/ha) und Iodosulfuron (2,8 g/ha) in Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und in Thüringen (11,2 g/ha Mesosulfuron, 2,0 g/ha Iodosulfuron) nach Resistenzklassen (s bis 5)

Fig. 4 Ranking of the resistance classes (s bis 5) of *A. myosuroides* biotypes after a treatment with 14.6 g/ha Mesosulfuron + 2.8 g/ha Iodosulfuron in Brandenburg, Saxony Saxony-Anhalt and 11.2 g/ha Mesosulfuron + 2.0 g/ha Iodosulfuron in Thuringia

Gegenüber den Wirkstoffen Mesosulfuron und Iodosulfuron konnten in Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen bei 65 % bis 82 % noch keine Resistenz ermittelt werden, in Sachsen lag der Wert bei 50 %. In Sachsen wurde bei ca. einem Drittel der Biotypen, in Thüringen bei etwa einem Viertel Resistenzen in starker Ausprägung (Resistenzklasse 4 – 5) eingeschätzt (Abb. 4). Demgegenüber zeigten sich die Biotypen gegenüber dem Wirkstoff Foramsulfuron in Sachsen und Brandenburg noch sensitiv, während in Sachsen-Anhalt bereits 15 % der Proben als resistent (Resistenzklassen 2 – 5) eingeschätzt wurden (Daten nicht dargestellt). Parallel dazu wurde in Thüringen der Wirkstoff Sulfomethuron-methyl in die Untersuchungen einbezogen. 34 % der Biotypen wiesen eine Resistenz auf, 17 % mit der höchsten Ausprägung (Resistenzklasse 5; Daten nicht dargestellt). Gegenüber Flufenacet wurden für die untersuchten Biotypen in den Ländern noch keine Auffälligkeiten deutlich. Lediglich für 2 % der Proben aus Sachsen-Anhalt konnte eine beginnende Resistenz (Resistenzklasse 2) bestätigt werden (Daten nicht dargestellt).

Resistenzsituation in den Bundesländern

Brandenburg

In Brandenburg dominiert bisher noch immer *A. spica-venti*. Vorwiegend werden Resistenzen gegenüber der HRAC-Gruppe 2 ermittelt. Von 64 untersuchten Biotypen in den Jahren 2011 bis 2014 wurden 22 % als resistent nachgewiesen. Minderwirkungen gegenüber der HRAC-Gruppe 5 traten einzeln oder in Verbindung mit ALS-Resistenzen auf. In den Jahren 2015 bis 2020 wurden von den insgesamt 73 untersuchten Biotypen ca. 42 % als ALS-resistent eingeschätzt. 16 % reagierten mit deutlichen Minderwirkungen gegenüber der HRAC-Gruppe 5 (Isoproturon, Chlortoluron). Erstmals im Jahr 2015, sowie in den Jahren 2019 und 2020 konnten einzelne Biotypen mit NTSR (non target site resistance) gegen ACCase-Hemmern ermittelt werden. Betroffen war insbesondere der Wirkstoff Pinoxaden, bei starker Ausprägung wurde auch eine Kreuzresistenz mit Propaquizafop und Quizalofop beobachtet.

A. myosuroides ist in Brandenburg bisher von regionaler Bedeutung. Die Anzahl der untersuchten Proben lag bisher, auch bedingt durch die geringe Verbreitung, auf niedrigem Niveau von < 10 Biotypen je Untersuchungsjahr. In den Jahren 2011 bis 2014 waren von insgesamt 31 Biotypen 55 % sensitiv gegenüber Wirkstoffen der HRAC-Gruppen 1 und 2. Bei jeweils 22 % konnten Resistenzen gegenüber mindestens einer

der beiden HRAC-Gruppen ermittelt werden. Davon wurden für zwei Biotypen multiple Resistenzen nachgewiesen. Im Zeitraum 2015 bis 2020 waren von 34 Verdachtsproben nur 24 % sensitiv gegenüber den Wirkstoffen der HRAC-Gruppen 1 und 2. 41 % wiesen Resistenzen gegen ALS-Hemmer und 44 % gegen ACCase-Hemmer auf. Bei 42 % dieser resistenten Biotypen waren beide Wirkstoffgruppen betroffen.

Im Rahmen des Kamille-Monitorings des JKI wurde im Jahr 2011 bei vier Biotypen *M. chamomilla* Resistenzen gegenüber Tribenuron mit der Mutation Pro/Ser197 am ALS-Gen ermittelt, die sich jedoch nicht als Bekämpfungsproblem in der Praxis äußerten.

Im Jahr 2012 wurde in Brandenburg erstmalig für einen Biotyp *E. crus-galli* eine Wirkortresistenz (Trp/Leu574) nachgewiesen (HEAP, 2021). Auf einem stark humosen Standort mit mehrjährigem Anbau von Mais in Selbstfolge kam es zur Selektion der mutierten Pflanzen durch den wiederholten Einsatz von Sulfonylharnstoffen.

Seit 2012 wurden für einzelne Biotypen von *A. retroflexus* die Mutationen Trp/Leu574 sowie Ser/Gly264 festgestellt. Durch diese Resistenzen gegenüber ALS-Inhibitoren, Triazinen und Triazinonen sind die Bekämpfungsmöglichkeiten in der Praxis stark eingeschränkt.

Sachsen

Auch in Sachsen hat *A. spica-venti* die größte Verbreitung. In den letzten 15 Jahren wurden Minderwirkungen, insbesondere nach der Anwendung im Frühjahr, registriert. In der Praxis erfolgen dennoch ca. 40 % der Herbizidbehandlungen in Wintergetreide im Frühjahr. Bei *A. spica-venti*-Proben wurden Resistenzen gegenüber ALS- und PSII-Hemmern (Chlortoluron, Isoproturon) sowie in Einzelfällen gegenüber ACCase-Hemmern (Pinoxaden) nachgewiesen. Erste Resistenzen wurden 2010 gegenüber Flupyrsulfuron und Iodosulfuron + Mesosulfuron im Landkreis Bautzen festgestellt. 2011 zeigten 56 % von 9 Proben Resistenz gegenüber o.g. Wirkstoffen einschließlich Pyroxsulam. Meist lagen die Wirkungsgrade bei 20-60 %. Im Jahr 2012 wurde erstmalig eine beginnende Resistenz gegenüber Pinoxaden nachgewiesen. In Ostsachsen kam es zum Nachweis multipler Resistenzen gegenüber Iodosulfuron + Mesosulfuron, Pyroxsulam und Propaquizafop. Es wurden Mutationen an der Position Pro 197 festgestellt.

A. myosuroides nimmt örtlich, insbesondere in Westsachsen, sowohl in der Verbreitung als auch in der Befallsstärke zu. Die ersten Resistenzen wurden gegenüber Flupyrsulfuron 2012 und 2013 im Landkreis Leipzig festgestellt. 2017 wurde bei einer Herkunft aus dem Landkreis Sächsische Schweiz erstmalig eine multiple Resistenz gegenüber Pinoxaden und Propoxycarbazone nachgewiesen. Ab 2017 traten Mutationen gegenüber ALS-Hemmern an der Position Pro 197 und gegenüber ACCase-Hemmern an den Positionen Trp-2027, Ile-1781, Ile-2041 auf.

Durch den hohen Vermehrungsanteil und den Anbau von *Lolium* spp. als Ackerfutter ergeben sich Probleme mit dessen Durchwuchs. Auf Praxisschlägen sind hohe Dichten mit > 300 Ähren pro m² keine Seltenheit. Vorwiegend in den Landkreisen Zwickau und Mittelsachsen kam es bei *L. multiflorum* zu teilweise erheblichen Minderwirkungen (0-40 %) der Herbizide aus den HRAC-Gruppen 1 und 2 sowie multiplen Resistenzen. Nur das Maisherbizid MaisTer power (u.a. Foramsulfuron) zeigte eine volle Wirkung. Molekulargenetische Analysen bestätigten eine Wirkortresistenz gegenüber ACCase-Hemmern. In Einzelfällen zeigte sich eine Resistenz gegen Flufenacet.

Bei Monitoringuntersuchungen des JKI wurden im Jahr 2011 bei einem Biotyp *S. media* eine Resistenz gegenüber Florasulam (Trp574) sowie in 2014 bei einem Biotyp *M. chamomilla* gegenüber Tribenuron (Pro197) festgestellt.

Sachsen-Anhalt

Tendenziell wird in den letzten Jahren eine Zunahme des Ungrasbesatzes, insbesondere von *A. myosuroides*, aber auch *A. spica-venti* und *Bromus* spp. auf vielen Ackerflächen beobachtet. Bei

Resistenzuntersuchungen von Verdachtsproben (z.B. im Zeitraum 2018 – 2020 45 *A. myosuroides*, 18 *A. spica-venti*) zeigte sich in den letzten Jahren auch ein Anstieg von Resistenzfällen. Während bei *A. spica-venti* meist Resistenzen gegenüber Herbiziden der HRAC-Gruppe 2, weniger der HRAC-Gruppen 1 und 5 ermittelt werden konnten, wurden bei *A. myosuroides* verstärkt Resistenzen gegenüber der HRAC-Gruppe 1, aber auch der HRAC-Gruppen 2 und 5 nachgewiesen. Außerdem konnte eine zunehmende Minderwirkung bei Flufenacet beobachtet werden. Bei Biotypen beider Ungrasarten, besonders aber beim *A. myosuroides*, wurde zudem auch ein hoher Anteil multipler Resistenzen festgestellt.

Im Rahmen des, durch das JKI jährlich durchgeführten, Monitorings zur Herbizidresistenz wurden 2017 und 2019 bei je einer Verdachtsprobe von *Bromus sterilis* eine metabolische ALS-Resistenz und im Jahr 2018 bei einer Probe *A. retroflexus* eine ALS Target-Site Resistenz an der Position Trp574 nachgewiesen.

Thüringen

A. spica-venti galt in Thüringen bis ca. 2010 als Hauptproblemungras. Dieses war in ganz Thüringen gleichmäßig verteilt und zeigte zunehmende Resistenzen gegenüber der HRAC-Gruppe 2.

In der Vergangenheit trat *A. myosuroides* vereinzelt in Westthüringen auf, führte dort aber zu keinen größeren Bekämpfungsproblemen. Dieses Bild hat sich mittlerweile grundlegend geändert. Innerhalb der letzten 10 Jahre konnte sich *A. myosuroides* in fast ganz Thüringen ausbreiten und stellt die Landwirte mittlerweile vor sehr große Probleme. Gründe sind hier vor allem die praktizierten engen Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil von Winterungen. Im Jahr 2019 wurden auf ca. 63 % (Vergleich 1991: 44 %) der landwirtschaftlich genutzten Fläche Getreide angebaut. Davon betrug der Anteil an Wintergetreide ca. 89 % (Vergleich 1991: 67 %). Große Betriebsstrukturen zwingen die Betriebe weiterhin, frühe Aussaattermine bei Winterweizen anzustreben. Weitere Faktoren stellen die pfluglose Bodenbearbeitung (ca. 70 % der Ackerfläche Thüringens) sowie der immer noch zum Teil routinemäßige Herbizideinsatz mit der gleichen Wirkstoffgruppe dar. Zunehmend treten Resistenzen gegenüber den HRAC-Gruppen 1 oder 2 auf, immer häufiger auch multiple Resistenzen, bei denen beide Wirkstoffgruppen unwirksam sind. Von 23 Verdachtsproben aus den Jahren 2017 bis 2019 zeigten 70 % eine Resistenz gegenüber der HRAC-Gruppe 1 sowie 57 % eine Resistenz gegenüber der HRAC-Gruppe 2. Des Weiteren traten bei 57 % eine Mehrfachresistenz gegenüber den HRAC-Gruppen 1 und 2 auf. Somit ist eine Frühjahrsbehandlung in vielen Fällen kaum noch möglich. *A. spica-venti* spielt heute bei den meisten Betrieben nur eine untergeordnete Rolle. Da mittlerweile die meisten von *A. myosuroides* betroffenen Betriebe bereits im Herbst Bodenherbizide einsetzen, wird *A. spica-venti* hierbei mit bekämpft.

Bei einem durch das JKI durchgeführten Monitoring zur Herbizidresistenz bei Kamille-Arten 2011 konnte von zehn Proben bei vier eine Mutation (Pro-197-Ser) auf dem ALS-Gen der Pflanzen ermittelt werden. Bekämpfungsprobleme im Feld wurden hingegen bisher nicht festgestellt. Bei *Papaver rhoeas* wurde eine ALS-Resistenz gegenüber Iodosulfuron, Florasulam und Tribenuron nachgewiesen.

Diskussion

Die Herbizidresistenz hat sich im Beratungsgebiet kontinuierlich entwickelt. Die Zunahme von Kreuzresistenzen und multiplen Resistenzen ist feststellbar. Im Rahmen des Antiresistenzmanagements wird empfohlen, die Herbizidanwendungen zur Gräserbekämpfung, außer in spät gesättem Weizen, vorwiegend im Herbst durchzuführen. Die Herbizide aus den Gruppen der ACCase- und ALS-Hemmer sollten höchstens einmal in der Fruchtfolge und nicht alleine eingesetzt werden. Die Anwendung der Wirkstoffe mit anderen Wirkmechanismen (HRAC 3, 15) muss so weit wie möglich ausgeschöpft werden. Eine Ungrasbekämpfung sollte über die gesamte Fruchtfolge erfolgen. Im Beratungsgebiet der o.g. Bundesländer bilden ackerbauliche Maßnahmen wie Fruchtfolgen, Saattermine, Bodenbearbeitung und ein überlegter Herbizideinsatz ein komplementäres System (MEINLSCHMIDT et al., 2016). Aufgrund von ökonomischen

Zwängen werden in der Praxis leider einige Bausteine des Resistenzmanagements, wie z.B. die Erweiterung der Fruchtfolge, nur schwer umgesetzt. Über amtliche Pflanzenschutzinformationen werden diese Antiresistenz-Strategien verstärkt der landwirtschaftlichen Praxis vorgestellt (GEHRING et al., 2012; MEINLSCHMIDT und TÜMMLER, 2015; WOLBER et al., 2020). Als ackerbauliche Maßnahme hilft die Spätsaat, Wirkungsgrade zu erhöhen bzw. den Ungrasdruck von vorne herein zu reduzieren (HENNE et al., 2018). Je später die Aussaat des Wintergetreides erfolgt, desto schlechter sind die Entwicklungsbedingungen für *A. myosuroides*. Aus diesem Grund sollte auf stark mit *A. myosuroides* belasteten Flächen möglichst eine Spätsaat mit vorheriger Anlage eines falschen Saatbettes durchgeführt werden (EWERT und ASCHENBACH, 2020).

Zur Erarbeitung und Umsetzung aktueller Antiresistenz-Strategien führen die Pflanzenschutzdienste der Länder Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen auch weiterhin Resistenzuntersuchungen durch. Da sich die Möglichkeiten des Herbizideinsatzes zur Ungrasbekämpfung immer weiter einschränken, müssen in zukünftigen Empfehlungen nichtchemische Verfahren stärker einbezogen werden.

Literatur

- DICKE, D., E. MEINLSCHMIDT, 2020: Zur Frage der Bekämpfung von *Lolium* ssp. auf Resistenzstandorten – Untersuchungen der Bundesländer Hessen und Sachsen. Julius-Kühn-Archiv **464**, 344-353.
- EPPO-RICHTLINIE PP1/93(3): Weeds in cereals. European and Mediterranean Plant Protection Organisation.
- EWERT, K., K. ASCHENBACH, 2020: Im Saatbett auferstanden. Bauernzeitung **41**, 22-24.
- HEAP, I.M., 2021: International Survey of Herbicide Resistant Weeds. www.weedscience.org. Last access October 29, 2021.
- HENNE, U., M. LANDSCHREIBER, C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2018: Entwicklung nachhaltig wirkender Methoden zur Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.). Julius-Kühn-Archiv **458**, 121-131.
- 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., S. THYSEN, T. FESTNER, 2018: Stand und Entwicklung der Herbizidresistenz bei Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **458**, 113-120.
- MEINLSCHMIDT, E., C. TÜMMLER, 2015: Das Prinzip der Vorbeugung. DLG Mitteilungen **9**, 50-53.
- MEINLSCHMIDT, E., C. TÜMMLER, K. EWERT, H. SCHMALSTIEG, E. BERGMANN, 2016: Verbreitung und effektive Kontrolle von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) im Hinblick auf die Resistenzentwicklung – Auswertung der Ringversuche der Bundesländer Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen von 2000 bis 2014. Julius-Kühn-Archiv **452**, 89-101.
- MOSS, S., 1999: The Rothamsted Rapid Resistance Test for detecting herbicide-resistance in black-grass, wild-oats & Italian ryegrass.
- 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.
- WOLBER, D., G. WARNECKE-BUSCH, L. KÖHLER, 2020: Resistenzsituation von *Alopecurus myosuroides* in Niedersachsen. Julius-Kühn-Archiv **464**, 378-386.

Sektion 5: Resistenzanalyse

Session 5: Resistance analysis

Resistance patterns of a bur chervil (*Anthriscus caucalis* M. Bieb.) population with a point mutation within the acetolactate synthase gene in comparison with sensitive bur chervil and further weedy Apiaceae species

Resistenzmuster einer Hundskerbel- (Anthriscus caucalis M. Bieb.) Population mit Punktmutation innerhalb des Acetolactat-Synthase-Gens im Vergleich mit sensitivem Hundskerbel und weiteren Schaddoldenblütlern

Rebecka Dücker^{1*}, Manja Landschreiber², Muhammad Khan¹; Ernesto Adrian Veron Zarate¹, Cornelius Ebert¹, Johannes Herrmann², Martin Heß², Jean Wagner¹

¹Georg-August Universität Göttingen, Abteilung für Pflanzenpathologie und -schutz, Göttingen, Germany

²Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Lübeck, Germany

³Agris42 GmbH, Stuttgart, Germany

*rduেকে@gwdg.de

DOI: 10.5073/20220124-062051

Abstract

Weeds of the umbelliferous family (Apiaceae) are gaining importance in several crops and regions and are often difficult to control chemically. For example, the occurrence of bur chervil (*Anthriscus caucalis* M. Bieb.) is not only increasing as a ruderal plant, but is also establishing as an arable weed in winter crops. There, it is often not sufficiently controlled by standard measures and beyond that frequently confused with other weedy umbellifers. In addition, the first *A. caucalis* populations with resistance to inhibitors of the acetolactate synthase (ALS) have been described. For this reason, we sequenced the ALS gene of a sensitive and a resistant *A. caucalis* population and found a mutation at position Pro197. This population was compared with a sensitive one, as well as other umbellifers such as hedge parsley (*Torilis arvensis* (Huds.) Link), wild carrot (*Daucus carota* L.) and hemlock (*Conium maculatum* L.) in a greenhouse trial with 14 herbicides. There were clear differences between the treatments of sensitive and resistant *A. caucalis* and the other umbellifers. The sensitive *A. caucalis* population was effectively controlled by the ALS inhibitors thifensulfuron, tribenuron and metsulfuron, but not by florasulam. Of these herbicides, only metsulfuron had a partial efficacy on the resistant population with 71.8% freshwater reduction. Notably, the efficacy profiles of ALS inhibitors differed significantly between species, while several synthetic auxins and chlortoluron effectively controlled most populations tested. Finally, the correct identification of the umbellifer species, as well as the resistance status, is necessary to carry out targeted chemical control.

Keywords: Acetolactate synthase, Apiaceae, bur chervil, herbicide resistance

Zusammenfassung

Unkräuter der Familie der Doldenblütler (Apiaceae) gewinnen in einigen Kulturen und Regionen immer mehr an Bedeutung und sind chemisch z.T. nur schwer zu bekämpfen. Beispielsweise nimmt der Hundskerbel (*Anthriscus caucalis* M. Bieb.) nicht nur als Ruderalpflanze zu, sondern etabliert sich auch als Ackerunkraut in Winterungen. Er wird dort durch Standardmaßnahmen häufig nicht ausreichend erfasst und darüber hinaus gelegentlich mit anderen Doldenblütlern verwechselt. Zudem wurden erste Hundskerbelpopulationen mit Resistenz gegen Hemmer der Acetolactatsynthase (ALS) beschrieben. Aus diesem Grund haben wir das ALS-Gen einer sensitiven und einer resistenten Hundskerbelpopulation

sequenziert und eine Mutation an der Position Pro197 festgestellt. Diese Population wurde im Vergleich mit einer sensitiven sowie mit Klettenkerbel (*Torilis arvensis* (Huds.) Link), wilder Möhre (*Daucus carota* L.) und geflecktem Schierling (*Conium maculatum* L.) untersucht. Dabei zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Behandlungen von sensitivem und resistentem Hundskerbel und den anderen Doldenblütlern. Die sensitive Hundskerbelpopulation wurde effektiv durch die ALS-Hemmer Thifensulfuron, Tribenuron und Metsulfuron bekämpft, jedoch nicht durch Florasulam. Von diesen Herbiziden hatte lediglich Metsulfuron mit 71,8 % Frischmassereduktion eine Teilwirksamkeit auf die resistente Population. Vor allem die Wirksamkeitsprofile der ALS-Hemmer unterschieden sich maßgeblich zwischen den Arten, während mehrere synthetische Auxine und Chlortoluron die meisten getesteten Populationen effektiv kontrollierten. Schlussendlich ist die korrekte Identifikation der Doldenblütlerarten sowie des Resistenzstatus notwendig, um eine gezielte chemische Kontrolle durchführen zu können.

Stichwörter: Acetolactatsynthase, Apiaceae, Herbizidresistenz, Hundskerbel

Introduction

Bur chervil (*Anthriscus caucalis* M. Bieb.) is a native winterannual weed species which has been increasing for about one decade on ruderal and arable land with high proportions of winter crops such as wheat or oilseed rape (METZING et al., 2018). This Apiaceae species survives (mild) winters and its bur-covered fruits allow effective zoochorous dispersal. The fruits ripen from June to July (BRANDES, 2007) and thus typically start enriching the seedbank already before harvest. The weed is often not controlled with standard weed management strategies, which is particularly problematic as it is frequently not recognised when it first appears in the field. However, correct identification of umbelliferous weeds facilitates the choice of effective weed control measurements e.g., herbicides. Despite morphological similarities, their seedlings differ in their cotyledon and leaf shapes, venation and trichome density. Additionally, the different species comprise various seed shapes, and also the distribution of weedy umbellifers across Germany varies considerably from species to species (Fig. 1).

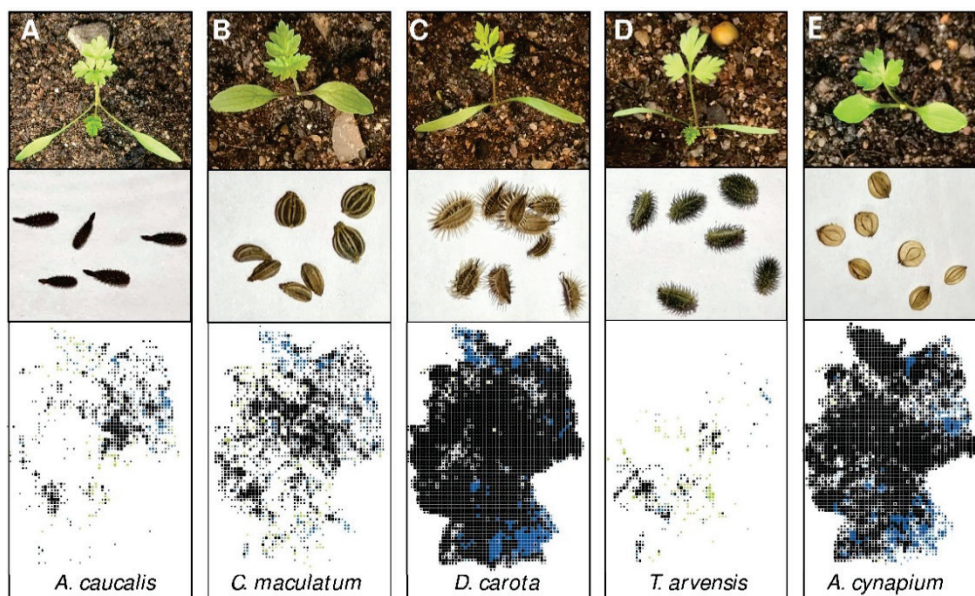


Figure 1 Seedlings (top), fruits (middle) and distribution across Germany (bottom) of *Anthriscus caucalis* (A), *Conium maculatum* (B), *Daucus carota* (C), *Torilis arvensis* (D) and *Aethusa cynapium* (E). Distribution before 1950 (■, ▲), between 1950 and 1980 (▣, ▤), and after 1980 (■, ▲) is indicated by squares for native occurrence and by triangle in case of unsteady occurrence (modified with kind permission of BfN, 2021). The symbol size reflects the number of quadrants in which individuals were found.

Abbildung 1 Keimlinge (oben), Früchte (mittig) und deutschlandweite Verbreitung (unten) von *Anthriscus caucalis* (A), *Conium maculatum* (B), *Daucus carota* (C), *Torilis arvensis* (D) und *Aethusa cynapium* (E). Verbreitung vor 1950 (■, ▲),

zwischen 1950 and 1980 (■, ▲), und nach 1980 (■, ▲) wird bei einheimischem Vorkommen durch Quadrate und im Fall von unbeständigem Vorkommen durch Dreiecke angezeigt (modifiziert mit freundlicher Genehmigung des BfN, 2021). Die Größe der Symbole gibt die Anzahl der Quadranten an, in denen Individuen gefunden wurden.

However, in addition to general gaps in effectiveness, in some cases, resistance to inhibitors of the acetolactate synthase (ALS) also complicates control of *A. caucalis*. Therefore, in the present study, the Pro197 position within the ALS gene of a resistant *A. caucalis* population has been investigated. Then, the efficacy of 14 herbicides with different modes of action was examined on the resistant and sensitive *A. caucalis* populations in the greenhouse. In addition, the efficacy of these herbicides was compared with other umbellifers relevant as weeds.

Material and methods

The seed material of an ALS-sensitive (ANRCA S) and an ALS-resistant (ANRCA R) *A. caucalis* population was collected in different fields in Germany in 2017. The DNA of the *A. caucalis* populations was extracted using the CTAB method as described by BRANDFASS and KARLOVSKY (2008) and subsequently sequenced by Sanger sequencing. A pairwise sequence alignment was conducted using the Emboss Needle method (MADEIRA et al., 2019). In 2020 and 2021, seeds of *Aethusa cynapium* L. (fool's parsley), *Conium maculatum* L. (hemlock), *Daucus carota* L. (wild carrot) and *Torilis arvensis* (Huds.) Link (hedge parsley) were collected in different fields across Germany. The seeds were sown in seed trays containing a 3:3:1 mixture of compost, potting soil (Hawita, Vechta, Germany) and sand with 0.5 g NPK (Mg) 16-9-12 (2) pelleted fertilizer L⁻¹ and kept at 5°C for five to eight days, depending on the expected speed of germination. Each four seedlings per 9 cm pot containing the same soil mixture were transplanted under greenhouse conditions at the cotyledon stage, except for *A. cynapium* which did not germinate due to dormancy. For each experiment, three pots per population were prepared.

In a first approach, each population was treated at BBCH 11 with dose rates of different herbicides at dose rates relevant for arable crops (see Tab. 1). For the application (three bar), a laboratory sprayer with an ES 90-04 nozzle (Lechler, Metzingen, Germany) was used. The fresh weight of the treated plants and twelve untreated plants per population was assessed four weeks after application. The experiment was repeated with additional dose rates of clomazone, isoxaben and metazachlor (see Tab. 1). Data of both experiments were pooled. Subsequently, the data were visualized with the 'ggplot' package in R (version 4.0.0, (R CORE TEAM, 2021)).

In a second approach, the *A. caucalis* populations ANRCA S and ANRCA R were pregerminated and transplanted as described. Subsequently, the plants were treated with the ALS-inhibitors metsulfuron, tribenuron, thifensulfuron and florasulam with the dose rates displayed in Table 1 and four additional dilutions of a 1:4 dilution series. The experiment was repeated. The plants were harvested as described above and the data were log-transformed prior to analysis with the three-parameter log-logistic model (see Form. 1) and the 'confint()' function of the 'drc' package in R (version 4.0.0, RITZ et al., 2015; R CORE TEAM, 2021). Resistance factors were calculated based on the quotient of effective dose rates leading to 50% fresh weight reduction.

Formula 1 Log-logistic function for dose-response analysis with 0 as lower asymptote.

Formel 1 Log-logistische Funktion für Dosis-Wirkungsanalysen mit 0 als untere Asymptote.

$$f(x) = 0 + \frac{d - 0}{1 + \exp(b(\lg(x) -))}$$

Table 1 Herbicides with corresponding active ingredients, mode of action and applied rate**Tabelle 1** Herbizide mit entsprechenden Wirkstoffen, Wirkungsmechanismus und Anwendungsrate

Herbicide	Active ingredient (a.i.)	Mode of action (HRAC class)	g a.i. ha ⁻¹
Gropper	Metsulfuron	ALS (2)	5.8
Pointer	Tribenuron	ALS (2)	28.9
Harmony	Thifensulfuron	ALS (2)	7.2
Primus	Florasulam	ALS (2)	6.3
Kerb FLO	Propyzamide	Microtubule assembly (3)	750.0
GF2573	Halauxifen	Auxin mimics (4)	75.0
Starane	Fluroxypyr	Auxin mimics (4)	180.0
Lontrel 600	Clopyralid	Auxin mimics (4)	120.0
CTU 700	Chlorotoluron	PS II (5)	2100.0
Fuego Top	Metazachlor+quinmerac	Auxin mimics (4)+VLCFA (15)	1000.0
Butisan	Metazachlor	VLCFA (15)	750.0
Cadou	Flufenacet	VLCFA (15)	254.0
Clomazone	Clomazone	DOXP (13)	118.8
Flexidor	Isoxaben	Cellulose synthesis (29)	500.0

Results and discussion

Bur chervil (*A. caucalis*) is an increasingly common weed in arable and ruderal habitats (BRANDES, 2007; METZING et al., 2018), which is adapted to oceanic climate, moderate temperature, pH, moisture, nitrogen levels and light and/or dry soil (BRANDES, 2007; ELLENBERG, 1991). As *A. caucalis* has been described to survive mild winters especially well (BRANDES, 2007; ELLENBERG, 1991), the change in climate over the past decades may be one possible reason for its more frequent occurrence in arable and ruderal areas. However, altered genetics are another possible reason. In arable fields, the loss of active ingredients such as chlortoluron, as well as reduced tillage could play a role in the spread of the species. Where *A. caucalis* occurs in arable fields, it is difficult to control with herbicides and especially prevalent in winter crops. In addition, ALS resistance has been identified in some populations in the past (ULBER and ZHANG, 2021). However, to date, no scientific literature is available on the mutation and potential cross-resistances. Therefore, in the present study, the sequence of the ALS gene in a sensitive and a resistant *A. caucalis* population was investigated. Additionally, the efficacy of different ALS-inhibitors and herbicides of several other modes of action in the control of the two populations were investigated in comparison with other umbellifers such as *C. maculatum*, *D. carota* and *T. arvensis*. Indeed, a substitution of proline to serine at position 197 of the ALS gene was confirmed and linked to the initially observed reduced effect of ALS inhibitors (Fig. 2).

ANRCAR	V	A	I	T	G	Q	V	P	R	R	M	I	G	T
	g t c	g c g	a t t	a c t	g g g	c a a	g t t	c c t	a g g	a g g	a t g	a t t	g g a	a c t
ANRCA S	V	A	I	T	G	Q	V	S	R	R	M	I	G	T
	g t c	g c g	a t t	a c t	g g g	c a a	g t t	t c t	a g g	a g g	a t g	a t t	g g a	a c t

Figure 2 Amino acid (upper case, colored by physico-chemical characteristics) and nucleotide (lower case) sequence of the ALS gene of resistant (ANRCA R) and sensitive (ANRCA S) *Anthriscus caucalis* around the position Pro197 (dark shading of the nucleotide sequence).

Abbildung 2 Aminosäure- (Großbuchstaben, nach physikalisch-chemikalischen Eigenschaften gefärbt) und Nukleotidsequenz (Kleinbuchstaben) des ALS-Gens von resistentem (ANRCA R) und sensitivem (ANRCA S) *Anthriscus caucalis* um die Position Pro197 (dunkle Schattierung der Nukleotidsequenz).

This allele variation was first described in 1995 (GUTTIERI et al.) in a biotype of *Kochia scoparia* and responsible for resistance to various ALS inhibitors. *In vitro* activity assays and modeling of the inhibition of ALS by herbicides show that the replacement of the amino acid proline at position 197 by serine has a significant influence on the binding of various ALS inhibitors (LIU et al., 2019). In the herbicide trials conducted, the ALS inhibitors metsulfuron, tribenuron, thifensulfuron and florasulam showed a clearly reduced effect in the control of the *A. caucalis* population with the mutation. Yet, because of high variance differences between both populations were not significant in the dose-response assays despite the resistance factors of 2, 6, 7 and 28 for florasulam, tribenuron, metsulfuron and thifensulfuron, respectively (Fig. 4). However, metsulfuron achieved at least a partial effect with a fresh weight reduction to $28.2 \pm 4.3\%$ of the untreated control (Fig. 3 A). Under greenhouse conditions the sensitive population was well controlled with metsulfuron, tribenuron and thifensulfuron, but not with florasulam. The recommendations of the official extension services (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW, 2021; LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2021), however, attribute good efficacy to metsulfuron in particular (especially in combined products). Both biotypes of *A. caucalis* were similarly controlled with herbicides of alternative modes of action, indicating no other mechanism of resistance is present in the resistant biotype. The control with isoxaben (cellulose inhibition), flufenacet (inhibition of VLCFA biosynthesis), clomazone (DOXP inhibition) and propyzamide (inhibition of microtubule assembly) was insufficient (<90% efficacy) for both *A. caucalis* populations. However, the efficacy of propyzamide may have been further diminished by application under warm greenhouse conditions, as it generally benefits from temperatures >10°C (AUGUSTIN and HÜRSGEN, 2008). Good control of all populations of the different species tested was achieved with the photosystem II-specific inhibitor chlortoluron (not applicable on drained fields) and the auxin mimics such as fluroxypyr, which is in accordance with the efficacy rates of fluroxypyr described by NICKE and GLATTKOWSKI (2018).

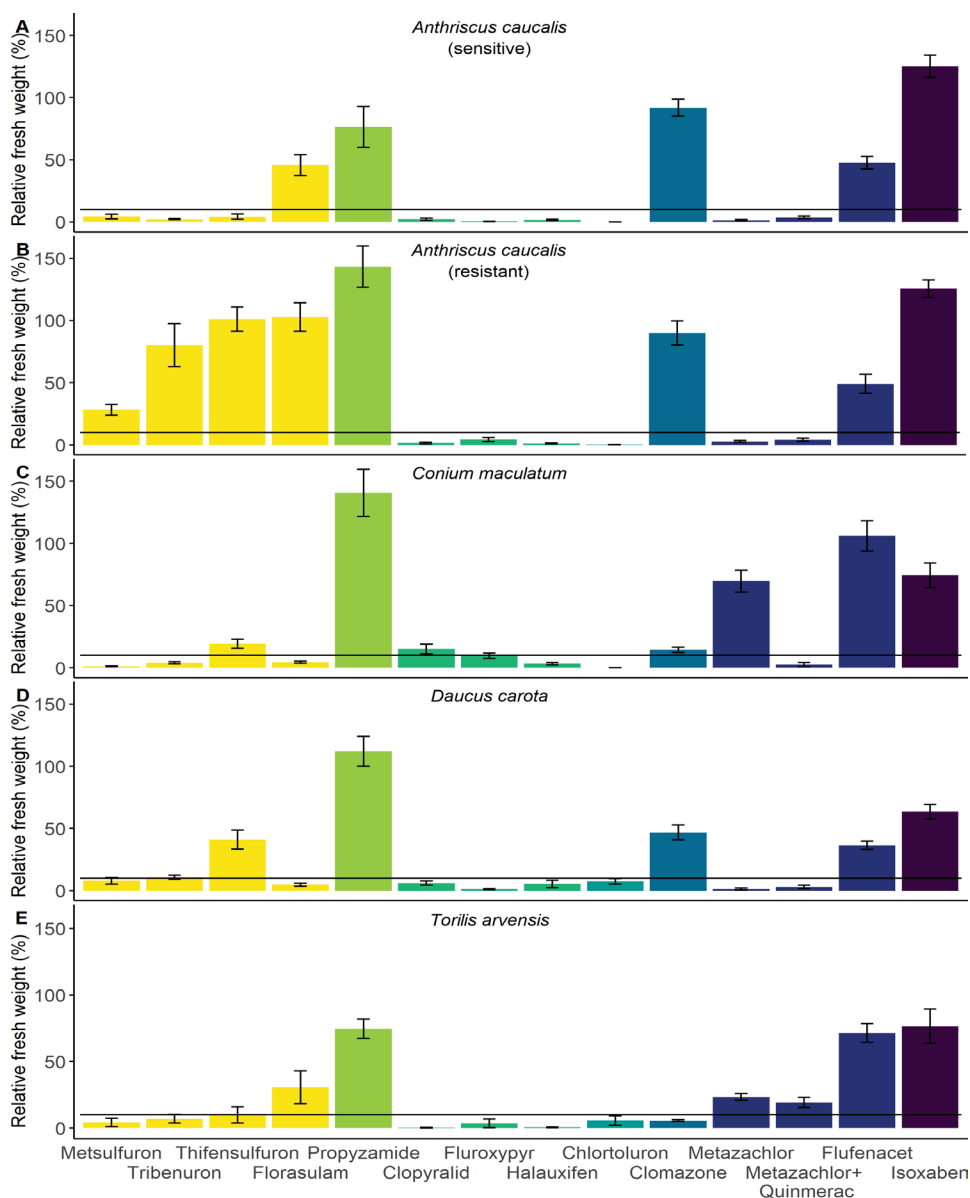


Figure 3 Relative fresh weight of sensitive (A) and resistant (B) *Anthriscus caucalis*, *Conium maculatum* (C), *Daucus carota* (D) and *Torilis arvensis* (E) four weeks after application with the herbicides of the HRAC groups 2 (■), 3 (■), 4 (■), 5 (■), 13 (■), 15 and 15+4 (■) and 29 (■), n=24. Standard errors are indicated by error bars. Horizontal black lines indicate 90% fresh weight reduction.

Abbildung 3 Relatives Frischgewicht von sensitivem (A) und resistentem (B) *Anthriscus caucalis*, *Conium maculatum* (C), *Daucus carota* (D) und *Torilis arvensis* (E) vier Wochen nach der Behandlung mit Herbiziden der HRAC Gruppen 2 (■), 3 (■), 4 (■), 5 (■), 13 (■), 15 und 15+4 (■) und 29 (■), n=24. Fehlerbalken zeigen Standardfehler. Schwarze, horizontale Linien zeigen 90 % Frischmassereduktion.

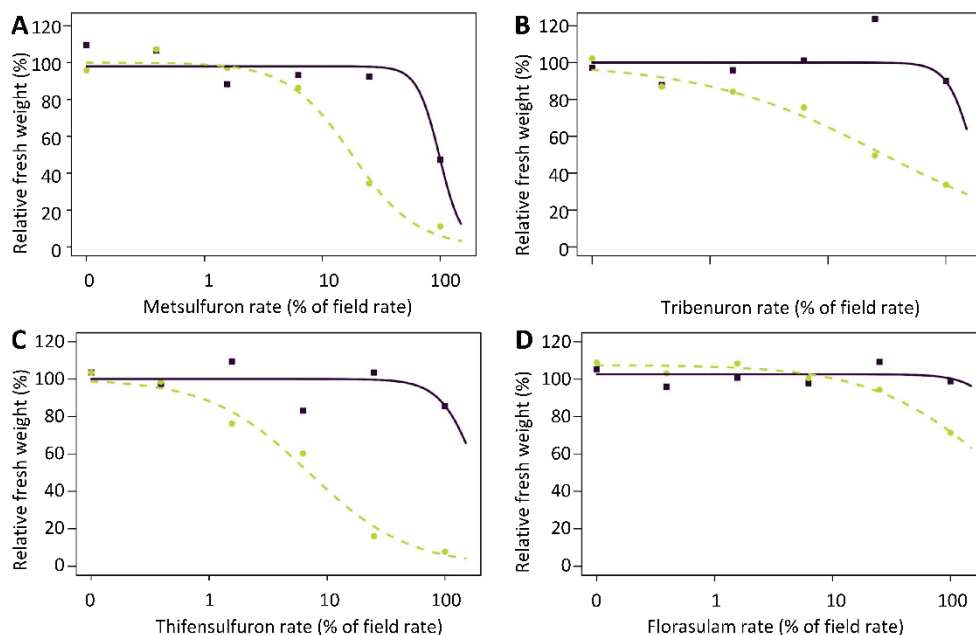


Figure 4 Response of sensitive (●, ANRCA S) and resistant (■, ANRCA R) *Anthriscus caucalis* to different dose rates of Metsulfuron (A), Tribenuron (B), Thifensulfuron (C) and Florasulam (D).

Abbildung 4 Reaktion von sensitivem (●, ANRCA S) und resistentem (■, ANRCA S) *Anthriscus caucalis* auf verschiedene Dosierungen von Metsulfuron (A), Tribenuron (B), Thifensulfuron (C) und Florasulam (D).

However, as synthetic auxins often have higher efficacies at warm temperatures (GROSSMAN, 1998; REED and McCULLOUGH, 2012), those herbicides may perform less good under field conditions. In contrast to *A. caucalis*, *C. maculatum* was less good controlled with the synthetic auxin clopyralid, metazachlor (inhibition of VLCFAs) and thifensulfuron (inhibition of ALS), while the ALS inhibitor florasulam led to sufficient control with 95.5% efficacy on average. Additionally, clomazone had a partial effect on this species. *D. carota* showed a similar pattern like *C. maculatum*, however, it was better controlled with metazachlor and less good with chlortoluron. *T. arvensis* showed a similar pattern like the sensitive *A. caucalis* population, however, it was better controlled with clomazone and less good with metazachlor. Particularly as good or very good control rates are rarely observed under practical conditions, the correct identification and effective combination and timing of chemical measures is crucial for effective control of weedy Apiaceae species. However, as chemical approaches alone increase the pressure for selection of resistant populations, cultural control measures such as increased proportions of spring crops in the crop rotation could be a particularly effective tool for the control of winter annuals such as *A. caucalis*.

References

- AUGUSTIN, B., K. HÜSGEN, 2018: Effektivität von Propyzamid als Maßnahme zur Minderung des Selektionsdruckes auf ACCase-Hemmer bei Ackerfuchsschwanz im Winterraps. *Julius-Kühn-Archiv* **458** (1), 76-81.
- BfN - BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2021: FloraWeb. Access: 22. November 2021 URL: <https://www.floraweb.de/>
- BRANDES, D., 2007: *Anthriscus caucalis* M. Bieb. *Hercynia-Ökologie und Umwelt in Mitteleuropa* **40** (2), 139-151.
- BRANDFASS, C., P. KARLOVSKY, 2008: Upscaled CTAB-based DNA extraction and real-time PCR assays for *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* DNA in plant material with reduced sampling error. *International journal of molecular sciences* **9** (11), 2306–2321.
- ELLENBERG, H. 1991: Zeigerwerte von pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica XVIII* **18** (3) 1-248.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- GROSSMANN, K., 1998: Quinclorac belongs to a new class of highly selective auxin herbicides. *Weed Science* **46** (6), 707–716.
- GUTTIERI, M.J., C.V. EBERLEIN, D.C. THILL, 1995: Diverse mutations in the acetolactate synthase gene confer chlorsulfuron resistance in kochia (*Kochia scoparia*) biotypes. *Weed Science*, **43** (2), 175-178
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW, 2021: Aktuelle Maßnahmen im Getreide - Weizen - Triticale - Hundskerbel. In: Wochenblatt für Landwirtschaft und Landleben. Access: 12. November 2021 URL: <https://www.wochenblatt.com/landwirtschaft/pflanzenbau-aktuell/aktuelle-massnahmen-im-getreide-weizen-triticale-hundskerbel-11535990.html>
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2021: Ratgeber Frühjahr 2021 und Herbst 2021- Pflanzenschutz im Ackerbau. Access: 12. November 2021 URL: <https://www.lksh.de/beratung/pflanzenschutzberatung/pflanzenschutz-ratgeber/>
- LIU, J., J. FANG, Z. HE, J. LI, L. DONG, 2019: Target site–based resistance to penoxsulam in late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*) from China. *Weed Science* **67** (4), 380-388.
- MADEIRA, F., Y.M. PARK, J. LEE, N. BUSO, T. GUR, N. MADHUSOODANAN, P. BASUTKAR, A. TIVEY, S.C. POTTER, R.D. FINN, R. LOPEZ, 2019: The EMBL-EBI search and sequence analysis tools APIs in 2019. *Nucleic acids research* **47** (W1), W636-W641.
- METZING, D., E. GARVE, G. MATZKE-HAJEK, 2018: Rote Liste und Gesamtartenliste der Farn-und Blütenpflanzen (Tracheophyta) Deutschlands. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* **70** (7), 13-358.
- NICKE, L., H. GLATTKOWSKI, 2018: Croupier-a broad spectrum cleaver effective herbicide as an innovative liquid formulation for the use in cereals. *Julius-Kühn-Archiv* **458** (1), 311-315.
- R CORE TEAM, 2021: R: A language and environment for statistical computing (R Version 4.0. 3, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).
- REED, T.V., P.E. McCULLOUGH, 2012: Application timing of aminocyclopyrachlor, fluroxypyr, and triclopyr influences swinecress control in tall fescue. *HortScience* **47** (10), 1548-1549
- RITZ, C., F. BATY, J.C. STREIBIG, D. GERHARD, 2015: Dose-response analysis using R. *PloS one* **10** (12), e0146021.
- ULBER, L., H. ZHANG, 2021: Das Bewusstsein allein verändert nichts. Access: 22. November 2021 <https://airfarm.io/articles/603cbe78ff52000013ad6ec7>

Untersuchungen zur Selektion metabolischer Resistenz bei *Alopecurus myosuroides* Huds. durch Pinoxaden und Pyroxsulam in Dosis-Wirkungsversuchen im Gewächshaus – Analyse der F1-Generation

Studies on the Selection of Metabolic Resistance in Alopecurus myosuroides Huds. to Pinoxaden and Pyroxsulam in Dose-Response Experiments in the greenhouse - Analysis of the F1 Generation

Jean Wagner*, Manuela Mücke

PlantaLyt GmbH, Hannover

jean.wagner@plantaLyt.de

DOI: 10.5073/20220124-062351

Zusammenfassung

Die Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) stellt vor dem Hintergrund der zunehmenden Resistenzen eine Herausforderung dar. Strategien zur Resistenzvermeidung beinhalten das Alternieren der Wirkstoffe oder ihre Anwendung in Mischungen bzw. in Sequenz. Unabhängig der gewählten Strategie stellt sich immer die Frage welche Resistenzmechanismen durch welche Anwendung positiv, gar nicht oder negativ selektiert werden. Der Blick in dieser Arbeit wird auf die metabolische Resistenz (NTSR) gelegt. Ihre Evolution erfolgt in kleinen quantifizierbaren Schritten und die Ausprägung von Kreuzresistenzen gegen weitere Wirkstoffe bleibt schwer vorhersagbar. Mit den im Getreide zur Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) eingesetzten Wirkstoffen Pinoxaden (HRAC 1) und Pyroxsulam (HRAC 2) wurde die Evolution von Resistenz bzw. Kreuzresistenz in Gewächshausversuchen für die 1. Generation experimentell simuliert. Dazu wurde eine Anzucht aus der ursprünglichen Feld-Population in drei Teilpopulationen unterteilt. Diese Teilpopulationen wurden mit jeweils 10 % der Feldaufwandmenge der Einzelwirkstoffe Pinoxaden und Pyroxsulam oder der Mischung dieser Wirkstoffe behandelt. Die Überlebenden dieser Behandlung wurden dann getrennt als Teilpopulation weiter vermehrt (F1). Die Empfindlichkeit der drei F1-Populationen und der Elterngeneration (P) gegenüber Pinoxaden, Pyroxsulam und der Mischung wurde in insgesamt 12 Dosis-Wirkungsversuchen verglichen. Die mit Pinoxaden selektierte F1-Population zeigte als einzige Teilpopulation eine signifikante Verschiebung der Unempfindlichkeit gegen Pinoxaden im Vergleich zu der P-Generation mit einem Faktor von 6. Nach Selektion in nur einer Generation konnte eine spezifisch gegen Pinoxaden metabolische Resistenz selektiert werden, die sich mit der Feldaufwandmenge nicht mehr ausreichend bekämpfen ließ.

Stichwörter: Ackerfuchsschwanz, *Alopecurus myosuroides* Huds., Herbizidmischung, metabolische Resistenz, NTSR, Pinoxaden, Pyroxsulam

Summary

The control of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) is a challenge against the background of increasing resistance. Strategies for avoiding resistance include the alternation of the active ingredients or their application in mixtures or in sequence. Regardless of the strategy chosen, the question always arises which resistance mechanisms are selected by which application and in which direction (positive, not at all or negative). This work focuses on metabolic resistance (NTSR). Their evolution takes place in small, quantifiable steps and the development of cross-resistance to other active ingredients remains difficult to predict. With the active ingredients pinoxaden (HRAC 1) and pyroxsulam (HRAC 2) used in cereals to control blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.), the evolution of resistance and cross-resistance was experimentally simulated in greenhouse experiments. For this purpose, a blackgrass population was propagated from the original field population. This population was divided into three subpopulations,

which were treated with 10% of the field application rate of the individual active ingredients pinoxaden and pyroxsulam and a mixture of them. The survivors of these treatments were propagated separately as subpopulations (F1). The herbicide sensitivity of the three F1 populations and the parental generation (P) was analyzed in 12 dose-response experiments. The F1 that was selected with Pinoxaden was the only subpopulation that showed a significant shift in sensitivity to Pinoxaden compared to the P generation with a factor of 6; but no significant shift was found in sensitivity to pyroxsulam or to the mixture of pinoxaden and pyroxsulam. After selection in just one generation, it was possible to select a specific metabolic resistance to pinoxaden, which could no longer be adequately controlled with the field application rate.

Keywords: *Alopecurus myosuroides* Huds., blackgrass, herbicide mixtures, metabolic resistance, NTSR, pinoxaden, pyroxsulam

Einleitung

Der Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) gehört zu den am schwersten bekämpfbaren Ungräsern im Ackerbau Mitteleuropas. Er ist stark an Winterungen angepasst und lässt sich mit immer weniger Herbiziden ausreichend bekämpfen. Strategien zur Resistenzvermeidung bzw. zur Zurückdrängung von resistenten Pflanzen berücksichtigen daher auch die nicht chemischen direkten Methoden und indirekten Maßnahmen zur Entlastung der Herbizide. Die formenreichen Resistenzmechanismen werden in zwei Gruppen unterteilt, TSR (**T**arget-**S**ite **R**esistance oder Wirkortresistenz) und NTSR (**N**on-**T**arget-**S**ite **R**esistance oder wirkortunabhängige Resistenz).

Strategien zur Resistenzvermeidung beinhalten das Alternieren der Wirkstoffe im Fruchtwechsel oder die Anwendung in Mischungen bzw. in Sequenz. Die Frage, welche Resistenzmechanismen durch welche Strategie positiv selektiert, gar nicht selektiert oder sogar negativ selektiert werden (z.B. durch eine synergistische Wirkung) sollte bei der Wahl der Strategie immer Beachtung finden.

Die metabolische Resistenz nutzt die in den Pflanzen existierende Abbaupfade der Entgiftung eines Wirkstoffs und steigert die Effizienz des Abbaus. Diese (oft durch mehrere Gene) komplex gesteuerte Resistenz kommt in der Regel erst über einige Generationen zum Tragen (NEVE & POWLES, 2005). Im Allgemeinen sind die Mechanismen metabolisch resistenter Pflanzen komplex vernetzt und es arbeiten je nach Resistenz die gleichen oder ähnliche Gene verschiedentlich miteinander (FRANCO-ORTEGA et al., 2021). Es gibt also keine metabolische General-Resistenz, sondern man wird es immer mit Teilmechanismen zu tun haben, die mehr oder weniger spezifisch für einen Wirkstoff sind. Ob und wie stark eine vorhandene Resistenz sich dabei auch als Kreuzresistenz gegen andere Wirkstoffe ausprägen kann ist schwer vorhersagen.

Anhand der im Getreide eingesetzten Wirkstoffe Pinoxaden (HRAC 1) und Pyroxsulam (HRAC 2) wurde in Gewächshausversuchen die Evolution einer Resistenz gegen Pinoxaden, Pyroxsulam und einer Mischung aus beiden Wirkstoffen bei Ackerfuchsschwanz zumindest in ihren Anfängen simuliert. Dazu wurden zunächst von einer Ausgangspopulation 3 Teilpopulationen angezogen und mit einer Dosierung von 10% der Feldaufwandmenge eine Überlebensrate provoziert, um ausreichend Pflanzen zu generieren, die eine F1 aufbauen konnten. In allen Pflanzen wurde vor Vermehrung die TSR als möglicher Mechanismus durch genetische Analyse ausgeschlossen. So konnte indirekt über Phänologie und TSR-Ausschluss das Vorhandensein von NTSR in Einzelpflanzen als Ursache der Unempfindlichkeit belegt werden.

Die vorliegende Studie soll die folgenden Hypothesen beantworten:

- 1) Lässt sich durch Selektion mit Pinoxaden innerhalb einer Generation die Empfindlichkeit in der F1-Population signifikant verschieben? Wenn ja, hat die Verschiebung der Empfindlichkeit eine Auswirkung auf die Empfindlichkeit gegen Pyroxsulam solo und in Mischung mit Pinoxaden?

- 2) Lässt sich durch Selektion mit Pyroxsulam innerhalb einer Generation die Empfindlichkeit in der F1-Population signifikant verschieben? Wenn ja, hat die Verschiebung der Empfindlichkeit eine Auswirkung auf die Empfindlichkeit gegen Pinoxaden solo und in Mischung mit Pyroxsulam?
- 3) Lässt sich durch Selektion mit einer Mischung beider Wirkstoffe innerhalb einer Generation die Empfindlichkeit in der F1-Population gegen eine Mischung signifikant verschieben? Wenn ja, hat die Verschiebung der Empfindlichkeit eine Auswirkung auf die Empfindlichkeit gegen die Solo-Anwendung beider Wirkstoffe?

Material und Methoden

Ausgangspopulation (P)

Als Ausgangspopulation wurde ein in 2014 gesammelter Ackerfuchsschwanz-Biotyp eines Schlages aus dem Harz gewählt (Herzberg am Harz OT Scharzfeld= P), von dem keine Resistenz bekannt war. Die Sammlung der Probe erfolgte im Rahmen eines Monitorings.

Selektion der F1

Von dem Biotyp P wurde eine Population von ca. 3000 Pflanzen angezogen und in drei Gruppen zu ca. 1000 eingeteilt. Jede Gruppe wurde im BBCH 12 mit den jeweiligen herbiziden Wirkstoffen Pinoxaden, Pyroxsulam oder einer Mischung der beiden behandelt. Aus den drei Teil-Populationen wurden die optisch vitalsten Pflanzen 28 Tage nach Behandlung herausgenommen und in getrennten Gewächshäusern zur Blüte und Samenreife gebracht. Die Samen-Sammlungen der drei Teil-Populationen wurden nach der jeweiligen Aktivsubstanz bezeichnet, mit der selektiert wurde. (Tab. 1)

Tabelle 1 Übersicht Selektion von Teil-Populationen (F1) aus der Ausgangspopulation P.

Table 1 Overview: selection of sub-populations (F1) from the starting population P.

Ausgangspopulation (P)	Behandlung	Anzahl selektierter vitaler Pflanzen	Bezeichnung der Samensammlung nach Vermehrung
OT Scharzfeld	6 g/ha Pinoxaden	40	Pino-F1
OT Scharzfeld	2 g/ha Pyroxsulam	26	Pyro-F1
OT Scharzfeld	mit 6 g/ha Pinoxaden + 2 g/ha Pyroxsulam	31	Pino+Pyro-F1

Ausschluss von TSR in P und F1

Der Ausschluss einer TSR (Target-Site Resistance oder Wirkortresistenz) in Pflanzen durch genetische Analyse kann als Beleg für eine NTSR in phänotypisch resistenten Pflanzen dienen. Die Vorgehensweise ist heuristisch. Die SNPs einer TSR sind bekannt und ihre An- bzw. Abwesenheit ist an Einzelpflanzen nachweisbar. Vergleichbare genetische Marker zur Bestätigung oder zum Ausschluss einer NTSR in Einzelpflanzen sind nicht verfügbar.

Von jeder Pflanze wurden zum Zeitpunkt der Vermehrung ca. 2 cm lange Blattstücke von vitalen Blättern abgeschnitten und bei Raumtemperatur getrocknet. Nach der Trocknung wurde die DNA der Pflanzen extrahiert. Die DNA-Extrakte wurden als Matrize in einer PCR eingesetzt, um Abschnitte des ACCase- und ALS-Gen zu amplifizieren, die folgende SNPs kodieren:

ACCase: Ile1781, Trp1999, Trp2027, Ile2041, Arg2078, Cys2088, Gly2096,

ALS: Ala122, Pro197, Ala205, Asp376, Arg377, Trp574, Asn653.

Die Fragmente wurden mittel Sanger-Sequenzierung kommerziell sequenziert. Die SNP-Analyse wurde mit Hilfe der Software Mutation Surveyor® durchgeführt.

Dosis-Wirkungsversuche

Mittels Dosis-Wirkungs-Experimenten kann auf Populationsebene untersucht werden, ob nach Selektion eine Verschiebung der Empfindlichkeit in der F1-Generation gegen einen der Wirkstoffe oder der Mischung im Vergleich zur ursprünglichen Elterngeneration stattgefunden hat. Insgesamt wurden dafür 12 Dosis-Wirkungs-Experimente angelegt und als Parameter die Sprossfrischmasse 18 Tage nach Behandlung erhoben. Für die Modellierung der Dosis-Wirkungs-Kurven wurden in den Experimenten 5 Dosierungen eingesetzt. Von jeder Population (P, Pino-F1, Pyro-F1 und Pino+Pyro-F1) wurden Pflanzen in Pflanzschalen (50 x 32 cm) in Dichten von etwa 300 Pflanzen/m² (49 Pflanzen in 7 Reihen x 7 Pflanzen) angezogen (Tab. 2). Für ein Dosis-Wirkungs-Experiment wurden 5 Schalen/Biotyp angesetzt und für 12 Dosis-Wirkungs-Experimente wurden insgesamt 60 Schalen mit je bis zu 49 Pflanzen pikiert (insgesamt knapp 3000 Pflanzen). Aufgrund des hohen Aufwands bei zeitgleicher Durchführung aller Dosis-Wirkungs-Experimente konnten keine Wiederholungen der Schalen angelegt werden.

Tabelle 2 Übersicht Dosierungen der Dosis-Wirkungs-Experimente

Table 2 Overview: Used doses in dose-response experiments

Testpopulationen	Aktivsubstanz	Dosierungen aufsteigend (g/ha)
P, Pino-F1, Pyro-F1, Pino+Pyro-F1	Pinoxaden	0/0,002/0,0045/0,0225/0,045
P, Pino-F1, Pyro-F1, Pino+Pyro-F1	Pyroxsulam	0/0,000935/0,00187/0,00935/0,0187
P, Pino-F1, Pyro-F1, Pino+Pyro-F1	Pinoxaden + Pyroxsulam	0/0,00369/0,00738/0,0369/0,0738

Eine Ernte und Einwaage der Spross-Frischmasse von einzelnen Pflanzen erfolgte am 18. Und 19. Tag nach Behandlung. Dazu wurden die Pflanzen möglichst gleichmäßig über der Oberfläche abgeschnitten und direkt eingewogen.

Statistische Analyse

Für die Modellierung des Parameters Frischmasse in Dosis-Wirkungskurven wurde das Packet drc (RITZ et al., 2015) mit der Software R nach KNEZEVIC et al. (2007) verwendet.

Ergebnisse

Insgesamt wurden 12 Dosis-Wirkungs-Versuche durchgeführt. Alle 4 Populationen (P, Pino-F1, Pyro-F1 und Pino+Pyro-F1) wurden mit den Dosierungen (Tab. 2) von Pinoxaden, Pyroxsulam und der Mischung beider Wirkstoffe behandelt. In Tabelle 3 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Die Abbildung 1 zeigt die modellierten Kurven und die jeweiligen Mittelwerte (Symbole in der jeweiligen Abbildung) aus bis zu 49 Pflanzen pro Mittelwert. Eine signifikante Verschiebung der Empfindlichkeit ließ sich für Pino-F1 bei der Anwendung von Pinoxaden ableiten (RF= 6). Bei der Population Pyro-F1 zeigt sich eine Verschiebung der Empfindlichkeit bei der niedrigsten Aufwandmenge mit Pyroxsulam um den Faktor 2. Diese Verschiebung ließ sich aber im Dosis-Wirkungs-Modell nicht statistisch absichern. Die Tendenzen der Effekte sind in Tabelle 3 angeführt (Spalte 4).

Tabelle 3 Dargestellt sind die mit den entsprechenden Wirkstoffen geprüften Teil-Populationen, ihre modellierten ED₅₀-Werte nach KNEZEVIC et al. (2007) und der resultierende RF-Wert bezogen auf die Ausgangspopulation P. Signifikante Abweichungen wurde nur in einem Fall festgestellt (Pino-F1 gegen Pinoxaden). RF-Werte (Resistenz-Faktoren) ergeben sich aus dem Verhältnis der ED₅₀-Werte zweier Dosis-Wirkungs-Experimente

Table 3 The sub-populations tested with the corresponding active substances are shown. The modeled ED₅₀ values according to KNEZEVIC et al. (2007) and the resulting RF value related to the parental population P are shown. Significant differences was only found in one case (Pino-F1 versus Pinoxaden). RF values (resistance factors) result from the ratio of the ED₅₀ values of two dose-response experiments

Wirkstoff(e)	Biotypen	ED ₅₀	Tendenz Unempfindlichkeit	RF-Wert	Signifikanz
Pinoxaden	P	0,0065		1	n.s.
Pinoxaden	Pino-F1	0,041	steigend	6	P= 0,03
Pinoxaden	Pyro-F1	0,01	steigend	1,5	n.s.
Pinoxaden	Pino+Pyro-F1	0,006	gleich bleibend	1	n.s.
Pyroxsulam	P	0,0004		1	n.s.
Pyroxsulam	Pino-F1	0,00015	gleich bleibend bis sinkend	0,37	n.s.
Pyroxsulam	Pyro-F1	0,00075	steigend	2	n.s.
Pyroxsulam	Pino+Pyro-F1	0,0002	gleich bleibend	1	n.s.
Pinoxaden + Pyroxsulam	P	0,0015		1	n.s.
Pinoxaden + Pyroxsulam	Pino-F1	0,003	steigend	1,9	n.s.
Pinoxaden + Pyroxsulam	Pyro-F1	0,0035	steigend	2,3	n.s.
Pinoxaden + Pyroxsulam	Pino+Pyro-F1	0,001	gleich bleibend bis sinkend	0,7	n.s.

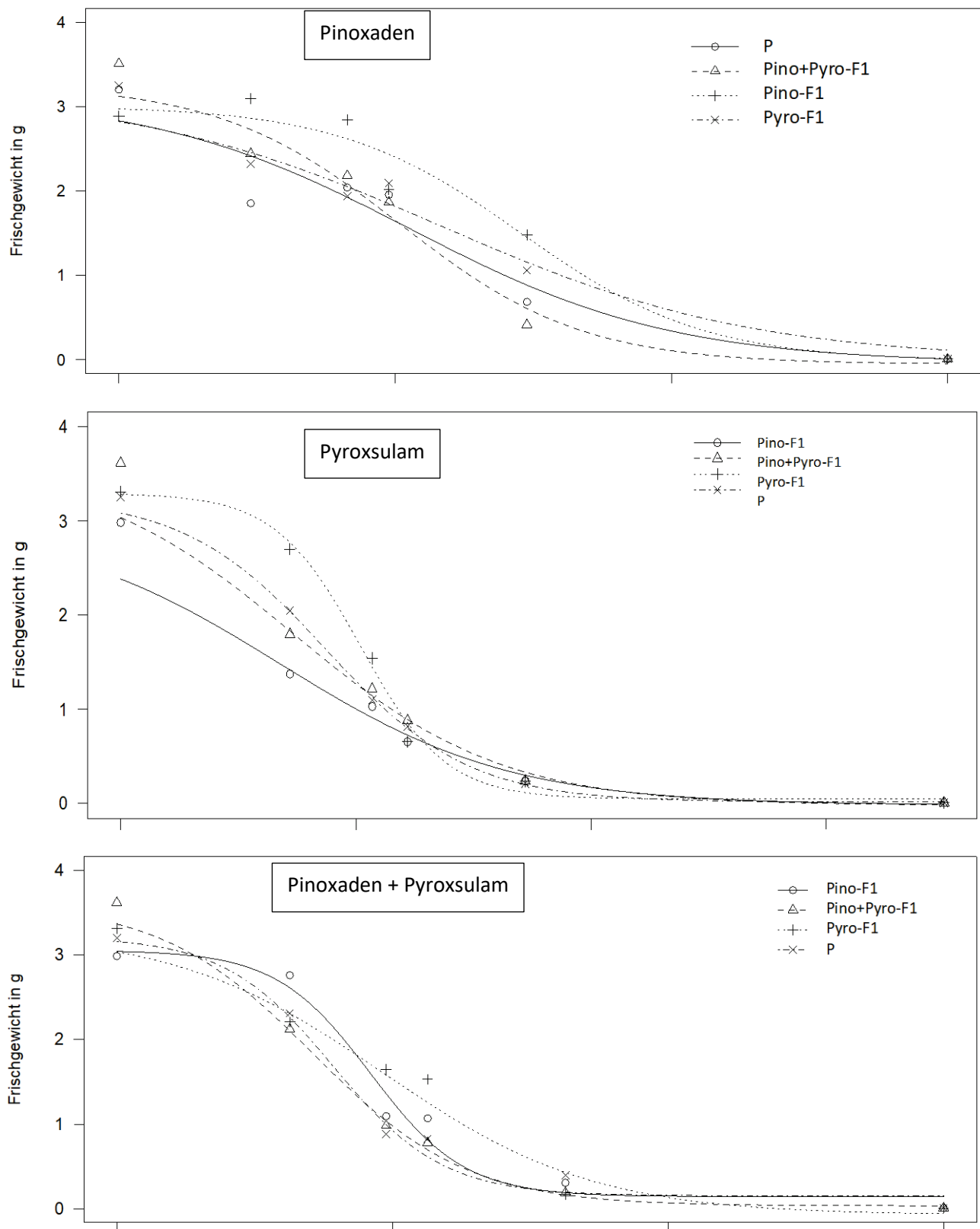


Abbildung 1 Modellierung der Dosis-Wirkungsbeziehungen der 4 Teilpopulationen für Pinoxaden, Pyroxsulam und die Mischung. Die Symbole entsprechen den Mittelwerten aus bis zu 49 Einzelpflanzen.

Figure 1 Modelling of dose-response relationships of the 4 subpopulations for pinoxaden, pyroxsulam and the mixture of both active ingredients. The symbols are corresponding to the mean values from up to 49 individual plants.

Diskussion

Die Anzucht von Ackerfuchsschwanz und die Selektion von Überlebenden aus niedrig dosierten Behandlung stellt zwar eine artifiziell beschleunigte, aber sinnvolle Nachstellung der Selektion von metabolischer Herbizidresistenz im Feld dar. Es wird allgemein angenommen, dass sich Pflanzen im Feld die metabolische Resistenz in kleinen Schritten über Generationen aneignen (NEVE & POWLES, 2005). Das wird – in Abhängigkeit des betrachteten Wirkstoffes – mal schneller gegen (über wenige) und mal langsamer über mehrere Generationen ablaufen. Langfristig dürfte es vermutlich aber alle Wirkstoffe betreffen.

Nach Behandlung der Ausgangspopulation mit Pinoxaden konnte in diesem Experiment innerhalb einer Generation eine signifikante Verschiebung der Empfindlichkeit selektiert werden. Im Vergleich zur Ausgangspopulation P ist die Pino-F1-Population um den Faktor 6 weniger empfindlich ($RF=6$). Gleichzeitig zeigten die Population Pyro-F1 und die Population Pino + Pyro-F1 zwar keine signifikante Verschiebung, aber die Empfindlichkeit nach Selektion mit Pinoxaden gegenüber Pyroxsulam nahm im Trend ab (Tab. 3, Spalte 4, Tendenzen einer Steigerung der Unempfindlichkeit). Bestätigt sich der Trend in Fortführung des Experiments in der kommenden Generation, dann ist eine Kreuzresistenz als Ursache wahrscheinlich. Die Ausprägung ist schwächer und es stellt sich dann die Frage, ob es sich um einen gemeinsamen Teilmechanismus oder ob es sich um eine Induzierung des Metabolismus handelt. Beides wäre kontraproduktiv im Sinne einer Förderung von metabolischer Resistenz im Feld und kann wahrscheinlich nur sinnvoll unterbrochen werden durch geeignete Mittelwahl im Fruchtwechsel (z.B. Clethodim-haltige Produkte, die streng gegen metabolische Resistenzen selektieren). Es stellt sich dann auch die Frage ob umgekehrt durch eine Selektion mit Pyroxsulam (Pyro-F1) eine Verschiebung der Empfindlichkeit gegen Pinoxaden eine logische Konsequenz ist. Im Versuch zeigte sich dieser Trend nicht. Die Empfindlichkeit gegen Pinoxaden veränderte sich hier nicht für Pyro-F1. Im Trend war aber die Verschiebung bei Pyro-F1 bei Anwendung von Pyroxsulam zu sehen, aber nicht signifikant. Weiterhin zu prüfen ist Feststellung, dass eine Selektion nach Behandlung mit der Mischung beider Wirkstoffe (Pino+Pyro-F1) und auch die Population Pino-F1 und Pyro-F1 keine Senkung der Empfindlichkeit nach Anwendung beider Wirkstoffe in Mischung zeigte. Dies spricht entweder dafür, dass die Wirkstoffe Pinoxaden und Pyroxsulam keine gemeinsamen Abbauewege haben oder aber in Kombination eine synergistische Wirkung haben können. Auch das muss sich erst über eine weitere Generation der Selektion bestätigen lassen.

Mit den Ergebnissen lassen sich die eingangs aufgestellten Hypothesen teilweise beantworten:

- 1: eine Selektion mit Pinoxaden kann in einer Generation zu einer signifikanten Erhöhung der Unempfindlichkeit führen. Die Verschiebung der Empfindlichkeit kann eine schwache Auswirkung auf die Empfindlichkeit gegen Pyroxsulam solo haben, jedoch (in diesem Versuch) offensichtlich nicht auf die Mischung mit Pinoxaden?
- 2: Die Selektion mit Pyroxsulam führte in einer Generation zu einer leichten (aber nicht signifikanten) Erhöhung der Unempfindlichkeit gegen Pyroxsulam. Eine Änderung gegenüber Pinoxaden und der Mischung beider Wirkstoffe konnte nicht beobachtet werden.
- 3: Die Selektion mit der Mischung beider Wirkstoffe führte in einer Generation zu einer leichten (aber nicht signifikanten) Erhöhung der Unempfindlichkeit gegen Pyroxsulam und Pinoxaden solo, aber nicht in Mischung. Unter Vorbehalt lässt sich ableiten: Eine Mischung beider Wirkstoffe selektiert weniger intensiv die Unempfindlichkeit gegen Pinoxaden als die Solo-Anwendung Pinoxaden. Es besteht bei Solo und Mischanwendung von Pyroxsulam aber die Möglichkeit der Selektion der Unempfindlichkeit gegen Pyroxsulam, woraus sich bei weitere Bestätigung ableiten lässt nach Anwendung einer Mischung eher nicht zum Soloprodukt zurück zu kehren

Insgesamt war aber die Selektion einer metabolischen Resistenz gegen Pinoxaden deutlich schneller sichtbar als die Selektion gegen Pyroxsulam. Die Gefahr der Selektion von metabolischer Resistenz gegen

Pinoxaden kann für die gewählte Population als hoch eingeschätzt werden. Ob sich die Beobachtung generalisieren lässt muss sich in weiteren Versuchen zeigen.

Literatur

- FRANCO-ORTEGA, S., A. GOLDBERG-CAVALLERI, A. WALKER, M. BRAZIER-HICKS, N. ONKOKESUNG, R. EDWARDS, 2021: Non-target Site Herbicide Resistance Is Conferred by Two Distinct Mechanisms in Black-Grass (*Alopecurus myosuroides*). *Plant Metabolism and Chemodiversity*, 10.3389/fpls.2021.636652.
- 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**(3), 840–848.
- NEVE, P., S. POWLES, 2005: Recurrent selection with reduced herbicide rates results in the rapid evolution of herbicide resistance in *Lolium rigidum*. *Theor Appl Genet* **110**, 1154–1166.
- RITZ, C., F. BATY, J.C. STREIBIG, D. GERHARDS, 2015: Dose-Response Analysis Using R. *PLOS ONE*, **10**(12).

Investigation of glutathione transferases at the gene regulation level in flufenacet resistant black-grass populations (*Alopecurus myosuroides* Huds.)

Untersuchung von Glutathiontransferasen auf Genregulationsebene in Flufenacet-resistenten Acker-Fuchsschwanzpopulationen (Alopecurus myosuroides Huds.)

Evlampia Parcharidou^{1,2*}, Rebecka Dücker¹, Roland Beffa^{2,3}

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

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

³Present address: Königsteiner Weg 4, 65835 Liederbach, Germany

*e.parcharidou@stud.uni-goettingen.de

DOI: 10.5073/20220124-062640

Abstract

The herbicide flufenacet, applied in pre-emergence, acts as an inhibitor of the synthesis of very long-chain fatty acids (HRAC group 15) and is an important component in the control of grasses in winter cereals, especially when resistance to other herbicide groups already exists. However, decreases in sensitivity due to increased flufenacet metabolism by glutathione transferase activity have already been described in some black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) populations. So far, little is known about the mechanisms of gene regulation in metabolically resistant weeds. Therefore, we aligned RNA-seq data from two sensitive black-grass populations and two black-grass populations with reduced sensitivity to flufenacet against the recently sequenced black-grass genome. In a differential gene expression analysis, an upregulation of genes involved in metabolic detoxification pathways, such as cytochrome P450 monooxygenases (CYPs), glycosyltransferases (GTs), glutathione transferases (GSTs) and ATP-binding cassette (ABC) transporters was observed. It was found that 7% of the GST genes in the two populations with reduced flufenacet sensitivity were significantly upregulated even without any herbicide application (constitutively) when compared to the two sensitive populations. Three of these genes are located next to each other on the third chromosome and represent a cluster. For each of the upregulated GST genes 3,5 kb of the upstream promoter region were investigated in silico for potential transcription factor binding sites (TFBSs). Some of them share common upstream motifs, such as an *ocs* element, previously described as enhancer element for GSTs. In addition, other motifs could act as potential binding sites for transcription factors (TFs) that were found upregulated. These belonged to various classes including WRKYs, basic helix-loop-helices (bHLH), basic leucine zippers (bZIP) or MADS-boxes. A better understanding of the regulation of resistance-associated genes can contribute to improve diagnosis of herbicide resistance and help in predicting the evolution of cross-resistance, as well as contribute to the search for new active ingredients.

Keywords: metabolic resistance, glutathione transferase, transcription factor binding site, flufenacet, black-grass

Zusammenfassung

Das Voraufherbizid Flufenacet wirkt als Hemmer der Synthese sehr langkettiger Fettsäuren (HRAC-Gruppe 15) und ist ein wichtiger Baustein in der Bekämpfung von Ungräsern in Wintergetreide, v.a. wenn bereits Resistenzen gegen andere (Nachauf-) Herbizidgruppen vorliegen. Jedoch wurden bereits bei einigen Acker-Fuchsschwanzpopulationen (*Alopecurus myosuroides* Huds.) Sensitivitätsunterschiede aufgrund von erhöhten Flufenacetabbauraten durch Glutathiontransferaseaktivität beschrieben. Bisher sind die Mechanismen der Genregulation bei metabolisch resistenten Unkrautern kaum bekannt. In unserer Studie wurden daher RNA-Seq-Daten von zwei sensitiven Acker-Fuchsschwanzpopulationen und zwei

Acker-Fuchsschwanzpopulationen mit verminderter Sensitivität gegenüber Flufenacet gegen das kürzlich sequenzierte Acker-Fuchsschwanzgenom aligniert. In einer differentiellen Genexpressionsanalyse wurde eine Hochregulation von Genen beobachtet, die an metabolischen Detoxifizierungsprozessen beteiligt sind, wie Cytochrom-P450-Enzyme (CYPs), Glycosyltransferasen (GTs), Glutathiontransferasen (GSTs) und ATP-bindende Kasette (ABC)-Transportern. Es wurde festgestellt, dass 7 % der GST-Gene in den beiden Populationen mit verminderter Flufenacet-Sensitivität im Vergleich zu den beiden Sensitiven konstitutiv (ohne vorherige Herbizid-Applikation) signifikant hochreguliert waren. Drei dieser Gene sind auf dem dritten Chromosom nebeneinander lokalisiert und bilden ein Gen-Cluster. Jeweils 3,5 kb der vor dem Transkriptionsstartpunkt gelegenen Promoterregionen der hochregulierten GST-Gene wurden in silico auf potenzielle Transkriptionsfaktor-Bindungsstellen (TFBSs) untersucht. Einige von ihnen teilen gemeinsame vorgelagerte Sequenzmotive wie das *ocs*-Element, das u.a. als pflanzliches Enhancerelement für GSTs beschrieben wurde. Darüber hinaus wurden weitere Motive gefunden, die als potenzielle Bindungsstellen von Transkriptionsfaktoren (TFs) fungieren könnten, z. B. WRKY, basische Helix-Loop-Helix (bHLH), basische Leucin-Zipper (bZIP) oder MADS-Boxen. Ein besseres Verständnis der Regulation resistenzassoziierter Gene kann die Diagnostik von Herbizidresistenz vereinfachen und dazu beitragen, die Evolution von Kreuzresistenzen besser vorherzusagen, sowie zur Verbesserung der Wirkstoffforschung führen.

Stichwörter: metabolische Resistenz, Glutathiontransferase, Transkriptionsfaktor-Bindungsstelle, Flufenacet, Acker-Fuchsschwanz

Introduction

During the last decades black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) has become a problematic weed species in cereals in Western Europe (PETERSON et al., 2018) and populations already resistant against post-emergent herbicides inhibiting acetyl-CoA-carboxylase and acetolactate synthase become increasingly widespread (HRAC Groups 1 and 2). As a consequence, agronomic practices have been adapted to this situation and black-grass control gradually shifted to autumn treatments. Hence, pre-emergence herbicides are playing an increasingly important role in the control of this weed to slow down resistance evolution (BAILLY et al., 2012; MOSS, 2017). For example, flufenacet, an α -oxyacetamide herbicide inhibiting the synthesis of very long-chain fatty acids (VLCFAs; HRAC Group 15), plays a key role for the control of grasses in winter cereals in Europe (MENNE et al., 2012). Analytical studies in black-grass showed that the detoxification of flufenacet is controlled by glutathione transferases (GSTs) (DÜCKER et al., 2019b). Yet, little is known so far about the mechanisms of gene regulation in metabolically resistant weeds. Nevertheless, recent studies of sensitive black-grass populations and populations with a decrease in flufenacet sensitivity revealed upregulation of several enzymes involved in the detoxification of xenobiotics as well as several transcription factors (DÜCKER et al., 2020). Therefore, in that study, an investigation at the gene regulation level using the newly sequenced and assembled black-grass genome was undertaken to look for transcription factors that potentially can affect GST expression. Transcription factors (TFs) are proteins (trans-acting factors), which regulate the expression of genes by binding to specific sequence motifs (*cis* regulatory elements or CREs) of the DNA strand, while regions of DNA coding for them called *trans* regulatory elements (BIŁAS et al., 2016). Most TFs bind on the major groove of the DNA double strand, which allows more room to assess the sides of the bases and offers more distinct patterns of hydrogen bond donors and acceptors on the bases (PABO & SAUER, 1992). CREs are usually in the 1 kbp upstream region of the transcription start site (TSS), however, they can also be found up to 1 Mbp upstream (Fig. 1). So far, several plant GST promoters are known to possess an *ocs* (octapine synthase) element, which serves as binding site for basic leucine zipper transcription factors (bZIP; (CHEN et al., 1996; MARRS, 1996)).

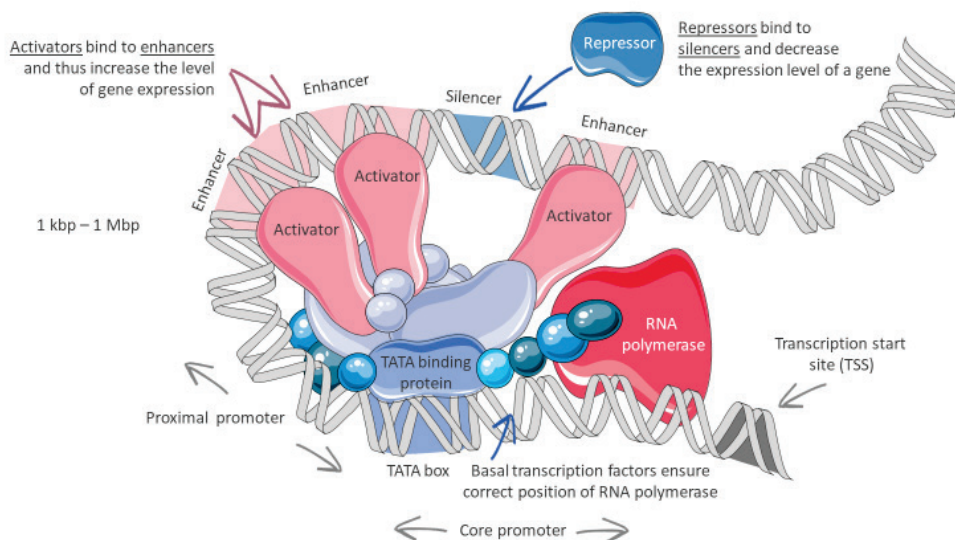


Figure 1 Regulation of transcription by transcription factors in eukaryotes. This image was created using smart.servier.com, based on information modified from SPRINGER et al., 2019.

Abbildung 1 Regulation der Transkription durch Transkriptionsfaktoren bei Eukaryoten. Die Abbildung wurde nach SPRINGER et al., 2019 mit smart.servier.com erstellt.

The work presented here is preliminary and aiming to understand better 1) which genes are differentially expressed between sensitive and flufenacet-resistant black-grass populations and 2) how differentially expressed GST genes potentially involved in flufenacet detoxification in black-grass can be regulated by various TFs.

Material and methods

Differentially expressed genes (DEGs)

RNA-seq reads derived from sensitive black-grass populations as well as populations with a statistically significant shift in flufenacet sensitivity (DÜCKER et al., 2020) were aligned against the newly sequenced and assembled black-grass genome (Lichun Cai, Clemson University, personal communication, 2021) using a splice aware aligner (STAR aligner; version 2.6.1d). A differential gene expression analysis was completed with edgeR (version 3.32.1; ROBINSON et al., 2010) in R Studio using thresholds of $\log_{2}FC \geq 2$ and $FDR \leq 0.01$ (version 1.2.1335). Additionally, some GSTs defined as candidate genes described by DÜCKER et al. (2020) were investigated.

Candidate transcription factors

Several software programs were used for the investigation of TFs and CREs. PromoAlgen was used for the analysis of binding factors and DNA binding sites using the option “Plants” (MultiSearch Promoter Sites). Further criteria used were a maximum matrix dissimilarity rate of 5%, $RE \leq 1$ and the prerequisite that all motives are common in all the 10 upstream GSTs regions. Additionally, barley (*Hordeum vulgare* L.) was chosen as plant species matrix for a search in PlantRegMap. Cut-off thresholds were $q \leq 0.05$ and $p \leq 1e-4$. In addition, manual investigation of CREs took place. For this purpose, known CREs described in the literature, such as ocs elements (MARRS, 1996) were investigated.

Results

Differentially expressed genes (DEGs)

In total, 3,041 differentially expressed genes were detected in black-grass populations with reduced flufenacet sensitivity. A set of genes involved in detoxification pathways of xenobiotics was detected, such as cytochrome P450s (CYPs), glutathione transferases (GSTs), glucosyltransferases (GTs) and ATP binding cassettes (ABC). In addition, various transcription factor families (FARRELL in BASSETT, 2007, p.9-10) belonging to the families of leucine zippers (ZIP), basic helix-loop-helices (bHLH), MADS-box factors, zinc fingers, WRKYs and as well genes belonging in AP2/ERF superfamily were found to be differentially expressed. A closer look at the most highly upregulated GSTs ($\log_{2}FC \geq 2$) detected in the black-grass populations with reduced sensitivity to flufenacet revealed that they comprise 7% of the total genes annotated as GSTs in the genome (Tab. 1). Three of them were located next to each other on chromosome 3 and two of them were located in direct proximity on chromosome 5 (with $\log_{2}FC = 1,78$).

Candidate transcription factors

Investigation of the 3,5 kbp region upstream from the transcription start site (TSS) was done to find transcription factors potentially involved in the expression of GSTs, except for ALOMY2_3, where its upstream region is interrupted by another gene and for this reason only the 2,76 kbp upstream was investigated. The outcome of our analyses revealed various potential binding factors and regulatory elements that may be involved. In most of the GST promoters, TFs belonging to the families of zinc fingers, MADS-box and Dof factors, as well belonging to the AP2/ERF family were discovered. In addition, other elements were detected by manual investigation (not automatically done by an algorithm). These include *ocs* elements, specifically in the promoters of ALOMY2_2, ALOMY3_4, ALOMY3_5, ALOMY3_6, ALOMY6_10 as well as a GCC box in ALOMY2_3, ALOMY3_4, ALOMY5_9.

Table 1 Highly upregulated ($\log_{2}FC \geq 2$, $FDR \leq 0,01$) glutathione transferases found in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) populations with reduced flufenacet sensitivity

Tabelle 1 Stark hochregulierte ($\log_{2}FC \geq 2$, $FDR \leq 0,01$) Glutathiontransferasen, die in den Acker-Fuchsschwanzpopulationen (*Alopecurus myosuroides* Huds.) mit geringer Flufenacet-Sensitivität detektiert wurden

Number	Chromosome	Name of GSTs	GST name**
1	2	ALOMY2_1	-
2	2	ALOMY2_2	-
3	2	ALOMY2_3	-
4	3	ALOMY3_4	GST1
5	3	ALOMY3_5	GST2
6	3	ALOMY3_6	-
7	5	ALOMY5_7	-
8	5	ALOMY5_8	-
9*	5	ALOMY5_9	GST4, GST5
10	6	ALOMY6_10	GST6

* $\log_{2}FC = 1.78$ smaller than 2; **GST name based on DÜCKER et al., 2020; bold: Genes located next to each other on the chromosome 3; italics: Genes located next to each other on the chromosome 5

Discussion

Many genes belonging to the families of CYPs, GSTs, GTs and ABC transporters were found to be upregulated in the populations with reduced sensitivity to flufenacet. All these gene families code for enzymes potentially involved in the detoxification pathways of xenobiotic compounds (e.g. herbicides) in

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online plants (COLEMAN et al., 1997). It is noteworthy that 7% of the GST genes annotated in black-grass genome were found upregulated in the populations with decreased flufenacet sensitivity. All or some of these GST genes could play an important role in the detoxification of flufenacet in these populations, since GSTs catalyze the first step of flufenacet detoxification in black-grass (DÜCKER et al., 2019b) and in other grasses as maize or ryegrass (*Lolium* spp.) (BIESELER et al., 1997; DÜCKER et al., 2019a). The functional activity of these genes require confirmation. Manual investigation found ocs elements upstream of the TSS in ALOMY2_2, ALOMY3_4, ALOMY3_5, ALOMY3_6 and ALOMY6_10. These are 20 bp consensus sequences containing a tandem core sequence of ACGT. They have been already described in promoters of phytopathogens and in plant GST promoters (MARRS, 1996). Their role in the plant GST promoters is stress-inducible. Interestingly, both software programs used implied the presence of Dof (DNA-binding One Zinc Finger) binding motifs. OBP1 (or AtDof1) has been found to be responsible for a specific interaction with a bZIP protein (OBF) in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. This interaction results in stimulation of bZIP binding to an ocs element of the AtGST6 promoter (combinatorial control) (CHEN et al., 1996). In this work, the induction of AtGST6 expression was triggered by salicylic acid and hydrogen peroxide (H₂O₂), which reveals once more the central role of GST proteins in plant defense. Therefore, the populations with reduced sensitivity to flufenacet could be exhibiting enhanced oxidative stress levels (CAVERZAN et al., 2019; KAUR, 2019) since resistance to various modes of action has already evolved. GSTs might be triggered more easily in resistant rather than in sensitive populations. In addition, GCC boxes were found in ALOMY2_3, ALOMY3_4 and ALOMY5_9, which is recognized by the ERFs (ethylene responsive factors). The latter also appeared as binding factors in the results of the in silico analyses and were also upregulated in our DEG analysis. GCC boxes are typically found in pathogenesis related genes (OHME-TAKAGI & SHINSHI, 1995; SATO et al., 1996; ZHOU et al., 1997) and elevated ethylene levels are responsible for GST expression (LIEBERHERR et al., 2003; SMITH et al., 2003). Considering that the expression of GSTs can be regulated by phytohormones, a functional role of the GCC box in plant GST promoters cannot be excluded. Moreover, there are cases where synergistic effects of ERF (AtEBP) and bZIP (OBF4; ocs element binding factor) have been described in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh (BÜTTNER & SINGH, 1997), but the functional importance remains unknown.

Outlook

This work will contribute to improve the diagnosis of metabolic herbicide resistance, will help to develop better predictions of the evolution of cross-resistance, as well as contribute to the search for new active ingredients. Knowing the TFs which regulate the transcription of genes coding for enzymes involved in herbicide detoxification pathways e.g. GSTs, will contribute fundamentally to a greater understanding of metabolic weed resistance. Therefore, TFs could serve as potential markers for sequencing-based diagnostics. Despite the high number of trans-acting factors detected in silico, this does not confirm their function in vivo. Further experiments studying protein-DNA interactions to verify the functions of TFs and CREs are necessary to clarify this.

Acknowledgements

The authors would like to thank Harry Streck, Weed Resistance Scientific Director of Bayer AG (Crop Science), for scientific discussions and his diligent proofreading.

References

- BAILLY, G.C., R.P. DALE, S.A. ARCHER, D.J. WRIGHT, S.S. KAUNDUN, 2012: Role of residual herbicides for the management of multiple herbicide resistance to ACCase and ALS inhibitors in a black-grass population. *Crop Protection* **34**, 96–103, DOI:10.1016/j.cropro.2011.11.017.

- BIESELER, B., C. FEDTKE, T. NEUEFEIND, W. ETZEL, L. PRADÉ, P. REINEMER, 1997: Maisselektivität von FOE5043: Abbau des Wirkstoffes durch Glutathion-S-Transferasen, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer **50**, 117-142.
- BIŁAS, R., K. SZAFRAN, K. HNATUSZKO-KONKA, A.K. KONONOWICZ, 2016: Cis-regulatory elements used to control gene expression in plants. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC) **127** (2), 269–287, DOI:10.1007/s11240-016-1057-7.
- BÜTTNER, M., K.B. SINGH, 1997: *Arabidopsis thaliana* ethylene-responsive element binding protein (AtEBP), an ethylene-inducible, GCC box DNA-binding protein interacts with an ocs element binding protein. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **94** (11), 5961–5966, DOI:10.1073/pnas.94.11.5961.
- CAVERZAN, A., C. PIASECKI, G. CHAVARRIA, C.N. STEWART, L. VARGAS, 2019: Defenses Against ROS in Crops and Weeds: The Effects of Interference and Herbicides. International journal of molecular sciences **20** (5), DOI:10.3390/ijms20051086.
- CHEN, W., G. CHAO, K.B. SINGH, 1996: The promoter of a H₂O₂-inducible, *Arabidopsis* glutathione S-transferase gene contains closely linked OBF- and OBP1-binding sites. Plant Journal **10**, 955-66 DOI: 10.1046/j.1365-313x.1996.10060955.x
- COLEMAN, J., M. BLAKE-KALFF, E. DAVIES, 1997: Detoxification of xenobiotics by plants: chemical modification and vacuolar compartmentation. Trends in Plant Science **2** (4), 144–151, DOI:10.1016/S1360-1385(97)01019-4.
- DÜCKER, R., E. PARCHARIDOU, R. BEFFA, 2020: Flufenacet activity is affected by GST inhibitors in blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) populations with reduced flufenacet sensitivity and higher expression levels of GSTs. Weed Science **68** (5), 451–459, DOI:10.1017/wsc.2020.54.
- 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 populations. Pest Management Science **75** (11), 3084–3092, DOI:10.1002/ps.5425.
- 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 Management Science **75** (11), 2996–3004, DOI:10.1002/ps.5414.
- FARRELL JR., R.E., 2007: The regulation of gene expression in plants and animals. In: Regulation of plant gene expression. The role of Transcript Structure and Processing, Bassett, C.L. (Eds), New York, Springer, p. 9-10.
- KAUR, G., 2019: Herbicides and its role in Induction of Oxidative Stress- A Review. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology **4** (4), 995–1004, DOI:10.22161/ijeab.4416.
- LIEBERHERR, D., U. WAGNER, P.-H. DUBUIS, J.-P. MÉTRAUX, F. MAUCH, 2003: The rapid induction of glutathione S-transferases AtGSTF2 and AtGSTF6 by avirulent *Pseudomonas syringae* is the result of combined salicylic acid and ethylene signaling. Plant & Cell Physiology **44** (7), 750–757, DOI:10.1093/pcp/pcg093.
- MARRS, K.A., 1996: The functions and regulation of glutathione S-transferases in plants. Plant Molecular Biology **47**, 127–158.
- MENNE, H.J., B. LABER, D. KERLEN, R. BEFFA, 2012: Effectiveness of flufenacet in controlling resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) – comparison of glasshouse and field trial results. Julius-Kühn-Archiv **434** (1); 401-408, DOI:10.5073/jka.2012.434.049.
- 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** (5), 207–212, DOI:10.1564/v28_oct_04.
- OHME-TAKAGI, M., H. SHINSHI, 1995: Ethylene-Inducible DNA Binding Proteins That Interact with an Ethylene-Responsive Element. The Plant Cell **7** (2), 173, DOI:10.2307/3869993.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- PABO, C.O., R.T. SAUER, 1992: Transcription factors: structural families and principles of DNA recognition. *Annual Review of Biochemistry* **61**, 1053–1095, DOI:10.1146/annurev.bi.61.070192.005201.
- PETERSON, M.A., A. COLLAVO, R. OVEJERO, V. SHIVRAIN, M.J. WALSH, 2018: The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. *Pest Management Science* **74** (10), 2246–2259, DOI:10.1002/ps.4821.
- ROBINSON, M.D., D.J. MCCARTHY, G.K. SMYTH, 2010: edgeR: a Bioconductor package for differential expression analysis of digital gene expression data. *Bioinformatics (Oxford, England)* **26** (1), 139–140, DOI:10.1093/bioinformatics/btp616.
- SATO, F., S. KITAJIMA, T. KOYAMA, Y. YAMADA, 1996: Ethylene-Induced Gene Expression of Osmotin-Like Protein, a Neutral Isoform of Tobacco PR-5, is Mediated by the AGCCGCC cis-Sequence. *Plant Cell Physiology* **37**(3): 249-255.
- SMITH, A.P., S.D. NOURIZADEH, W.A. PEER, J. XU, A. BANDYOPADHYAY, A.S. MURPHY, P.B. GOLDSBROUGH, 2003: *Arabidopsis* AtGSTF2 is regulated by ethylene and auxin, and encodes a glutathione S-transferase that interacts with flavonoids. *The Plant Journal* **36** (4), 433–442, DOI:10.1046/j.1365-313x.2003.01890.x.
- SPRINGER, N., N. DE LEÓN, E. GROTEWOLD, 2019: Challenges of Translating Gene Regulatory Information into Agronomic Improvements. *Trends in plant science* **24** (12), 1075–1082, DOI:10.1016/j.tplants.2019.07.004.
- ZHOU, J., X. TANG, G.B. MARTIN, 1997: The Pto kinase conferring resistance to tomato bacterial speck disease interacts with proteins that bind a cis-element of pathogenesis-related genes. *The EMBO journal* **16** (11), 3207–3218, DOI:10.1093/emboj/16.11.3207.

Einsatz moderner Resistenz-Diagnostik für die Generierung repräsentativer Daten als Basis für ein Algorithmen-gestütztes Herbizidmanagement

Use of modern resistance diagnostics for the generation of representative data as the basis for an algorithm-based herbicide management

Jean Wagner^{1*}, Johannes Herrmann², Martin Hess²

¹PlantaLyt GmbH, Hannover

²Agris42 GmbH, Stuttgart

*jean.wagner@plantaLyt.de

DOI: 10.5073/20220124-062909

Zusammenfassung

Herbizidresistenzen nehmen zu und entwickeln sich diffizil. Pauschale Empfehlungen lösen keine Probleme, sondern verschärfen die Problematik vielfach. Es braucht dringend Lösungen auf Basis der einzelbetrieblichen Analyse. Auf Algorithmen basierende Entscheidungshilfen für das Management von Herbizidresistenzen müssen dafür unterschiedlichste Datensätze konsolidieren. Biologische Datensätze können nur durch messbare Parameter erhoben werden. Zur Bewertung der Herbizidwirkung auf Unkräuter liefert der Biotest an Nachkommen von Pflanzen der Feldpopulation bis heute die wichtigsten Daten. So kann eine komplexe Phänologie gut erfasst werden. Der Biotest bleibt aber sehr arbeits- und kostenaufwändig. Gleichzeitig braucht eine zuverlässige Modellierung eine hohe Stichprobenzahl mit möglichst geringer Redundanz der Daten. Die Lösung kann nur in einer qualitativen Erhöhung der Stichprobe bei gleichzeitiger Kostenreduktion liegen. Ein wesentlicher Teil liegt in der Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnis über die Zusammenhänge von Resistenzmechanismen und ihrer Ausprägung im Feld. Eine Bündelung verschiedener Datensätze zeigt: Wiederholende Muster lassen sich durch deutlich weniger Daten abbilden und so Redundanzen vermeiden. Moderne Verfahren zur Hochdurchsatz-Genotypisierung von Populationen eröffnen neue Möglichkeiten: Es werden zukünftig nicht mehr SNPs in einzelnen Pflanzen erfasst, sondern ihr Vorkommen wird prozentual aus Mischproben von 50 oder mehr Pflanzen ermittelt. Dieser Paradigmenwechsel ermöglicht nicht nur eine Reduktion der Kosten pro Datenpunkt, sondern liefert einen deutlich höheren Stichprobenumfang. Damit lassen sich repräsentative Daten mit geringem Aufwand erheben, die wiederum in dynamischen Modellen als Entscheidungshilfen der Praxis zur Verfügung gestellt werden können.

Stichwörter: Ackerfuchsschwanz, *Alopecurus myosuroides* Huds., *Apera spica-venti*, Biotest, digitalisierte Entscheidungshilfen, Hochdurchsatz-Genotypisierung, NTSR, Resistenz-Mechanismen, TSR, Windhalm)

Summary

Herbicide resistance is increasing and developing in a difficult manner. Common recommendations are not able to solve problems, but rather sharpen the problem in many ways. Solutions are needed that are based on individual farm analysis. The algorithm-based decision support for the management of herbicide resistance have to consolidate a wide variety of data sets. Biological data sets can only be collected using measurable parameters. To evaluate the herbicidal effect on weeds, the bioassay testing herbicide resistance in the next generation of plants originating from field population has provided the most important data until today. In this way, a complex phenology can be captured well. But, it remains very labor-intensive and costly and, additionally, reliable modeling requires a high number of samples with the least possible redundancy of the data. The only solution can be to increase the quality of sampling while reducing costs. An essential part of this is the implementation of scientific knowledge about the interrelationships between resistance mechanisms and their development in the field. A clustering of

different data sets shows that the repetitive patterns can be mapped using significantly less data and thus avoid redundancies. Modern methods for high-throughput genotyping of populations open up new possibilities: In the future, SNPs will no longer be recorded in individual plants, but their occurrence will be determined as a percentage from mixed samples of 50 or more plants. This paradigm shift not only enables a reduction in the costs per data point, but also provides a significantly higher sample size. This means that representative data can be collected with little effort, which in turn can be made available in dynamic models as decision-making support in practice.

Keywords: *Alopecurus myosuroides* Huds., *Apera spica-venti*, black-grass, biotest, digitized decision support, High throughput genotyping, NTSR, resistance mechanisms, silky bent-grass, TSR)

Einleitung

Die Herbizidresistenz beim Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* L.) und weiteren Ungräsern entwickelt sich mit einer komplexen Dynamik gegen die Wirkstoffe der HRAC-Gruppen 1 und 2. Jeder betroffene Standort hat seine eigene Resistenz-Geschichte, die sich auf biologische Faktoren, Standortfaktoren und die Produktionsziele zurückführen lässt. Bei der Biologie spielt die individuelle Ausgangssituation einer Population mit ihren Frequenzen verschiedener Resistenzmechanismen und die Geschichte der Anwendung von Herbiziden im Produktionssystem die größte Rolle. Je nach Ausgangssituation und Herbizidhistorie entwickeln sich die Herbizidresistenzen diffizil. Das stellt die landwirtschaftliche Beratung vor große Herausforderungen die Landwirte/Landwirtinnen mit schlagspezifischen Informationen und vor allem Interpretationen zu unterstützen. Durch die abnehmende Personaldecke in der Beratung sind keine Kapazitäten für die Aufarbeitung und Umsetzung von Wissen vorhanden. Gleichzeitig steigt aber die fachliche Erwartung aus den Betrieben an die Beratung (KNIERIM et al., 2017). Die sich hier anhäufenden Probleme lassen sich in Zukunft aber digital lösen. Das Stichwort lautet „Machine Learning“ als logische Konsequenz der digitalen Transformation. Der Begriff bezeichnet eine künstliche (nicht menschliche) Generierung von Wissen aus Erfahrungen die sich aus der statistischen Auswertung und der anschließenden automatischen von Algorithmen betriebenen Neuanpassung und Prüfung von Modellen ableitet. Die Voraussetzungen dafür ist eine gute Vernetzung der Daten. Und dafür müssen auch systematisch aussagekräftige biologische Daten in ausreichender Menge generiert werden. Mehr Daten führen zu mehr Wissen und mehr Wissen führt zu mehr zielgerichteter Aktivität und damit letztlich zu einer effizienten Nutzung von Herbiziden. Das beinhaltet vor allem das Vermeiden einer beschleunigten Resistenzrevolution. Es lohnt sich also die Dynamik der Entwicklung von Resistenz durch die drei wichtigsten Faktoren, die drei voneinander unabhängige Datensätze ergeben, näher zu betrachten: (A) Die Frequenz vorhandener Resistenzmechanismen (Mechanismen können nicht neu generiert werden, sondern sind mit einer bestimmten Frequenz vorhanden, die lediglich durch Selektion verschoben wird), (B) die betriebspezifischen Daten der Bewirtschaftung, die einen starken Einfluss auf die Zusammensetzung der Unkrautgesellschaften haben und die Wahl der Herbizide bestimmen (die wiederum die Frequenz vorhandener Resistenzmechanismen beeinflussen) und C) Daten über die natürlichen Standortfaktoren, die einen Einfluss auf die Etablierung und Verbreitung einer Art im Naturraum haben.

Eine auf Algorithmen basierende Entscheidungshilfe wird auf alle diese Datensätze zugreifen müssen. Im Unterschied zu den natürlichen Standortfaktoren und den betriebspezifischen Daten sind biologische Datensätze nicht einfach durch Abfrage zu erheben, sondern müssen anhand von Parametern gemessen werden. Die Erfassung der Herbizidwirkung auf eine Ackerfuchsschwanz-Population gelingt bislang am sichersten über den relativ zeit- und arbeitsaufwändigen Biotest. an Nachkommen von Pflanzen im Feld. Dafür müssen zunächst Samen im Feld gesammelt, aufbereitet (die natürliche primäre Dormanz muss überwunden werden) und nach kurzer Lagerung im Gewächshaus ausgesät werden. Es vergehen also 4 Monate bis zu einem Ergebnis. Das Ergebnis ist ein Resistenz-Profil, also ein Muster aus Reaktionen gegen

einzelne Herbizide. Was das Reaktionsprofil unentbehrlich macht ist, dass er einen komplexen Sachverhalt unabhängig von vorhandenen Resistenzmechanismen erfasst. Jede andere Methode entfernt sich von der Phänologie und hat dadurch den Nachteil, dass sie nie alle Resistenzphänomene erfassen kann. Die Analyse einer erhöhten Abbaurate eines Wirkstoffes sagt nichts über die mögliche Veränderung am Target aus und umgekehrt sagt der Nachweis eines veränderten Targets nichts über eine mögliche erhöhte Metabolisierung aus. Beim Biotest im Gewächshaus stellt sich die Frage der verfügbaren Kapazitäten und welche bzw. wie viele Analysen gebraucht werden um wichtige Aussagen zu treffen. Wie kann bei steigendem Beratungsbedarf und steigendem Bedarf an Daten eine endlich vorhandene Analysekapazität bestmöglich genutzt werden? Es müssen also Wege gefunden werden den Durchsatz zu erhöhen ohne den Informationsgehalt zu gefährden und die Arbeitsintensität und Kosten zu senken. Dabei sind aus unserer Sicht zwei Aspekte zu berücksichtigen.

1. Die stetig wachsenden wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Resistenzmechanismen und ihre Ausprägung helfen die Arbeitsintensität und Datenredundanz zu reduzieren.
2. ein Paradigmenwechsel in der molekulargenetischen Diagnostik von wirkortspezifischer Resistenz (TSR, Target-Site Resistance) mit Hilfe neuer Methoden, die als NGS (Next-Generation Sequencing) zusammengefasst werden.

Reduktion von Arbeitsintensität und Datenredundanz - Beispiel: Der Wirkstoff Cycloxydim des Targets ACCase bei Ackerfuchsschwanz und Windhalm

Am Beispiel der DIMs lässt sich zeigen, wie wissenschaftliche Erkenntnisse über die Resistenzmechanismen und ihre Ausprägung, helfen kann die Arbeitsintensität und Datenredundanz zu reduzieren. Das Wissen über alle vorkommenden Resistenzmechanismen in einer Pflanzenart und die Zusammenhänge mit der Phänologie ist ein ganz wichtiger Baustein, ohne den eine Modellierung von Herbizidresistenz nicht effektiv ist. Die Anzahl der verschiedenen vorkommenden Mechanismen in einer Pflanzenart ist artspezifisch und damit ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie auftreten werden, in gewissen Grenzen berechenbar. Für die folgenden Erläuterungen soll der Gemeine Windhalm (*Apera spica-venti* L.) als Beispiel dienen. Bis heute ist eine TSR des ACCase-Proteins durch Substitution von Ile an der Stelle 1781 durch Leu als Resistenzmechanismus nicht beschrieben. Daher kann auf eine Prüfung von schwach metabolisierbaren Herbiziden wie Cycloxydim und Clethodim im Biotest verzichtet werden. Eine SNP-Analyse (SNP=Single Nucleotide Polymorphism) kann den Ausschluss der Wirkortresistenz gegen ACCase-Inhibitoren bestätigen. Eine TSR des ACCase-Proteins durch eine Ile1781Leu-Substitution bewirkt bei Ackerfuchsschwanz die höchste den Autoren bekannte Resistenzausprägung gegen den Wirkstoff Cycloxydim und damit ACCase-Inhibitoren mit einem Resistenz-Faktor (RF) von ca. 136 (WAGNER et al., 2014). RF-Werte sind eine Größe, die dem Praktiker sagt wie stark sich eine Resistenz ausprägen kann. Dies heißt, dass für eine vergleichbare Kontrolle wäre etwa die 136-fache Feldaufwandmenge notwendig. Alle Ackerfuchsschwanz-Pflanzen in unseren Untersuchungen, die nach Behandlung mit der Feldaufwandmenge des Wirkstoffs Cycloxydim resistent waren, zeigten oft eine Ile1781Leu-Substitution, die entweder homozygot oder heterozygot ausgeprägt war. Der Ausschluss von Ile1781 in resistenten Pflanzen (die Variante kommt in sensitiven oder metabolisch resistenten Pflanzen vor) lässt mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit den Schluss zu, dass eine NTSR in Cycloxydim-resistenten Pflanzen nicht die Resistenzursache sein kann. Neben der häufigsten Substitution Leu1781 selektieren Feldaufwandmengen von Cycloxydim (i.d.R. 250 g/ha) die Substitution Gly2078, während andere Substitutionen der TSR des ACCase-Gens sensitiv auf Feldaufwandmengen von Cycloxydim reagieren (DELYE, 2005). Eine genetische Analyse von Pflanzen kann also gezielt zur Vorhersage der Wirksamkeit von Cycloxydim bei Ackerfuchsschwanz (und bei Windhalm) eingesetzt werden und eine arbeits- und zeitaufwändige Prüfung von Pflanzen kann hier entfallen. Der Zusammenhang kann auch umgekehrt nützlich sein: Die phänotypische Resistenz gegen Cycloxydim im Biotest muss nicht mehr

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
genetisch untersucht werden. Es ist sehr wahrscheinlich, dass eine TSR vorliegt. Die Ableitung kann somit helfen die Arbeitsintensität und die Daten-Redundanz zu vermindern.

Reduktion von Arbeitsintensität und Datenredundanz - Beispiel: Resistenz-Cluster

Alle erwähnten Faktoren wie die Frequenz vorhandener Resistenzmechanismen, betriebliche Muster der Herbizid-Nutzung und der Einfluss natürlicher Standortfaktoren, wirken sich zusammen auf die Resistenzausprägung aus. So divers die Resistenzen an den Standorten auch sind, können sie doch je nach Gewichtung der Faktoren durch Clustering in Bezug gesetzt und verglichen werden um sich wiederholende Muster zu identifizieren. In Abb. 1 ist ein Cluster für Ackerfuchsschwanz verschiedener Betriebe für drei Herbizide mit ACCase-Inhibitoren dargestellt: Focus Ultra® (100 g/l Cycloxydim), Agil-S® (100 g/l Propaquizafop) und Axial 50® (50 g/l Pinoxaden). Während Resistenzen gegen Cycloxydim – wie im Kapitel oben erwähnt – nicht auf eine NTSR beruhen, ist dies bei den Wirkstoffen Propaquizafop und Pinoxaden möglich. Somit kann Resistenz gegen Cycloxydim nur durch einen Mechanismus (TSR) und gegen Propaquizafop und Pinoxaden aber durch zwei Mechanismen (TSR und/oder NTSR) bewirkt werden. In Abb. 1 wurden die Frequenzen vorhandener Resistenzmechanismen von 124 Betrieben gewichtet. Standort und Betriebsform wurden nicht berücksichtigt. Die Betriebe sind nach zunehmender Wirkortresistenz sortiert (von links nach rechts: Standorte mit überwiegender NTSR und zunehmender TSR). Während bei Pflanzen mit NTSR in einer Ackerpopulation zunächst die Wirksamkeit von Pinoxaden betroffen ist, nimmt bei zunehmender Überlappung von NTSR mit einer TSR die Wirkung von Propaquizafop und Cycloxydim ab.

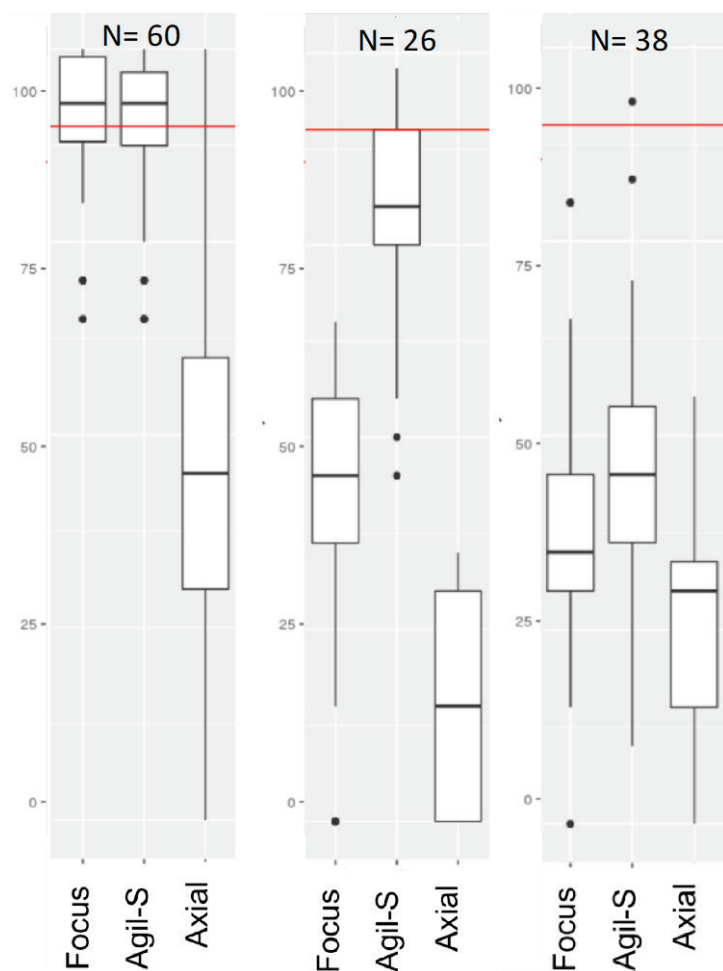


Abbildung 1 Ergebnis eines Clusterings von Ackerfuchsschwanz von 124 Betrieben. Die Betriebe wurden sortiert nach Vorkommen von NTSR mit zunehmenden Anteil von TSR. Dargestellt ist die Wirkungsbonitur im Gewächshaus. Schwächstes Glied in diesem Clustering ist das Pinoxaden im Getreide-Herbizid Axial®, gefolgt von Propaquizafop (Agil-S®). Am stärksten wirkt ein Cycloxydim (Focus Ultra®) an Standorten mit überwiegend NTSR (ganz links) und verliert an Wirkung bei zunehmender TSR (Mitte und rechts).

Figure 1 Results of clustering the black-grass samples from 124 farms. The farms were sorted according to occurrence of NTSR with an increasing proportion of TSR in the plants. The values are based on visual ratings in greenhouse. The weakest herbicide in this clustering was the cereal herbicide a.i. Pinoxaden (Axial®), followed by Propaquizafop (Agil-S®). Focus Ultra® (Cycloxydim) was the strongest herbicide to control black-grass from sites with predominantly metabolic resistance and loses its effect with increasing TSR (middle and right).

Die beiden Wirkstoffe Pinoxaden und Cycloxydim lassen sich als Marker für die beiden Extreme nutzen (NTSR vs. TSR). So lassen sich Fälle mit unterschiedlichen Anteilen einer NTSR und TSR korrelieren. Sobald auch die genetischen Zusammenhänge der NTSR vollkommen entschlüsselt sind können Resistenzmuster auf der Basis weniger Marker-Herbizide und der Quantifizierung von TSR (siehe folgendes Kapitel) eingesetzt werden um die Wirkung von Herbiziden und die Folgen der Herbizid-Wahl zu modellieren.

Reduktion von Datenredundanz und Kosten - Beispiel: Paradigmenwechsel in der SNP-Analyse: Von der Einzelpflanzen-Analyse zu den Pool-Sequencing-Technologien

Die SNP-Analysen (SNP= Single Nucleotide Polymorphism, Variation einer einzelnen Basen-Positionen im Gen, die für die TSR verantwortlich sind) leisten einen elementaren Anteil zum Verständnis der Resistenzen. SNP-Analysen taugen bislang nur für die Diagnose von TSR. Zahlreiche Methoden sind dafür verfügbar. Labormethoden wie die PASA (PCR Amplification of Specific Alleles, DELYE et al., 2002) oder die dCAPS

(KAUNDUN & WINDASS, 2005) gehören zu den Standard-Werkzeugen zum Nachweis der Wirkortresistenz in den Unkrautwissenschaften. Beide gehören zu den nicht-sequenzierenden Methoden. Nicht-sequenzierende SNP-Analysen liefern binäre Informationen und können lediglich zwischen zwei Zuständen unterscheiden (z.B. nicht-mutiert und mutiert). Das hat für das Daten-Management Vorteile, weil die Datensätze sehr vereinfacht sind. Im Kontrast dazu steht die klassische DNA-Sequenzierung (Sanger-Sequenzierung). Hier werden Sequenz-Daten generiert, die dann gesichtet werden um die SNPs zu identifizieren. Sequenzdaten erhöhen den Aufwand, aber haben den Vorteil, dass neue Varianten in unbekanntem Material entdeckt werden können. Die SNPs und ihre Umgebung sind in einer Sequenz eingebettet. Bei Änderungen oder beim Auftreten neuer Varianten lassen sich diese direkt aus den Sequenzdaten herauslesen. Das ist mit den nicht-sequenzierenden SNP-Analysen nicht möglich.

Egal ob nicht-sequenzierend oder sequenzierend: In beiden Fällen entspricht jede Probe i.d.R. einem Individuum. Der Aufwand steigt mit der Anzahl Proben pro Biotyp. Daher stellt sich die Frage immer wieder, wie viele Proben analysiert werden sollen, um zu einer aussagekräftigen Diagnose zu kommen. Dies hängt auch davon ab, ob es sich um Proben direkt aus dem Feld oder aus Gewächshausversuchen handelt.

Ein Paradigmenwechsel in der SNP-Analyse wird aktuell durch die Methode des Pool-Sequencings herbeigeführt. Grundlage sind die nanotechnologiegetriebenen Next Generation Sequencing Technologien wie Illumina® oder Oxford Nanopore®. Sie haben – wie auch die zahlreichen weiteren Methoden auf dem Markt – die Grundlagenforschung revolutioniert. Gemein ist Ihnen, dass sie von Nanotechnologien getrieben und die parallele Sequenzierung von einigen hunderttausend bis mehrere Millionen DNA-Fragmenten ermöglichen. Diese neuen Technologien finden derzeit Eingang in die Herbologie und werden die Erforschung der NTSR (MAROLI et al., 2018) und die TSR-Analytik revolutionieren (DELYE et al., 2020). Dabei werden deutlich mehr Daten (und ergo auch mehr Wissen) über SNPs in Pflanzen-Arten und -Populationen generiert, als mit bisherigen Mitteln möglich ist. Es werden viele Analysen einzelner Individuen in einfachen Datensätzen zusammengefasst und so Aussagekraft und Durchsatz der SNP-Analysen dramatisch erhöht. Zwei Arbeitsgruppen beschäftigen sich mit dem Aufbau einer Plattform zur Identifizierung von Herbizidresistenz in Unkräutern: C. DÉLYE vom INRA in Dijon (Nationales Institut für Agronomieforschung) und U. Lutz am Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie in Tübingen (mündliche Kommunikation Dr. U. LUTZ). DELYE et al. (2020) verwendeten die Illumina® Technologie für die parallele Sequenzierung des ALS-Gens in mehreren Biotypen der Art *Senecio vulgaris* und *Ambrosia artemisiifolia*. Von jedem Biotyp wurden bis zu 50 Pflanzen gemeinsam aufgearbeitet und analysiert. Das Ergebnis der SNP-Analyse ist eine Frequenz aller vorkommenden SNPs auf Basis der 50 Individuen. Die Analysendurchsätze sind so effizient, dass mit knapp 200 DNA-Extraktionen und 1700 PCRs rund 10.000 individuelle Pflanzen analysiert werden konnten. Würde man klassisch vorgehen und wie bisher SNP-Analysen betreiben so müssten auf 10.000 DNA-Extraktionen mindestens 10.000 PCRs und mindestens ebenso viele DNA-Sequenzierungen oder SNP-Analysen folgen, was Kosten, Kapazitäten und Zeitschiene sprengen würde. Hochdurchsatz statt Einzelpflanze - dieser Paradigmenwechsel ermöglicht nicht nur eine Reduktion der Kosten pro Datenpunkt, sondern liefert auch einen deutlich höheren Stichprobenumfang. So lassen sich repräsentative Daten mit deutlich geringerem Aufwand erheben und das Wissen um die Ausbreitung von Resistenzmechanismen präzisieren. Unberücksichtigt sind hier die wissenschaftlichen Erkenntnisse der NTSR, die sich in Zukunft in vergleichbaren Plattformen mit der SNP-Analytik der TSR vereinen lässt. Die Selektion von Resistenzmechanismen durch die einzelnen Wirkstoffe lässt sich so besser verstehen (Jeder Mechanismus wird unterschiedlich stark in Abhängigkeit von Wirkstoff und Biotyp selektiert). Dieses Wissen kann in Entscheidungsmodellen berücksichtigt werden.

Wie kann ein von Algorithmen gestütztes Herbizidmanagement der Zukunft aussehen?

Es ist eine logische Konsequenz der digitalen Transformation, dass Daten systematisch erhoben und vernetzt werden. Algorithmen werden zukünftig Landwirte/Landwirtinnen stärker bei ihrer Planung ihrer Herbizidmaßnahmen unterstützen. In einer elektronischen Ackerschlagkartei könnten in Zukunft auch biologische Daten z.B. über das Vorkommen schwierig zu kontrollierender Arten und Ergebnisse einer Resistenzprüfung hinterlegt werden. Diese werden dann mit zunehmenden Wissen stärker Berücksichtigung bei der Auswahl der Herbizide finden. Wenn Landwirte/Landwirtinnen dann den Erfolg und den Misserfolg von Maßnahmen dokumentieren und es anonymisiert zu einer Vernetzung der Ackerschlagkarteien zwischen den Betrieben käme, dann kann künstliche Intelligenz helfen zu verstehen ob und warum sich die Frequenzen von Resistenzmechanismen in Abhängigkeit von Biologie, Standort und Betriebsaktivität verschieben und welche Maßnahmen erfolgreich eine Zunahme und Ausbreitung verhindern. So könnten gerade Betriebe, die bislang von einer ausgeprägten Resistenzsituation verschont geblieben sind, profitieren.

Literatur

- DELYE, C., A. MATEJICEK, J. GASQUEZ, 2002: PCR-based detection of resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) and ryegrass (*Lolium rigidum* Gaud.). *Pest Manag Sci.* **58**, 474–478.
- DELYE, C., 2005: Weed resistance to acetyl coenzyme A carboxylase inhibitors: an update. *Weed Sci.* **53**, 728–746.
- DELYE, C., S. MICHEL, F. PERNIN, V. GAUTIER, M. GISLARD, C. PONCETB, V. LE CORREA, 2020: Harnessing the power of next-generation sequencing technologies to the purpose of high-throughput pesticide resistance diagnosis. *Pest Manag Sci.* Feb; **76**(2), 543–552.
- FRANCO-ORTEGA, S., A. GOLDBERG-CAVALLERI, A. WALKER, M. BRAZIER-HICKS, N. ONKOKESUNG, R. EDWARDS. 2021: Non-target Site Herbicide Resistance Is Conferred by Two Distinct Mechanisms in Black-Grass (*Alopecurus myosuroides*). *Plant Metabolism and Chemodiversity*, **12**.
- GAINES, T.A, S.O. DUKE, S. MORRAN, C.A.G. RIGON, P.J. TRANEL, A. KÜPPER, F.E. DAYAN, 2020: Mechanisms of evolved herbicide resistance. *J Biol Chem.* **24**; 295(30):10307–10330.
- KAUNDUN, S.S., J.D. WINDASS, 2005: Derived cleaved amplified polymorphic sequence, a simple method to detect a key point mutation conferring acetyl CoA carboxylase inhibitor herbicide resistance in grass weeds. *Weed Research* **46**, 34–39.
- KNIERIM, A., A. THOMAS; S. SCHMITT, 2017: Agrarberatung im Wandel. In: B&B Agrar **4-2017**, S. 27–32.
- MAROLI, A., T.A. GAINES, M.E. FOLEY, S.O. DUKE, M. DOĞRAMACI, J.V. ANDERSON, D.P. HORVATH, W.S. CHAO, N. THARAYIL, 2018: Omics in Weed Science: A Perspective from Genomics, Transcriptomics, and Metabolomics Approaches. *Weed Science* **6**, 681–695.
- WAGNER, J., J. HEISRATH, J. JUISTER, T. OMMEN, A. GÜNNIGMANN, 2014: Senkung des Selektionsdruck von Herbiziden – Möglichkeiten und Grenzen eines Managements von Acker - Fuchsschwanz mit Clethodim in Raps bei Vorkommen des Haplotyps Leu1781. Tagungsbeitrag zur 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und –bekämpfung, 11.-13. März 2014, Braunschweig. Julius-Kühn-Archiv **443**, 261–267. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.5073/JKA.2014.443.032](https://doi.org/10.5073/JKA.2014.443.032).

Herbicide resistance prediction: a mechanistic model vs a random forest model

Vorhersage der Herbizidresistenz: ein mechanistisches Modell vs. ein Random Forest-Modell

Janin Lepke¹, Johannes Herrmann², Roland Beffa³, Otto Richter^{1*}

¹Technische Universität Braunschweig, Institut für Geoökologie, Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig, Germany

²Agris42 GmbH, Arnold-Cahn-Weg 7, 70374 Stuttgart, Germany

³Königsteiner Weg 4, 65385 Liederbach, Germany

*o.richter@tu-bs.de

DOI: 10.5073/20220124-063152

Abstract

Herbicide Resistance is a major issue in weed control. Prediction tools can help to detect herbicide resistance development in early stages and enable farmers to take countermeasures. These tools can be simulation models combining population dynamics and genetics or AI methods like random forest. To evaluate and train prediction models the data base used is important. Models using population dynamics and genetics depend on a numerous number of plant physiological traits such as seed dormancy, germination probability or seed production, and knowledge about the genetical inheritance (how many genes are involved). Furthermore, the initial conditions like the distribution of the seedbank or proportion of resistant plants in the population are important. To train an AI based prediction tool a large data set of field history data together with the resistance status of the fields is needed. We show that a random forest model trained with an artificial data set generated by a mechanistic model (HERRMANN, 2000) is able to make predictions of the resistance status for real data sets with acceptable accuracies. Simulated model data are therefore equivalent to field data and can be used to investigate the effect of sampling schemes on the detection of resistance.

Keywords: ALS inhibitor, classification, herbicide resistance prediction, population dynamic, random forest

Zusammenfassung

Herbizidresistenz ist ein aktuelles Problem der Unkrautbekämpfung. Prognosetools können helfen, die Entwicklung von Herbizidresistenzen in frühen Stadien zu erkennen und Landwirte in die Lage zu versetzen, Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Diese Prognose-Werkzeuge können Simulationsmodelle sein, die Populationsdynamik und -genetik kombinieren, oder KI-Methoden wie Random Forest-Modelle, die Populationsdynamik und -genetik verwenden. Prognose-Modelle benötigen eine Vielzahl von pflanzenphysiologischen Merkmalen wie Samenruhe, Keimungswahrscheinlichkeit oder Samenproduktion und Kenntnisse über die genetische Vererbung. Weiterhin sind die Ausgangsbedingungen wie die Verteilung der Samenbank oder der Anteil resistenter Pflanzen in der Population relevant. Um ein KI-basiertes Vorhersagetool zu trainieren, wird ein großer Datensatz mit Feldverlaufsdaten zusammen mit dem Resistenzstatus der Felder benötigt. Wir zeigen, dass ein Random-Forest-Modell, das mit einem durch ein Simulationsmodell erzeugten künstlichen Datensatz trainiert wurde, in der Lage ist, Vorhersagen für einen realen Datensatz mit akzeptabler Genauigkeit zu treffen. Simulierte Modelldaten sind daher äquivalent zu Felddaten und können verwendet werden, um den Einfluss von Probenahmeschemata auf den Nachweis von Resistenzen zu untersuchen.

Stichwörter: ALS-Hemmer, Klassifikation, mechanistisches Modell, Populationsdynamik, Random Forest, Vorhersage von Herbizidresistenz

Introduction

The assessment of the resistance status of a field is prone to large uncertainties dependent on both the density of resistant plants and the sampling procedure. Having both a mechanistic population dynamic model (HERRMANN, 2016) and a random forest model trained by field data at our disposal (LEPKE et al., 2020), it was tempting to establish relations between both types of models. The first question was: can a random forest tool trained by model data give reliable predictions of the resistance status observed in the field? The mechanistic model had to be endowed with additional stochastic features such as the emergence of seedlings and the process of establishing the resistance status. Once the practicability of model data as suitable training set is established, data of the mechanistic model can be used to assess the influence of sampling schemes on the accuracy of resistance prediction.

Materials and Methods

Data

Field history information over a period of 6 years was obtained from farm management records. The data comprise field histories and the resistance status of *Alopecurus myosuroides* of 98 fields from the Hohenlohe area in Germany and 131 from the Champagne area in France. They are described in detail in the foregoing Proceedings (LEPKE et al., 2020). Predictor variables comprise in particular crop species rotation, number of crops used, seeding date, soil cultivation like ploughing or shallow tillage, and herbicide applications. In total, there are 20 predictors as described in Table 1 in LEPKE et al. (2020). From these data, an input vector for the random forest procedure was generated by allocating scores.

Model

The model simulates the population dynamics and genetics of *A. myosuroides* with target site resistance against three herbicides. The model structure and the parameterization was taken from the PhD thesis of HERRMANN (2016). It is assumed that resistance is conferred by one specific locus for each herbicide. The weed population is composed of 6 cohorts representing different seasonal phases. The general model structure is shown in Fig. 1. Population dynamic parameters depend on the crop, soil cultivation, and herbicide use, for details cf. HERRMANN (2016).

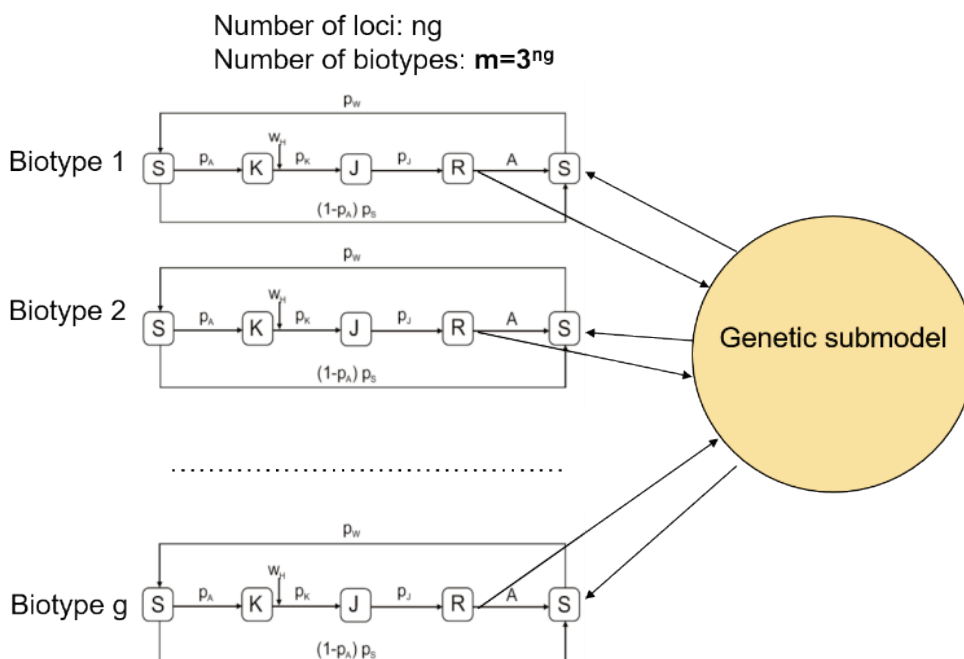


Figure 1 General model structure. Biotypes are coupled via a genetic sub model. This scheme is applied to each cohort. Cohorts are coupled via the seed bank. Notations: S: seedbank, K: seedling, J: young plant, R: mature plant, p_i : transition probabilities.

Abbildung 1 Allgemeine Modellstruktur. Biotypen werden über ein genetisches Submodell gekoppelt. Dieses Schema wird auf jede Kohorte angewendet. Kohorten werden über die Samenbank gekoppelt. Notationen: S: Samenbank, K: Keimling, J: junge Pflanze, R: reife Pflanze, p_i : Übergangswahrscheinlichkeiten.

Assessment of the resistance status is a two-stage process consisting of i) taking seed plant samples in the field and ii) performing bioassays with the seeds grown in a greenhouse. This stochastic process was implemented into the model. Further stochastic elements are the emergence of seedlings and the efficacy of herbicide spraying. The model input is a vector of field management in accordance to real farm management records comprising herbicides, crops, soil cultivation and others (Table 1 in LEPKE et al., 2020). The simulations yield artificial weed data including the distribution of genes of herbicide resistance for several succeeding years.

For the classification problem the random forest method (BREIMAN, 2001) was used. In all analyses, the data were split into training data (75%) and test data (25%). To test which predictor variables have a significant impact on the response, importance measures such as the Gini index and the mean decrease accuracy were analysed.

Data generated with the simulation model are used to analyse the detection of resistance depending on the sampling scheme comprising the number of plants harvested randomly in the field and the number of plants analysed in the greenhouse.

Results

Example of a model run

Figure 2 shows an example of a model run for the most unfavourable management scheme: no crop rotation in combination with application of ALS inhibitors each year. In addition to the time courses of biotype and seedbank densities and others the model shows the time course of the result of resistance assessment (0 sensitive, 1 resistant) assuming that a test is performed each year.

Figure 2 underlines the effect of the sampling scheme on the classification. Although resistant plants are evolving, they remain undetected when 10 plants from the field and 8 plants in laboratory are taken. Augmenting the number of plants in the lab gives a positive result. Note that this is a random result serving as an illustration.

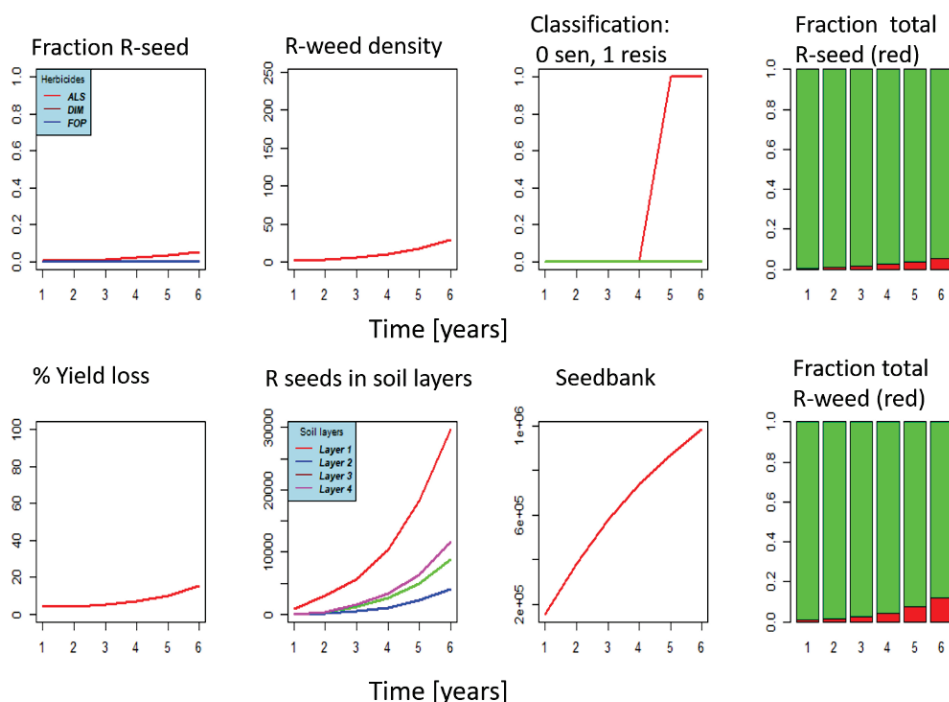


Figure 2 Model run for a simple management: no crop rotation, application of ALS inhibitors each year. The 3rd figure in the upper row demonstrates the effect of sampling on the detection of resistance. Green curve: 10 plants from the field, 8 plants in laboratory (no detection). Red curve: with 10 plants in laboratory resistance is detected.

Abbildung 2 Modelllauf für ein einfaches Management: keine Fruchtfolge, jährliche Anwendung von ALS-Hemmern. Die 3. Abbildung oben rechts zeigt den Einfluss der Stichprobennahme auf den Nachweis der Resistenz. Grüne Kurve: 10 Pflanzen vom Feld, 8 Pflanzen im Labor (kein Nachweis). Rote Kurve: Bei 10 Pflanzen im Labor wird Resistenz nachgewiesen.

Model data as training set

Datasets were generated by the model for a variety of management schemes reflecting the information from the field catalogues. These data were used as a training set for the random forest classifier and applied to the common German-French data. It turned out, that classifications based on model training sets gave similar results as training sets from real data concerning accuracy and other measures (LEPKE et al., 2020). Figure 3 shows the performance criteria accuracy, AUC, type I errors and type II errors obtained from 50 repeated Random Forest runs. Mean accuracies range between 75 and 85%. Type II errors are lower than type I errors, i.e. false positive classifications are more frequent. This was also found, if predictions were made on the basis of field data. A possible explanation is that the misclassified sensitive field has features similar to the features of resistant fields, but resistance has not developed yet significantly or was not detected in the plant samples.

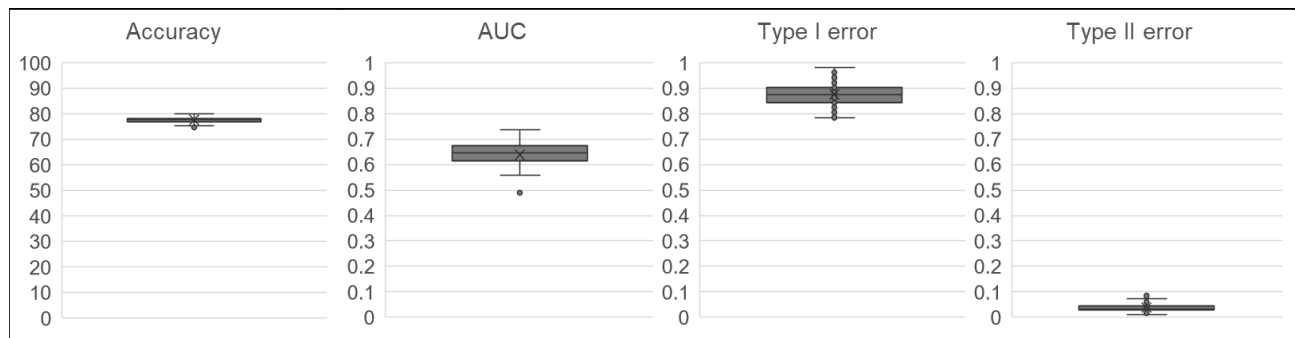


Figure 3 Performance criteria with model data as training set and the combined German-French data as test data obtained from 50 Random Forest runs.

Abbildung 3 Gütekriterien für die Restenzvorhersage aus 50 Random-Forest-Läufen mit modellbasierten Trainingsdaten und den kombinierten deutsch-französischen Felddaten als Testdaten.

Effect of sampling on resistance detection

In a first step, model data were generated based on the management information of the field management records. Resistance status of each field is known via the simulation. In a second step, the resistance status was assessed taking into account the two stage stochastic process of taking plant samples in the field and establishing the resistance status of seedling samples in the greenhouse. A field was classified as resistant, if at least two weed plants out of 8 grown from seeds of 10 plant samples from the field were resistant. In a second step, simulations were carried out to obtain sample fields with a large variation of resistance. To each of these fields the sampling procedure with varying number of field samples and greenhouse plants was applied. The results of these simulations (Fig. 4) show the influence of the sampling on the detection of resistance. It is interesting to note that the number of plants in the greenhouse have a larger impact on the rate of correct classifications than the number of plants sampled in the field. The Figure further shows, that for most combinations a saturation effect occurs, i.e. the number of correct classifications does not increase significantly once a resistance degree of 25% is surpassed. For small greenhouse samples (lower curves) a threshold can be seen: below 20-25% there is a high chance of false negative classifications.

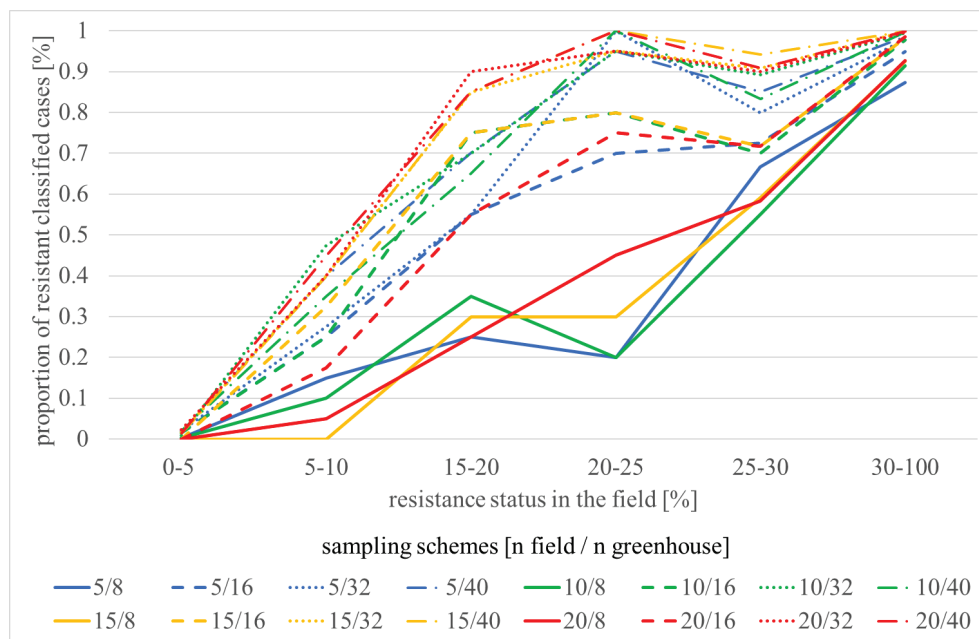


Figure 4 Influence of sampling in the field and in the greenhouse on the classification of fields at different degrees of resistance (abscissa). The pairs of numbers indicate the number of samples taken in the field (1. number) and the number of seedlings tested in the greenhouse (2. number). The curves are based on a large number of simulation runs.

Abbildung 4 Einfluss der Probenahme im Feld und im Gewächshaus auf die Einstufung von Feldern bei unterschiedlichen Resistenzgraden (Abszisse). Die Zahlenpaare geben die Anzahl der im Feld entnommenen Proben (1. Zahl) und die Anzahl der im Gewächshaus getesteten Setzlinge (2. Zahl) an. Die Kurven basieren auf einer Vielzahl von Simulationsläufen.

Conclusions

Two major conclusions can be drawn from our work

- Mechanistic population dynamics and genetics models based on human experience, knowledge, and intuition are well comparable with AI classification models solely based on data. Simulated model data can therefore be used as training sets.
- Simulations show that the detection of resistance depends in a non-linear way on the degree of resistance of a field. Below 10%, there is a high chance of false negative classifications. The rate of correct classifications is most sensitive to the number of seedlings tested in the greenhouse.

References

- BREIMAN, L., 2001: Random Forests. *Machine Learning* **45**(1), 5–32.
- 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.
- LEPKE, J., R. BEFFA, O. RICHTER, J. HERRMANN, 2020: Transferability of a random forest model for resistance prediction between different regions in Europe. *Julius-Kühn-Archiv* **464**, 490-497.

Glyphosatresistenz bei Mäuseschwengel (*Vulpia myuros*)

*Glyphosate resistance of Rat's-tail Fescue (*Vulpia myuros*)*

Bernd Augustin*, Matthias Kunkemöller

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

*baugustin@t-online.de

DOI: 10.5073/20220124-063452

Zusammenfassung

Im Jahr 2018 wurde im Rahmen der jährlichen Untersuchung von Verdachtsproben auf Herbizidresistenz eine Mäuseschwengel-Probe (*Vulpia myuros*) in einem Weinbaubetrieb in Rheinhessen gesammelt. Die Population war dort als zunehmend schwer bekämpfbar mit Glyphosat-haltigen Herbiziden aufgefallen. Erste Untersuchungen mit einer sensitiven Vergleichspopulation zeigten deutliche Sensitivitätsunterschiede gegenüber Glyphosat. Nicht geklärt werden konnte, ob diese natürlichen Ursprungs waren oder durch die langjährige Anwendung von Glyphosat (Selektion) entstanden sind (AUGUSTIN & GEHRING, 2020). Ein zusätzlicher Biotest im Jahr 2021 mit zwei zusätzlichen sensitiven Vergleichspopulationen verdeutlicht, dass es sich um eine Resistenzentwicklung handelte. Im Gegensatz zu der Verdachtspopulation waren alle sensitiven Populationen mit 1800 g/ha Glyphosat ausreichend sicher zu kontrollieren.

Stichwörter: Biotest, Herbizidresistenz

Abstract

In the context of annual resistance surveys, in 2018 several seed samples were taken from fields within Rhineland-Palatinate (Germany) under suspicion of herbicide resistance. One sample of Rat's-tail Fescue (*Vulpia myuros*) was collected from a vineyard in Rhinehessen. This population was reported as progressively hard to control by herbicides. Preliminary investigations showed reduced glyphosate sensitivity in comparison to a sensitive reference population. At that time, it was not possible to find out whether natural variation in glyphosate sensitivity between the different populations or resistance caused the observed effect (AUGUSTIN & GEHRING, 2020). For this a further biotest was carried out reason in 2021 with two additional sensitive populations of Rat's-tail Fescue. 1800 g/ha of glyphosate achieved adequate control of all populations except for the population with suspected resistance.

Keywords: Biotest, herbicide resistance

Einleitung

Die Mäuseschwengel-Verdachtsprobe (*Vulpia myuros* L.) wurde im Jahr 2018 im Rahmen des jährlichen Monitorings von herbizidresistenten Unkrautpopulationen zur Untersuchung am Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum in Bad Kreuznach eingereicht. Erste Biotests zeigten, dass die Glyphosatanwendung bei dieser Population nicht die erwünschte Wirkung erzielte (AUGUSTIN & GEHRING, 2020). Nicht geklärt werden konnte, ob es sich dabei um Resistenz oder generelle Einschränkungen der Wirkungssicherheit von Glyphosat bei *V. myuros* handelte. Im Jahr 2020 wurde daher ein weiterer Biotest mit zusätzlichen sensitiven *Vulpia*-Herkünften durchgeführt, um die Wirkungssicherheit von Glyphosat zu ermitteln.

Material und Methoden

Samen der *Vulpia*-Verdachtsprobe (VU) und von drei kommerziell erworbenen sensitiven Herkünften (S1-S3, Tab. 1) wurden im Winterhalbjahr 2019/20 im Gewächshaus in dreifacher Wiederholung in 9 cm Töpfen in Torfkultursubstrat (Stender E510) ausgesät.

Tabelle 1 Bezugsquellen der sensitiven Herkünfte von *Vulpia myuros*

Table 1 Reference sources of the sensitive *Vulpia myuros* populations

Bezeichnung	Quelle
S1	Appels Wilde Samen, D
S2	Voitsauer Wildblumensamen, AU
S3	WeberSeeds, NL

Nach Kultivierung mit Zusatzbeleuchtung (Hortilux HPA 400, PAR 100-200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) und Temperatursteuerung (20°C/14 Stunden und 10°C/10 Stunden) wurden die verschiedenen Herbizidbehandlungen mit Glyphosat im 2-Blattstadium *V. myuros* durchgeführt (Tab. 2). Die Herbizidapplikation erfolgte mit einer Schachtner Karrenspritze mit einer Wasseraufwandmenge von 200 l/ha (3,6 Km/h; 1,75 bar an der Düse IDK 12002) mit anschließender Rückliterung.

Tabelle 2 Herbizidvarianten des Biotestes

Table 2 Herbicides used in the bioassay

Variante	Herbizid	Wirkstoff (g/l bzw. kg)	Aufwandmenge l bzw. g/ha (l bzw. g/ha a.i.)	HRAC- Gruppe
Kontrolle				
2	Roundup Powerflex	Glyphosat (480)	3,75 (1800)	9
3	Roundup Powerflex	Glyphosat (480)	7,5 (3600)	9
4	Roundup Powerflex	Glyphosat (480)	11,25 (5400)	9
5	Broadway + FHS	Pyroxsulam + Florasulam + Cloquintocet-Mexyl (68,3+22,8+68,3)	275 + 1,0 (18,8+6,3+68,3)	2

Drei und vier Wochen nach der Behandlung wurde eine Wirkungsbonitur durchgeführt. Die Einstufung von Sensitivität bzw. Resistenz erfolgte entsprechend dem in Tabelle 3 aufgeführten Schema modifiziert nach Moss et al. 1999.

Tabelle 3 Einteilung der Resistenzklassen

Table 3 Classification of herbicide resistance

Klasse	Wirkungsgrad (%)
0	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

Ergebnisse

Die *V. myuros*-Verdachtsprobe (VU) zeigte eine hohe Resistenzausprägung gegenüber 1800 g/ha Glyphosat (Tab 4). Die Einstufung in die Resistenzklasse 4 gemäß Moss et al. (1999) unterschied die VU-Population deutlich von den drei mitgeführten sensitiven *V. myuros*-Vergleichsproben, die alle mit dieser Aufwandmenge sicher zu kontrollieren waren. Auch mit 3600 g/ha Glyphosat war bei der Verdachtsprobe noch keine ausreichende Wirkung zu erzielen.

Tabelle 4 Resistenzausprägung bei den getesteten Mäuseschwingelpopulationen

Table 4 Herbicide resistance classification of the tested Rat's-tail Fescue populations

	Wirkstoff (g/ha)			
	Glyphosat			Pyroxsulam + Florasulam
	1800	3600	5400	18,8 + 6,3
VU	4	1	0	0
S1	0	0	0	0
S2	0	0	0	0
S3	0	0	0	0

Im aktuellen Biotest wurde keine der geprüften *Vulpia*-Herkünfte von Pyroxsulam kontrolliert.

Diskussion

Das verwendete, relativ einfache Testsystem auf Herbizidresistenz basiert auf dem Grundsatz der Wiederholbarkeit und hat sich in der Vergangenheit bei anderen Ungrasarten bewährt (AUGUSTIN, 2008; 2010; AUGUSTIN & MENNE, 2014). Die im aktuellen Biotest erzielten Ergebnisse sind vergleichbar mit denen der vorausgegangenen Untersuchungen mit derselben *V. myuros*-Population (AUGUSTIN & GEHRING, 2020) bei denen nur teilweise eine sensitive *V. myuros*-Population mitgeführt werden konnte. In den hier dargestellten Untersuchungen wurden mehrere sensitive Referenz-Populationen integriert, die alle mit 1800 g/ha Glyphosat sicher erfasst wurden. Daher kann ausgeschlossen werden, dass die festgestellten Minderwirkungen der Verdachtspopulation auf populationsbedingten Sensitivitätsunterschieden beruhen. Die Ursache dürfte viel mehr in einer Resistenzentwicklung bei der *V. myuros*-Population VU zu suchen sein. In den Jahren 2010/11 zeichneten sich erste aufkommende Wirkungsprobleme von Glyphosat gegen *V. myuros* auf dem Praxisschlag ab aus dem die Verdachtspopulation stammte. Die Schlaghistorie verdeutlicht den hohen Selektionsdruck dem die Unkrautflora häufig in Dauerkulturen unterliegt (Tab. 5). Zur Klärung des Resistenzmechanismus bedarf es weiterer Untersuchungen.

Sowohl im Ackerbau, als auch in Sonderkulturen ist *V. myuros* (ebenso wie Trespenarten) typischer Bestandteil der Unkrautflora. Er ist mit den selektiven Ungras herbiziden nicht zu kontrollieren. Gegen ACCase-Hemmer ist er weitgehend tolerant. Die ALS-Hemmer wirken je nach Wirkstoff sehr unterschiedlich. Selektivitätsstudien von ACCase- und ALS-Inhibitoren zeigten für *V. bromoides* einen Toleranzmechanismus, der auch bei *V. myuros* vermutet wird. Neuere Untersuchungen ergaben, dass mit Pyroxsulam, Mesosulfuron, Propoxycarbazone und Sulfosulfuron nur gegen frühe Entwicklungsstadien eine eingeschränkte Wirkung zu erwarten ist (AKHTER et al., 2020). Bodenherbizide entwickeln in Abhängigkeit vom Wirkstoff nur im Voraufbau eine akzeptable Wirkung. In Ackerbaukulturen ist daher derzeit nur eine entsprechende Kombination erfolgversprechend (AKHTER et al., 2020). Aufgrund des begrenzten Herbizidspektrums ist die Effektivität von Glyphosat gegen dieses Ungras in Dauerkulturen von besonderem Interesse.

Tabelle 5 Schlaghistorie der geprüften *V. myuros*-Population VU aus Rheinland-Pfalz

Table 5 Field history of the investigated *V. myuros* population collected in Rhineland-Palatinate

Schlaghistorie	
2001	Pflanzung der Rebanlage (Sorte Dornfelder) (2,3 ha)
2003	Einsaat der Fahrwege (permanent): Deutsches Weidelgras (10 %), Rotschwingel, Wiesenrispe
2003 -2010	Durano/Glyfos 3,0-4,0 l (Frühjahr) Durano/Glyfos 3,0-4,0 l + 1,5 l U 46 M Fluid (Spätsommer)
2011	Durano/Glyfos 3,0 l + Katana 200 g (Frühjahr) U 46 M Fluid 1,5 l (Spätsommer)
2012	Durano/Glyfos 3,0 l (Frühjahr) Durano/Glyfos 3,0 l (Sommer) Durano/Glyfos 3,0 l + U 46 M Fluid 1,5 l (Spätsommer)
2013	Durano/Glyfos 3,0 l + Katana 200 g (Frühjahr) U 46 M Fluid 1,5 l (Spätsommer)
2014	Durano/Glyfos 3,0 l (Frühjahr) U 46 M Fluid 1,5 l (Spätsommer)
2015	Durano/Glyfos 3,0 l + Katana 200 g (Frühjahr) U 46 M Fluid 1,5 l (Spätsommer)
2016	Durano/Glyfos 3,0 l (Frühjahr) U 46 M Fluid 1,5 l (Spätsommer)
2017	Durano/Glyfos 3,0 l + Katana 150 g (Frühjahr) U 46 M Fluid 1,5 l (Spätsommer)
2018	Durano/Glyfos 3,0 l (Frühjahr) U 46 M Fluid 1,5 l (Spätsommer)
2019	Durano/Glyfos 3,0 l + Katana 120 g (Frühjahr)
2020	Durano/Glyfos 3,0 l (Frühjahr)
2021	Durano/Glyfos 4,0 l + Katana 150 g (Frühjahr) Roundup REKORD 2,5 kg Durano 5,0 l

Die vorliegenden Ergebnisse belegen eine Resistenzentwicklung bei Mäuseschwingel. Ursache ist der permanente Selektionsdruck verursacht durch langjährig wiederholten Einsatz von Glyphosat. Daher sind insbesondere im Obst- und Weinbau, alternative Verfahren erforderlich, um den Selektionsdruck zu senken und weiteren Resistenzentwicklungen entgegen zu wirken.

Literatur

- AKHTER, M.J., P.K. JENSEN, S.K. MATHIASSEN, B. MELANDER, P. KUDSK, 2020: Biology and Management of *Vulpia myuros* - An Emerging Weed Problem in No-Till Cropping Systems in Europe. *Plants* **9**, 715, DOI: 10.3390/plants9060715.
- AUGUSTIN, B., 2008: Erster Nachweis von Resistenz gegen ACCase-Inhibitoren bei Ackerfuchsschwanz in Rheinland-Pfalz. *Journal of Plant Diseases and Protection* **XXI**, 21-24.
- AUGUSTIN, B., 2010: Windhalm-Herkunft aus Rheinland-Pfalz mit multipler Herbizidresistenz. *Julius-Kühn-Archiv* **428**, 271-272.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- AUGUSTIN, B., H.J. MENNE, 2014: Herbizidresistenz von Flughäferherkünften aus Rheinland-Pfalz. Julius-Kühn-Archiv **443**, 320-323, DOI: 10.5073/jka.2014.443.041
- AUGUSTIN, B., K. GEHRING, 2020: Minderwirkungen von Glyphosat bei Mäuseschwengel (*Vulpia myuros*). Julius-Kühn-Archiv **464**, 367-370, DOI: 10.5073/jka.2020.464.055
- MOOS, S.R., J.H. CLARKE, T.N. CULLEY, M.A. READ, P.J. RYAN, M. TURNER, 1999: The occurrence of herbicide-resistant grass-weeds in the United Kingdom and a new system for designation resistance in screening assays. The 1999 Brighton Conference – Weeds, conference proceedings volume I; The British Crop Protection Council, Farnham, S. 179-184.

Sektion 6: Elektro-Weeding

Session 6: Electro weeding

Alternative Unkrautregulierung in Zuckerrüben – Überprüfung der Effizienz mechanischer und elektrischer Zwischenreihenbehandlung

Alternative weed control in sugar beet - verification of the efficiency of mechanical and electrical inter-row treatment

Manuel Bongard^{1*}, Verena Haberlah-Korr², Maximilian Koch¹

¹Zasso GmbH, Hirzenrott 12, 52076 Aachen

²FH-Südwestfalen, Lübecker Ring 2, 59494 Soest

*Manuel.Bongard@zasso.com

DOI: 10.5073/20220124-063959

Zusammenfassung

In den vergangenen Jahren wurde die Unkrautbekämpfung im Zuckerrübenanbau überwiegend mit chemischen Herbiziden durchgeführt. Die Neubewertung der Wirkstoffe führte zu einer Reduzierung der Wirkstoffe im Zuckerrübenanbau. In Verbindung mit zunehmenden Herbizidresistenzen der Unkräuter ist eine Veränderung des Unkrautmanagements notwendig.

In einem Feldversuch im Jahr 2020 wurde die Wirksamkeit chemischer, mechanischer und elektrischer Unkrautbekämpfungsmethoden verglichen. Die chemische Behandlung wurde als Flächenapplikation und Bandapplikation in Kombination mit mechanischen und elektrischen Verfahren eingesetzt. Das elektrische Verfahren besteht aus einem Frontapplikator und einer Energieversorgungseinheit und behandelt die Unkräuter mit Hochspannung.

Die Ergebnisse des Versuches deuten darauf hin, dass durch Kombinationen der Unkrautbekämpfungsverfahren der Gesamtwirkungsgrad gesteigert werden kann. Die Ergebnisse der elektrischen Unkrautkontrolle zeigen darüber hinaus, dass eine zweimalige Behandlung mit dem Verfahren für einen unkrautfreien Bestand ausreichend ist. Zusätzlich wird der Pflanzenschutzmitteleinsatz durch die kleinere Behandlungsfläche der Bandspritze reduziert. Dies kann in Zukunft den Einsatz von Herbiziden weiterhin ermöglichen. Für die Anwendung des elektrischen Verfahrens ist ein Umdenken in der Wahl des Behandlungszeitpunktes und der Häufigkeit erforderlich.

Stichwörter: Elektrophysikalische Unkrautkontrolle, Herbizide, Nicht-chemische Unkrautkontrolle, Zuckerrübe

Abstract

In the last few years, the weed control in sugar beet cultivation was mainly carried out with herbicides. The re-evaluation of active substances led to a reduction of herbicides in sugar beet cultivation. In conjunction with increasing herbicide resistance in weeds, a change in weed management is necessary.

In a field trial in 2020, the effectiveness of chemical, mechanical and electrical weed control methods was compared. Chemical application was used as an broadcast application and a band application in combination with mechanical and electrical methods. The electrical method consists of a front applicator and a supply unit and treats the weeds with high voltage.

The results of the field test indicate that the combination of weed control methods can increase the efficiency of the weed control. The results of the electric weed control also show that two treatments with the method are sufficient for a weed-free field. In addition, the use of plant protection products is reduced

due to the smaller treatment area of the band spray, which may allow the use of herbicides to continue in the future. The use of the electric method requires a rethink in the choice of treatment timing and frequency.

Keywords: electrophysical weed control, herbicides, non-chemical weed control, sugar beet

Einleitung

Die Zuckerrübe zählt durch ihre hohe Wertschöpfung und die positiven pflanzenbaulichen Eigenschaften zu den wichtigsten Kulturpflanzen in der Agrarwirtschaft. Um die Erträge der Zuckerrübe abzusichern, ist in Folge der langsamen Jugendentwicklung und des späten Bestandesschlusses ein umfangreiches Unkrautmanagement notwendig (LADEWIG et al., 2018). Im konventionellen Zuckerrübenanbau ist die chemische Unkrautkontrolle der wichtigste Baustein, dennoch befindet sich dieses Verfahren seit einigen Jahren in einem starken Wandel. Viele Wirkstoffe verlieren ihre Zulassung auf Grund einer verschärften Bewertung. Beispielsweise wurde dem blattaktiven Wirkstoff Desmedipham im Jahr 2020 die Zulassung entzogen (BVL, 2019). Somit ist ein weiterer Wirkstoff für ein effektives Resistenzmanagement weggefallen. Der Zuckerrübenanbau steht vor der Herausforderung mit reduzierten Möglichkeiten eine effektive Unkrautbekämpfung zu gewährleisten und die Erträge abzusichern.

In dem Versuch wurde die Wirkung von „Chemisch“, „Chemisch-Mechanisch“ und „Chemisch-Elektrisch“ Verfahren auf die Unkrautentwicklung untersucht. Zusätzlich wurde die Auswirkung der Verschiebung des Applikationszeitpunkts des „Chemisch-Elektrisch“ Verfahren auf das Unkrautspektrum untersucht. Die elektrische Unkrautkontrolle wurde dazu im Voraufbau als flächige Behandlung und erstmalig im Nachaufbau zur Zwischenreihenbehandlung in Zuckerrüben im Jahr 2020 eingesetzt (KOCH et al., 2020a). Die elektrische Unkrautkontrolle basiert auf der Abtötung der Unkrautpflanzen mittels Hochspannung von 7000 V. Der Strom wird von den positiven Elektroden in die Unkräuter geleitet. In den Unkräutern fließt der Strom durch die Gefäßbündel bis in die Wurzeln der Pflanzen, über den Boden und wird von der negativen Elektrode wieder aufgenommen. Die Unkräuter werden durch den Strom irreversibel geschädigt (KOCH et al., 2020b).

Material und Methoden

Der Feldversuch zur Überprüfung der Effizienz der mechanischen und elektrischen Zwischenreihenbehandlung wurde im Jahr 2020 auf zwei Standorten in Euskirchen in Nordrhein-Westfalen (NRW) und in Kirschgartshausen in Rheinland-Pfalz angelegt. Im Weiteren werden die Versuchsdaten und Ergebnisse des Standort Euskirchen erläutert. Die Versuchsdaten und Ergebnisse des Standortes Kirschgartshausen werden nicht aufgeführt, da sich der Versuchsaufbau vom Standort Euskirchen differenziert. Das Jahr 2020 war durch eine sehr trockene Witterung im Zeitraum April und Mai geprägt. In diesem Zeitraum konnte lediglich ein Niederschlag von 22 % im Vergleich zum 30-jährigen Mittel festgestellt werden (WETTER KONTOR, 2020).

Am Standort in Euskirchen wurde der Versuch auf einem sandigen Lehm, nach der Zwischenfruchtmischung „Aqua Pro“ im Mulchsaatverfahren angelegt. Der Versuch wurde dazu als randomisierte Blockanlage mit jeweils 3 Wiederholungen in den Ackerschlag integriert. In Saat- und Bearbeitungsrichtung wurden die Parzellen mit einer Größe von 5,4 m x 30 m angelegt. Es wurden in jede Parzelle zwei Boniturfenster mit jeweils einer Größe von 9 m x 0,9 m integriert. Die visuelle Bonitur erfolgte ca. 14 Tage nach jeder Nachaufbaubehandlung (NAK). Dabei wurden die Unkräuter zwischen und in der Reihe gemeinsam gezählt. Vor dem Auflaufen der Zuckerrübe wurde im Voraufbau in den Varianten 4 und 5, das Electroherb™-Verfahren als Flächenapplikation eingesetzt (KOCH et al., 2020b). Die Applikation der chemischen Variante erfolgte zu NAK 1 und NAK 2 mit der Flächenspritze und zu NAK 3 mit einer Unterblattspritze. Mit einer Hacke wurde der Zwischenreihenbereich in der „Chemisch-Mechanisch“ Variante bearbeitet. Für die

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

elektrische Unkrautbekämpfung wurde das Electroherb™-Verfahren (EH) genutzt (Tab. 1). Die mechanische und elektrische Unkrautkontrolle im Zwischenreihenbereich ist in Kombination mit einer Bandspritze im Reihenbereich eingesetzt worden. Das Band wurde mittig über die Reihe mit einer Breite von 25 cm abgelegt. Angewendet wurde die Bandspritzung im absetzigen Verfahren.

Tabelle 1 Versuchsplan für den Versuchsstandort Euskirchen in Zuckerrüben im Jahr 2020

Table 1 Trial plan for the field test in Euskirchen in sugar beet in 2020

Variante	Vorauflauf	NAK 1	NAK 2	NAK 3
	03.04.2020	27.04.2020	13.05.2020	26.05.2020
	BBCH 00	BBCH 14	BBCH 17	BBCH 19
Kontrolle	/	/	/	/
Chemisch	/	Flächenspritzung	Flächenspritzung	Unterblattspritzung
Chemisch - Mechanisch	/	Hacke + Band	Hacke + Band	Hacke + Band
3 x Chemisch-Elektrisch	EH-Fläche* ¹	EH-Reihe* ² + Band	EH-Reihe + Band	EH-Reihe + Band
2 x Chemisch-Elektrisch	EH-Fläche	/	EH-Reihe + Band	EH-Reihe + Band

*¹EH-Fläche = Electroherb™-Flächenbehandlung

*²EH-Reihe = Electroherb™-Zwischenreihenbehandlung

Das Electroherb™-Verfahren zur Zwischenreihenbehandlung setzt sich aus zwei Einheiten, der Energieversorgungseinheit und dem Frontapplikator zusammen (Abb. 1). Der Frontapplikator besteht aus mehreren Sektionen, die Unkräuter im Zwischenreihenbereich behandeln. Die Applikatoren bestehen aus zwei positiven und einer negativen Elektrodenreihe.



Abbildung 1 XPR-Reihenapplikator bestehend aus Frontapplikator und Energieversorgungseinheit der Firma Zasso (Zasso, 2021).

Figure 1 XPR row applicator consisting of front applicator and energy supply unit from Zasso, (Zasso, 2021).

Entsprechend der Leitverunkrautung wurden die Herbizide zur Nachauflaufbehandlung eingesetzt (Tab. 2). Bei den chemischen Herbiziden wurden die Wirkstoffe Metamitron, Quinmerac, Phenmedipham, Desmedipham, Ethofumesat, Trisulfuron und Dimethenamid- P eingesetzt. Die in der Tabelle 2 aufgeführten Herbizidmischungen wurden bei allen chemischen Applikationsverfahren mit den identischen Aufwandmengen ausgebracht.

Tabelle 2 Angewendete Herbizide zu den drei Nachauflaufbehandlungen im Versuch Euskirchen 2020

Table 2 Used herbicides for the three post-emergence treatments, Euskirchen 2020

	Herbizid (l/ha)	Wirkstoff (g ai/ha)
NAK 1	Goltix Titan (1,75)	Metamitron (918,8), Quinmerac (69,8)
	+ Betasana Trio (1,75)	Phenmedipham (131,3), Ethofumesat (201), Desmedipham (26,0)
NAK 2	Betasana 160 SC (1,5)	Phenmedipham (240)
	+ Etho 500 (0,7)	Ethofumesat (350)
	+ Goltix 700 (1,0)	Metamitron (700)
	+ Debut (0,2)	Trisulfuron (9,7)
NAK 3	Metafol (0,55)	Metamitron (383)
	+ Betasana Trio (1,1)	Phenmedipham (82,5), Ethofumesat (126,5), Desmedipham (16,5)
	+ Betasana 160 SC (1,1)	Phenmedipham (176)
	+ Spectrum (0,45)	Dimethenamid-P (324)
	+ Debut (0,2)	Trisulfuron (9,7)

Ergebnisse

Die im Feldversuch aufgetretenen Leitunkräuter bestanden aus Weißem Gänsefuß (*Chenopodium album*, CHEAL), Windenknöterich (*Polygonum convolvulus*, POLCO), Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*, CIRAR) und Einjährigem Bingelkraut (*Mercurialis annua*, MERAN) (Abb. 2). Die Restverunkrautung („Rest“) setzte sich aus dikotylen und monokotylen Pflanzen zusammen. Durch die Frühjahrstrockenheit liefen die Zuckerrüben verzettelt und die Unkräuter unregelmäßig auf. Ab der ersten NAK stieg die Gesamtverunkrautung in der Kontrolle bis 80 Tage nach Aussaat auf 155 Unkräuter pro 10 m² an. Im Versuchsverlauf veränderte sich das Unkrautspektrum und der Weiße Gänsefuß dominierte mit über 70 % das Unkrautspektrum in den Kontroll- und Behandlungspartzen. Durch den starken Zuwachs von CHEAL zu Reihenschluss der Zuckerrübe in der Kontrolle, stieg die Dominanz auf 100 % und die Begleitunkräuter wurden vollständig unterdrückt. Die chemische Variante wies bereits nach der ersten Nachauflaufbehandlung einen erhöhten Unkrautdruck von 15 Unkräutern pro 10 m² im Vergleich zur „Chemisch-Mechanisch“ und „Chemisch-Elektrisch“ Variante auf (Abb. 2). Zur zweiten NAK stieg die Anzahl der Unkräuter weiterhin auf 26 Unkräuter pro 10 m² an. Zur dritten NAK und zur Bonitur der Spätverunkrautung war eine Reduktion des Unkrautauftommens festzustellen.

In der „Chemisch-Mechanisch“ und „Chemisch-Elektrisch“ Variante wurde der Unkrautdruck während des gesamten Versuchszeitraums auf unter 10 Unkräutern pro 10 m² reguliert (Abb. 2).

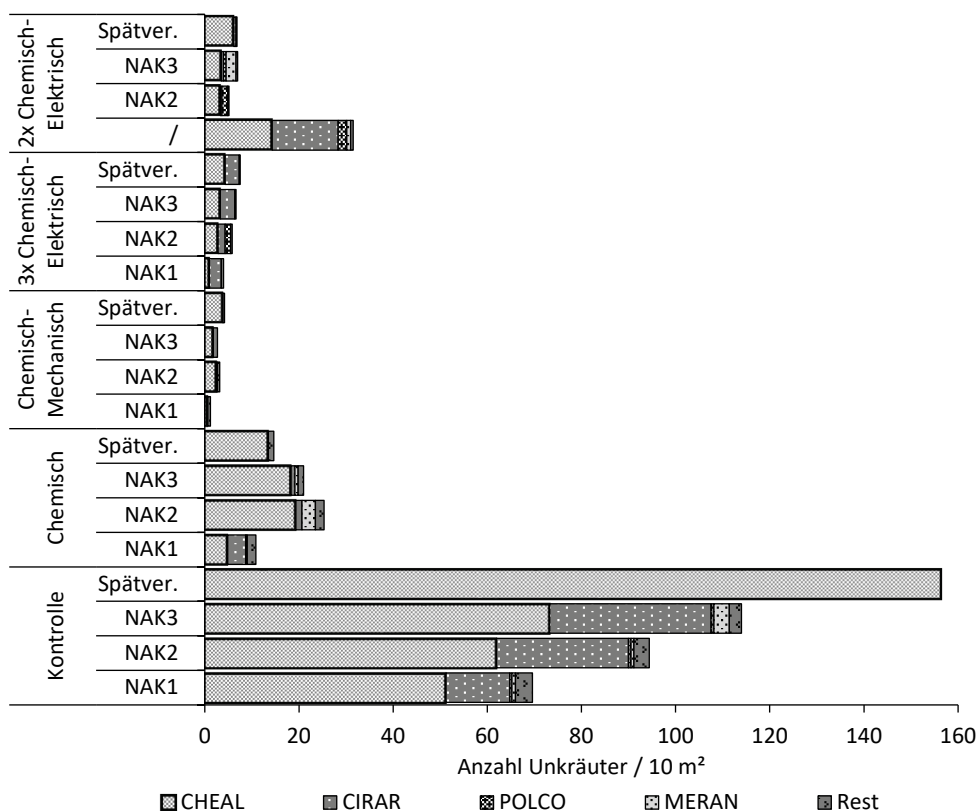


Abbildung 2 Unkrautspektrum (Unkräuter pro 10 m²) der Versuchsvarianten jeweils 10 bis 16 Tage nach einer Nachauflaufbehandlung (NAK) sowie der Spätverunkrautung unmittelbar vor Reihenschluss in Euskirchen im Jahr 2020.

Figure 2 Weed spectrum (weeds per 10 m²) of the different trial variants 10 to 14 days after a post-emergence treatment (NAK) and the late weeds shortly before canopy closure in Euskirchen in 2020.

Die aufgetretene Verunkrautung in den mechanischen und elektrischen Kombinationsvarianten war im Reihensbereich in direkter Nähe der Zuckerrüben festzustellen (Abb. 2). Die Verunkrautung in der „2x Chemisch-Elektrisch“ Variante war durch die ausgelassene erste NAK auf 35 Unkräuter pro 10 m² angestiegen. Mit der ersten Behandlung zur zweiten NAK konnte in der Variante „2x Chemisch-Elektrisch“ die Anzahl der Unkräuter auf 5 Unkräuter pro 10 m² reduziert werden. Die Verunkrautung in der „2x Chemisch-Elektrisch“ Variante stieg nach der zweiten Behandlung leicht an, blieb aber zu NAK 3 und zur Bonitur der Spätverunkrautung unter 10 Unkräutern pro 10 m² (Abb. 2).

Die chemische Variante wies zur NAK 1 mit einem errechneten Wirkungsgrad von 84 % die geringste Unkrautwirkung im Bezug zur Kontrolle auf. Zur zweiten und dritten NAK manifestierte sich der geringe Wirkungsgrad bei unter 82 % (Tab. 3).

Das chemisch-mechanische Kombinationsverfahren wies die geringste Verunkrautung und mit 98 % den höchsten Wirkungsgrad in allen Nachauflaufbehandlungen auf. Die dreimalige „Chemisch-Elektrisch“ Applikation hatte einen konstanten Wirkungsgrad von 94 % und war im Wirkungsgrad mit der zweimaligen „Chemisch-Elektrisch“ Applikation vergleichbar. Sowohl die „Chemisch-Mechanisch“ und die „Chemisch-Elektrisch“ Varianten haben über den gesamten Versuchszeitraum einen konstanten Wirkungsgrad von über 90 % aufgewiesen (Tab. 3).

Tabelle 3 Errechnete Wirkungsgrade in % zur unbehandelten Kontrolle, ($\pm$ Standardabweichung) der Nachauflauf (NAK) - Bekämpfungsverfahren in Euskirchen 2020.

Table 3 Calculated efficiencies in % to the untreated control, ($\pm$ standard deviation) of the post-emergence (NAK) control methods in Euskirchen 2020.

Verfahren	NAK1 (27.04.20) 16 DAT	NAK2 (13.05.20) 9 DAT	NAK3 (26.05.20) 11 DAT
Chemisch	84 $\pm$ 7	73 $\pm$ 17	82 $\pm$ 13
Chemisch-Mechanisch	98 $\pm$ 1	97 $\pm$ 2	98 $\pm$ 1
3x Chemisch-Elektrisch	94 $\pm$ 6	94 $\pm$ 5	94 $\pm$ 5
2x Chemisch-Elektrisch (keine NAK1)	-	95 $\pm$ 2	94 $\pm$ 3

Diskussion

Die geringe Wirkung der chemischen Herbizide zur Flächen- und Bandapplikation ist auf die trockene Witterung im April und Mai 2020 zurückzuführen. Um die vollständige Wirkung der Herbizide zu entfalten, benötigen die Herbizide eine milde, bedeckte Witterung sowie die Bodenwirkstoffe eine feuchte Ackerkrume (WEGENER, 2019). Der schlechte Wirkungsgrad des chemischen Verfahrens auf die Unkräuter zur ersten NAK, konnte durch die beiden nachfolgenden NAK nicht kompensiert werden. In den Varianten, in denen die Kombination aus „Chemisch-Mechanisch“ und „Chemisch-Elektrisch“ Unkrautkontrolle durchgeführte wurde, zeigte sich im Reihensbereich ein erhöhter Unkrautdruck. Grund für den erhöhten Unkrautdruck im Reihensbereich kann sowohl der Spritzschatten durch die Zuckerrübenpflanzen selbst, als auch die verminderte Herbizidwirkung durch die Trockenheit gewesen sein.

Das Electroherb™-Verfahren zeigt, dass das Verfahren einen ausreichenden Wirkungsgrad unter Bedingungen erzielt, in denen Herbizide eine verminderte Wirkung haben. Beim Vergleich der mechanischen und elektrischen Zwischenreihenbehandlung ist festzustellen, dass beide Verfahren einen vergleichbaren Wirkungsgrad erzielen konnten. Dennoch greift das Electroherb™-Verfahren nicht in das Bodengefüge ein, wodurch das Verfahren das Erosionsrisiko vermindert. Des Weiteren werden die im Bodengefüge befindlichen Bodenorganismen durch das Electroherb™-Verfahren nicht beeinträchtigt (ZASSO, 2020). Ergänzend deuten die Ergebnisse des Electroherb™-Verfahren an, dass auch Unkräuter in fortgeschrittenen Entwicklungsstadien bekämpft werden und somit Überfahrten eingespart werden können. Problemunkräuter wie die Ackerkratzdistel, die durch die flache Arbeitstiefe der Hacke nicht ausreichend bekämpft werden, können durch das Electroherb™-Verfahren vollständig bis in die Wurzel geschädigt werden.

Die ausgelassene NAK 1 bei der Variante „2x Chemisch-Elektrisch“ führte dazu, dass die Unkräuter bereits das 6 bis 8 Blattstadium erreicht hatten. Wie die Ergebnisse zeigen, konnte das Electroherb™-Verfahren auch Unkräuter in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium bekämpfen, in denen die Hacke und die Herbizide eine vergleichsweise geringe Wirkung erzielen. Der Versuch am zweiten Standort in Kirschgartshausen wurde durch Herrn Dr. Peter Risser (Südzucker AG) durchgeführt und ist gesondert veröffentlicht worden. In Kirschgartshausen konnte eine vergleichbare Wirkung mit dem Electroherb™-Verfahren als Zwischenreihenbehandlung erzielt werden. Des Weiteren bestätigen die Ergebnisse des zweiten Standortes, dass Problemunkräuter wie der Weiße Gänsefuß und der Windenknöterich sowie Unkräuter in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium effektiv bekämpft werden können (RISSE, 2020).

Der Versuch zeigt, dass durch die Einbindung des Electroherb™-Verfahrens in die Regulierungsstrategie bei identischen bzw. höheren Wirkungsgraden der Pflanzenschutzmitteleinsatz um bis zu 60 % reduziert werden kann. Dies ist besonders von Bedeutung, wenn weitere Wirkstoffe in ihrem Anwendungsbereich eingeschränkt werden.

Literatur

- BVL, 2019: Fachmeldung Pflanzenschutzmittel Widerruf Desmedipham. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Online verfügbar unter https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Fachmeldungen/04_pflanzenschutzmittel/2019/2019_12_04_Fa_Widerruf_Desmedipham.html. zuletzt aktualisiert am 04.12.2019.
- KOCH, M., A. HERMANN, B. ERGAS, P. RISSER, 2020a: Electrical weed control in sugar beet – A comparison of pre-emergence methods, *Julius-Kühn-Archiv* **464**, 438-440.
- KOCH, M., T. THOLEN, P. DRIEBEN, B. ERGAS, 2020b: The Electroherb™ System – A new technique supporting modern weed management, *Julius-Kühn-Archiv* **464**, 261-263.
- LADEWIG, E, C. BUHRE, C. KENTER, N. STOCKFISCH, M. VARELMANN, A.-K. MAHLEIN, 2018: Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau in Deutschland – Situationsanalyse. *Sugar Industrie* **143** Nr. 12.
- RISSER, P., 2020: Unkrautbekämpfung – Chemisch, Mechanisch, Elektrisch, Autonom? Versuchsergebnisse zu Alternativen in der Unkrautbekämpfung 2020, *DZZ Die Zuckerrübenzeitung*. Dezember 2020, 26-27.
- WEGENER, J.K., 2019: Gezielter und flexibler – Trends in der Pflanzenschutztechnik, *Jahrbuch Agrartechnik* **2**.
- WETTER KONTOR, 2020: Wetterarchiv Standort Euskirchen. <https://www.wetterkontor.de/wetter/rueckblick>, zuletzt aktualisiert am 09.01.2020.
- ZASSO, 2020: Newsletter Ecotox. Online verfügbar unter https://zasso.com/paper_ecotox/ zuletzt aktualisiert am 31.08.2020.

Möglichkeiten eines elektrophysikalischen Verfahrens zur Sikkation in Frühkartoffeln und Bekämpfung von ausdauernden Unkräutern

Possibilities of an electrical - physical technology for desiccation of early potatoes and control of perennial weeds

Benjamin Klauk*, Anja Löbmann, Jan Petersen

Technische Hochschule Bingen, Berlinstr. 109, 55411 Bingen a.R.

*b.klauk@th-bingen.de

DOI: 10.5073/20220124-064213

Zusammenfassung

Durch den Wegfall von herbiziden Wirkstoffen wie Deiquat als Sikkationsmittel im Frühkartoffelanbau oder dem potenziell bevorstehenden Wegfall von Glyphosat rücken alternative Verfahren in den Vordergrund. Ein möglicher Ansatz ist die Electroherb™ Technologie der Firma Zasso®, welche auf einem nicht-selektiven, systemischen, elektrischen Fluss durch das Gefäßsystem der Pflanzen beruht, der die Zellstrukturen zerstört. Zur Eignungsprüfung in der Sikkation in Frühkartoffeln und zur Bekämpfung von ausdauernden Unkräutern wurde das Verfahren am Standort Bingen 2020 und 2021 getestet. Neben verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten (1, 3 und 6 km/h) wurden Kombinationen aus chemischen bzw. mechanischen Verfahren mit der Electroherb™ Technologie zur Krautsikkation getestet. Bei den ausdauernden Unkräutern (*Cirsium arvense*, *Elymus repens*, *Rumex obtusifolius*) wurde lediglich die Fahrgeschwindigkeit variiert (1, 3 und 6 km/h). Im Versuchsjahr 2020 wurde in allen behandelten Kartoffel-Varianten ein Absterbegrad von Blatt und Stängel von 100 % nach spätestens 14 Tagen bonitiert. In 2021 wurden in den reinen elektrophysikalischen Varianten Wirkungsgrade von 80 bis 90 % erzielt, was an feuchteren Bedingungen und einem stärkeren Krautwachstum lag. Die perennierenden Unkräuter zeigten eine hohe Wirkung auf den Spross von bis zu 100 %, jedoch trieben alle Arten in 2021 vier Wochen nach der Behandlung wieder aus, in 2020 war dies nur bei *E. repens* der Fall. Neben der Geschwindigkeit scheint die Bodenfeuchte zur Zeit der Applikation die Wirksamkeit zu beeinflussen. Durch die geringere Flächeneffizienz und zusätzliche Anschaffungskosten sind höhere Verfahrenskosten bei der Bewertung zu berücksichtigen. Zur umfänglichen Bewertung des Verfahrens fehlen noch Erkenntnisse –unter verschiedenen Einsatzbedingungen und zu potenziellen Nebenwirkungen.

Stichwörter: Electroherb™ Technologie, elektrophysikalische Vegetationskontrolle, Herbizidersatz, Sikkation

Abstract

The omission of herbicidal active ingredients such as deiquat for desiccation in early potato cultivation or the imminent omission of glyphosate requires other methods to ensure the vegetation control. One possible approach is the Electroherb™ technology of the company Zasso®, which is based on a non-selective, systemic, electrical flow through the vascular system of the plants, which destroys the cell structures. For suitability testing desiccation in early potatoes and for control of perennial weeds, the process was tested at Bingen in 2020 and 2021. In addition to different driving speeds (1, 3 and 6 km/h), combinations of chemical and mechanical methods with the Electroherb™ technology were tested for desiccation of the leaf canopy in early potatoes. To control perennial weeds (*Cirsium arvense*, *Elymus repens*, *Rumex obtusifolius*), only the driving speed was varied (1, 3 and 6 km/h). In the trial year 2020, a 100% degree of leaf and stem dieback was recorded in all treated potato treatments. In 2021, efficacies of 80 to 90% were achieved in the electrophysical-only treatments, which was due to the wet weather conditions and better developed potato leaf canopy. Perennial weeds showed high efficacy rates on the

shoots of up to 100%, but all species recovered four weeks after treatment in 2021. In 2020, only *E. repens* showed resprouting after the treatment. In addition to speed, soil moisture at the time of application seems to influence efficacy. Besides costs of the technology, for a comprehensive evaluation, there is still a lack of knowledge regarding risks for soil flora and fauna and for efficacy under different situations.

Keywords: Electroherb™ Technology, electrophysical weed control, herbicide substitute, siccation

Einleitung

Mehrere Faktoren fördern die Entwicklung alternativer Pflanzenschutzverfahren. Zum einen besteht ein gesellschaftlicher Wunsch nach reduziertem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, welcher sich auch in Verordnungen und Gesetzen widerspiegelt (z.B. EU-Pflanzenschutzrahmenrichtlinie 2009/128/EG). Des Weiteren ist der Wegfall von Wirkstoffen, deren potenzielle Auswirkungen auf die Umwelt als nicht tolerierbar angesehen werden, zu nennen. Dies führt dazu, dass in manchen Kulturen die Vielfalt an Bekämpfungsmöglichkeiten sinkt. Ein Beispiel ist die Sikkation bei Kartoffeln. Bis 2019 war der Einsatz von Deiquat (z.B. Reglone) in vielen konventionellen Kartoffelbetrieben gängige Praxis. Der Wegfall von Deiquat erfordert andere Maßnahmen, um weiterhin termingerecht Ware zu liefern, die die Qualitätsanforderungen erfüllt. Neben Deiquat wird mit Glyphosat ein weiterer Wirkstoff, der in vielen nicht-selektiven Herbiziden enthalten ist, voraussichtlich seine Zulassung verlieren. Mechanische Verfahren und verbliebene Wirkstoffe werden zukünftig vermehrt eingesetzt, wobei nicht immer sichergestellt ist, dass eine vergleichbare Wirkung erzielt werden kann. Ein alternatives Verfahren zu nicht-selektiven Herbiziden stellt die Applikation von Strom dar. In der Vergangenheit wurde ein solcher Ansatz in anderen Kulturen, wie der Schosserrüben-Bekämpfung, bereits verfolgt (DIPROSE et al., 1985). Aufgrund der erhöhten Verfahrenskosten und den daraus sich ergebenden geringen Absatzmöglichkeiten wurde jedoch die Weiterentwicklung solcher Geräte im europäischen Raum eingestellt. Die veränderten Rahmenbedingungen und der stetige Wegfall von Herbiziden dürften das Interesse an einem derartigen Verfahren jedoch steigen lassen. Ein Anbieter eines elektrophysikalischen Verfahrens ist die Firma Zasso mit der Electroherb™ Technologie. Das Wirkungsprinzip beruht auf einem nicht-selektiven und systemischen Stromfluss durch das Gefäßsystem der Pflanze, welcher zu Zellzerstörungen führen soll (KOCH et al., 2020). Zur Eignungsprüfung bei Sikkation von Frühkartoffeln und zur Bekämpfung ausdauernder Unkräuter als Ersatz für nicht-selektive Herbizide wurde dieses Verfahren zweijährig am Standort Bingen in Feldversuchen getestet.

Material und Methoden

Standort

Der Standort Bingen (548 l/m² Jahresniederschlag und 9,9 °C Durchschnittstemperatur) war im Versuchsjahr 2020 im Zeitraum von April bis Juni durch Trockenheit und geringe Niederschlagssummen (April bis Juni: 77 l/m²) geprägt, wohingegen das Jahr 2021 hinsichtlich Niederschlagssummen (April bis Juni: 135 l/m²) konträr verlief. Zur Absicherung des Wasserbedarfs wurden die Kartoffelfelder je nach Niederschlag bewässert. In 2020 wurden die Kartoffeln auf einem Schlag mit sandigem Lehm, 2021 auf lehmigen Sand angebaut. Die ausdauernden Unkräuter wurden auf Schlägen mit Lehm gepflanzt.

Versuchsaufbau und -ablauf

In allen Versuchen kam das XPower-Gerät der Firma Zasso® zum Einsatz mit einer Arbeitsbreite von drei Metern. Die Spannung (8000 Volt) blieb konstant, was einer theoretischen elektrischen Stromleistung von 72 kW entsprach. Angetrieben wurde das Gerät von einem 102 kW leistungsstarken Traktor. Acht verschiedene Varianten wurden bei der Sikkation der Frühkartoffeln miteinander in Wirkung auf Blatt und Stängel verglichen. Dabei wurden im zweiten Versuchsjahr die Varianten nach dem Kenntnisstand des

ersten Jahres adaptiert (Tab. 1). Die 32 Parzellen (acht Varianten mit je vier Wiederholungen), welche 20 m lang und 3 m breit (4 Reihen je 75 cm Reihenabstand) waren, wurden in beiden Jahren auf einer vollrandomisierten Blockanlage verteilt. Die Kartoffeln wurden in beiden Jahren bei Bedarf bewässert (2020: etwa 100 l/m², 2021 etwa 80 l/m²). Düngung und Pflanzenschutz gestalteten sich bis auf die Sikkationsmaßnahmen für alle Varianten gleich (Tab. 2). Herbizide (nicht zur Sikkation), Insektizide und Fungizide wurden mit Lechler-Düsen IDK 120-03 und 300 l/ha Spritzbrühe mit 5 km/h Fahrgeschwindigkeit und 3 bar Druck ausgebracht. Die Herbizide zur Sikkation (Tab. 1) wurden mit einer Parzellenspritze mit 3 m Arbeitsbreite appliziert, welche 400 l/ha Spritzbrühe mit 2,1 bar Druck und einer Geschwindigkeit von 5 km/h aus Airmix 120-05 Düsen ausbrachte. Die ausdauernden Unkräuter (*Cirsium arvense*, *Elymus repens*, *Rumex obtusifolius* und *Equisetum arvense*) wurden in beiden Jahren auf die Versuchsflächen im Herbst des Vorjahres gepflanzt. Dabei wurden in 18 m langen und 3 m breiten Parzellen (verteilt auf randomisierter Spaltanlage) an vier Stellen für jede Arte die jeweiligen vegetativen Vermehrungsorgane eingegraben. Bis auf *Equisetum arvense* waren in beiden Jahren alle Arten zum Zeitpunkt der Applikation vorhanden, die zu diesem Zeitpunkt kurz vor der Blüte waren (*R. obtusifolius* schon in der Abreife, daher keine Wirksamkeitsbonitur). In beiden Jahren wurde in vierfacher Wiederholung eine 1 km/h und 3 km/h Variante, im Versuchsjahr 2021 noch zusätzlich eine 6 km/h Variante verglichen. Die Behandlungstermine entsprechen denen der Kartoffelversuche (Tab. 2).

Datenerhebung und statistische Auswertung

In den Sikkationsversuchen wurde der Absterbegrad (in %) des Blattapparates und der Stängel visuell geschätzt. Dabei wurde die Bonitur 1, 4, 8 und 14 Tage nach der Stromapplikation durchgeführt. Der Wirkungsgrad bei den ausdauernden Unkräutern wurde vier Wochen nach der Behandlung artspezifisch erfasst, indem der Anteil an nekrotisiertem Gewebe vier Wochen nach der Behandlung geschätzt wurde. Zudem wurde der Wiederaustrieb erfasst. Die Daten wurden nach Prüfung der Voraussetzungen (Normalverteilung: Shapiro-Wilk-Test, Varianzhomogenität: Levene-Test) varianzanalytisch ausgewertet. Um genauere Aussagen bezüglich der Signifikanzen treffen zu können, wurde bei Unterschreitung des P-Wertes in der Varianzanalyse ein post-hoc Test nach Tukey durchgeführt ($\alpha = 5\%$). Die Wirkungsdaten aus den Kartoffelversuch 2021 erfüllten nicht die Voraussetzungen zur Varianzanalyse, sodass ein Kruskal-Wallis-Test mit anschließendem Nemenyi-Test ($\alpha = 5\%$) durchgeführt wurde.

Tabbelle 1 Varianten zur Krautsikkation bei Frühkartoffeln in den Versuchsjahren 2020 und 2021 am Standort Bingen

Table 1 Treatments for desiccation of early potatoes in trial year 2020 and 2021 on trial site Bingen

VG	Versuchsjahr 2020	Versuchsjahr 2021
1	Kontrolle	Kontrolle
2	XPower 1 km/h	Krautschlägeln plus XPower 6 km/h
3	XPower 6 km/h	XPower 6 km/h
4	XPower 3 km/h	XPower 3 km/h
5	XPower 3 km/h plus 1,0 l/ha Shark® (60 g/l Carfentrazone)	XPower 6 km/h plus 1,0 l/ha Shark® (60 g/l Carfentrazone)
6	XPower 3 km/h plus zusätzliche Bewässerung vor Überfahrt	XPower 3 km/h ohne zusätzliche Bewässerung vor Überfahrt
7	XPower 3 km/h mit zusätzlicher N-Düngung (plus 50 kg/ha N)	XPower 3 km/h mit zusätzlicher N-Düngung (plus 50 kg/ha N)
8	0,8 l/ha Quickdown® (24,2 g/l Pyraflufen) + 2,0 l/ha Toil® und 1,0 l/ha Shark® (60 g/l Carfentrazone)	0,8 l/ha Quickdown® (24,2 g/l Pyraflufen) + 2,0 l/ha Toil® und 1,0 l/ha Shark® (60 g/l Carfentrazone)

Tabelle 2 Pflanztermin, N-Düngung, Rodungs- und Sikkationstermine in den Versuchsjahren 2020 und 2021

Table 2 Planting date, N-fertilisation, harvest and desiccation dates in the trial years 2020 and 2021

	Versuchsjahr 2020	Versuchsjahr 2021
Pflanztermin	20.02.2020 (Sorte: Annabelle) Abdeckung Vlies	25.02.2021 (Sorte: Musica) Abdeckung Vlies
N-Düngung	110 kg N mit stabilisiertem Harnstoff	120 kg N mit stabilisiertem Harnstoff
Sikkationstermine	17.06.2020 Quickdown® + Toil® in VG 5 und 8 24.06.2020 elektrophysikalisch 25.06.2020 Shark® in VG 8	30.06.2021 Quickdown® + Toil® in VG 5 und 8 08.07.2021 Zasso® 08.07.2021 Shark® in VG 8
Rodungstermin	09.07.2020	22.07.2021

Tabelle 3 Anteil an nekrotisiertem Gewebe [%] vier Wochen nach der Behandlung der Arten *Cirsium arvense*, *Elymus repens*, und *Rumex obtusifolius* in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit von XPower® in den Versuchsjahren 2020 und 2021 am Standort Bingen (n.s.= nicht signifikant)

Table 3 Proportion of necrotised tissue [%] after four weeks of application of the species *Cirsium arvense*, *Elymus repens* and *Rumex obtusifolius* depending on the velocity of XPower® in the trial years 2020 and 2021 at the Bingen site (n.s.= not significant)

Versuchsjahr 2020						
Variante	<i>Cirsium arvense</i>	Wieder-austrieb	<i>Elymus repens</i>	Wieder-austrieb	<i>Rumex obtusifolius</i>	Wieder-austrieb
1 km/h XPower®	100 ^{n.s.}	Nein	100 ^{n.s.}	Ja	-	Ja
3 km/h XPower®	100 ^{n.s.}	Nein	97,5 ^{n.s.}	Ja	-	Ja
Versuchsjahr 2021						
Variante	<i>Cirsium arvense</i>	Wieder-austrieb	<i>Elymus repens</i>	Wieder-austrieb	<i>Rumex obtusifolius</i>	Wieder-austrieb
1 km/h XPower®	87 ^{n.s.}	Ja	93 ^{n.s.}	Ja	-	Ja
3 km/h XPower®	87,5 ^{n.s.}	Ja	75 ^{n.s.}	Ja	-	Ja
6 km/h XPower®	85 ^{n.s.}	Ja	72,5 ^{n.s.}	Ja	-	Ja

Ergebnisse

Der Absterbegrad beim Blatt im Kartoffelversuch unterlag im Vergleich zwischen den Jahren einem Unterschied in der Absterbegeschwindigkeit (Abb. 1). Im Versuchsjahr 2020 konnten bereits einen Tag nach der XPower® Überfahrt Wirkungsgrade von bis zu 50 % (Ausnahme chemische Variante) bonitiert werden.

Die Wirkungsgrade der XPower®-Varianten unterschieden sich signifikant untereinander in beiden Jahren zu den ersten Bonituren, zu den Endbonituren glichen sich die Werte jedoch an. In 2021 wurde in nicht allen XPower®-Varianten ein hundertprozentiger Absterbegrad im Blatt erreicht. Der Absterbegrad beim Stängel verhielt sich ähnlich zum Absterbegrad beim Blatt (Abb. 2). Im Versuchsjahr 2020 war nach spätestens 14 Tagen ein 100-prozentiger Absterbegrad erreicht, was in 2021 nur in den XPower®-Kombinationsvarianten (plus Shark® oder Krautschlägeln) erreicht wurde. Jedoch waren die Unterschiede nicht signifikant.

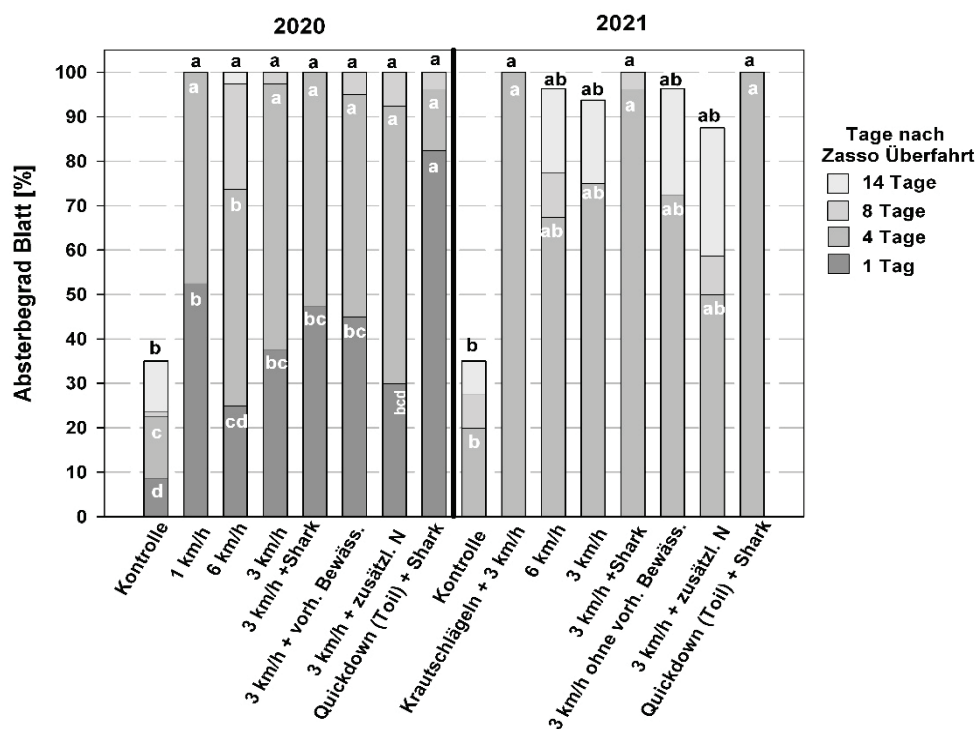


Abbildung 1 Absterbegrad Blatt (Kartoffeln) [%] in Abhängigkeit von der Variante und dem Versuchsjahr jeweils 1, 4, 8 und 14 Tage nach der XPower®-Überfahrt (2020: 24.06.20, 2021, 08.07.21) am Standort Bingen, (unterschiedliche Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten im Absterbegrad zum jeweiligen Boniturtermin, 2020: TukeyHSD-Test mit $\alpha=5\%$, 2021: Nemenyi-Test mit $\alpha=5\%$).

Figure 1 Degree of leaf dieback (potatoes) [%] as a dependence of the variant and the trial year, in each case 1, 4, 8 and 14 days after the XPower® crossing (2020: 24.06.20, 2021, 08.07.21) at the Bingen site, (different letters: Representation of significant differences between the treatments in the degree of dieback on the respective assessment date, 2020: TukeyHSD test with $\alpha=5\%$, 2021: Nemenyi test with $\alpha=5\%$).

Der artspezifische Anteil an nekrotisiertem Gewebe unterschied sich zwischen den verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten in keinem der Versuchsjahre signifikant (Tab. 3). In beiden Jahren wurden bei den Arten *E. repens* und *R. obtusifolius* ein Wiederaustrieb nach 4 Wochen festgestellt, bei *C. arvense* hingegen nur im Jahr 2021. Der bonitierte Anteil an nekrotisiertem Gewebe lag bei *C. arvense* meist höher als bei *E. repens*.

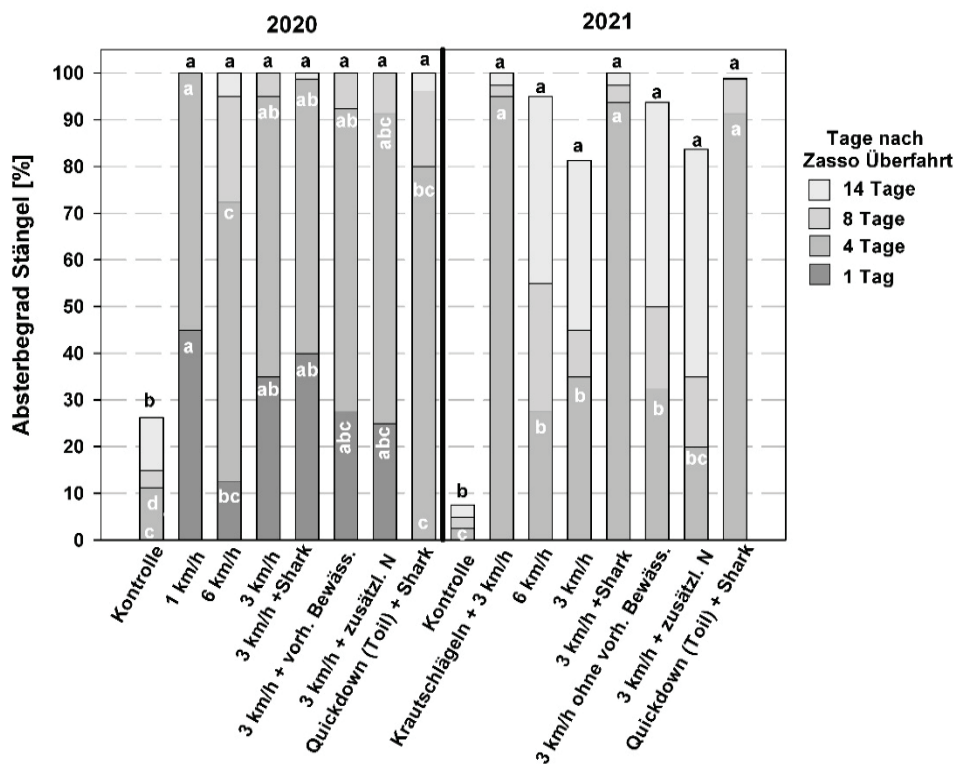


Abbildung 2 Absterbegrad Stängel [(Kartoffeln) %] in Abhängigkeit von der Variante und dem Versuchsjahr jeweils 1, 4, 8 und 14 Tage nach der XPower®-Überfahrt (2020: 24.06.20, 2021, 08.07.21) am Standort Bingen, (unterschiedliche Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten im Absterbegrad zum jeweiligen Boniturtermin, 2020: TukeyHSD-Test mit $\alpha=5\%$, 2021: Nemenyi-Test mit $\alpha=5\%$)

Figure 2 Degree of stem dieback (potatoes) [%] as a dependence of the variant and the trial year, in each case 1, 4, 8 and 14 days after the XPower® crossing (2020: 24.06.20, 2021, 08.07.21) at the Bingen site, (different letters: Representation of significant differences between the treatments in the degree of dieback on the respective assessment date, 2020: TukeyHSD test with $\alpha=5\%$, 2021: Nemenyi test with $\alpha=5\%$).

Diskussion

Sowohl die Kartoffel- als auch die Unkrautversuche machten Unterschiede zwischen den Jahren deutlich. Im durch Trockenheit geprägten Versuchsjahr 2020 wurden in beiden Versuchen höhere Wirkungsgrade erzielt als im darauffolgenden Jahr. Unter trockenen Bedingungen scheint der letale Effekt auf Pflanzen größer zu sein. Deutlich wird dies auch durch den Nicht-Wiederaustrieb von *C. arvense* in 2020. Der Strom erreichte auch die tieferen Bereiche der Wurzel. Erklärt wird dies durch die geringe Ableitung des Stroms in den Boden bei trockenen Bedingungen (Koch et al., 2020). Anders als bei *C. arvense* konnte auch die Trockenheit den Wiederaustrieb in 2020 nicht verhindern. Ein Punkt ist sicherlich die geringere Blattfläche von *E. repens* und damit auch geringer Kontaktfläche mit den Elektroden, sodass auch weniger Strom aufgenommen werden kann. Frühere Versuche zur elektrophysikalischen Kontrolle von *E. repens* zeigten ebenfalls keine ausreichende und nachhaltige Wirkung (Bauer et al., 2020). Als Schlussfolgerung müsste prinzipiell bei Gräsern eine niedrigere Fahrgeschwindigkeit gewählt werden, um die geringere Kontaktfläche mit einer erhöhten Kontaktdauer zu kompensieren, jedoch war auch bei 1 km/h ein Wiederaustrieb festzustellen, sodass diese Möglichkeit der Reduktion erschöpft erscheint. Zur Gesamtbewertung eines solchen Verfahrens müssen bei Sikkationsmaßnahmen auch die Auswirkungen auf die Ernteprodukte betrachtet werden. Im Versuchsjahr 2020 lag der Anteil an Nabelendnekrosen und Gefäßbündelverbräunungen bei den Kartoffeln deutlich höher als in 2021 (Daten nicht gezeigt), was auf den Einfluss der Bodenfeuchte und der Fahrgeschwindigkeit auf den Anteil geschädigter Knollen

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online zurückzuführen ist. Durch Erhöhung der Bodenfeuchte und/oder der Fahrgeschwindigkeit konnte der Anteil an geschädigten Knollen signifikant reduziert werden. Es bestehen also Möglichkeiten, das Verfahren an die jährlichen und standortspezifischen Gegebenheiten anzupassen. Bei einem direkten Vergleich der herkömmlichen Herbizidapplikation und einem elektrophysikalischen Verfahren wird auch die geringere Flächenleistung deutlich. Diese geringere Flächenleistung, die zusätzlichen Anschaffungskosten sowie der Mehrverbrauch an fossilen Energieträger sind Punkte, die ein solches Verfahren deutlich verteuern, was schon bei früheren Ansätzen zur elektrophysikalischen Vegetationskontrolle angemerkt wurde (DIPROSE & BENSON, 1984). Letztlich wird sich ein solches Verfahren nur in den Kulturen durchsetzen können, in denen die bisherigen Verfahren aufgrund von Verboten nicht mehr möglich und die Risiken auf Bodenflora und -fauna abwägbar sind.

Literatur

- BAUER, M.V., C. MARX, F.V. BAUER, D.M. FLURY, T. RIPKEN, B. STREIT, 2020: Thermal weed control technologies for conservation agriculture – a review. *Weed Research* **60**, 241-250.
- DIPROSE, M.F., F.A. BENSON, 1984: Electrical methods of killing plants. *Journal of Agricultural Engineering Research* **30**, 197-209.
- 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.
- KOCH, M., T. THOLEN, P. DRIEBEN, B. ERGAS, 2020: The Electroherb™ Technology - A new technique supporting modern weed management. *Julius-Kühn-Archiv* **464**, 261-263.

Could electricity be an alternative method of weed control in the vineyard?

Kann Strom eine alternative Methode in der Unkrautregulierung im Weinberg sein?

Carina P. Lang^{1*}, Oliver Kurz¹, Anja Löbmann¹, Benjamin Klauk², Jan Petersen², Matthias Petgen^{1,3*}

¹Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz, Institute for Viticulture and Oenology, 67435 Neustadt

²Technische Hochschule Bingen, Faculty of Life Sciences and Engineering, Department of Agronomy and Plant Protection, 55411 Bingen am Rhein

³Ministry of Economics Affairs, Transport, Agriculture and Viticulture Rhineland Palatinate (MWVLW), 55116 Mainz

*carina.lang@dlr.rlp.de; Matthias.Petgen@mwvlw.rlp.de

DOI: 10.5073/20220124-064536

Abstract

Environmentally friendly and resource-saving cultivation, sustainability and regionality are important aspects of today's agriculture. Reducing the use of herbicides is considered one of the most important goals and at the same time one of the biggest challenges in today's agriculture. In viticulture, however, the alternative management options are also under discussion.

The aim of this study is to analyze and test the *Electroherb* method developed by the company ZASSO GmbH. In three-year field experiments, vegetation monitoring and digital image analysis will be used to investigate the degree of coverage before and after treatment, as well as the effectiveness of the process on various problem weeds. Special attention will be paid to the vegetation in the under-floor area of the vine. In addition to the current intensity and driving speed, the number of treatment sessions will be investigated. Preliminary results show that the morphology of the weeds plays a decisive role in the efficiency. Weather and water supply are also important influencing factors.

Keywords: *Elektroherb*-method, grapevine, vegetation monitoring, viticulture, weeds

Zusammenfassung

Eine umweltfreundliche und ressourcenschonende Bewirtschaftung der Flächen, Nachhaltigkeit und Regionalität sind wichtige Aspekte der heutigen Landwirtschaft. Die Verringerung des Herbizideinsatzes gilt als eines der wichtigsten Ziele und ist gleichzeitig einer der größten Herausforderungen in der heutigen Landwirtschaft. Im Weinbau stehen jedoch auch die alternativen Bewirtschaftungsmöglichkeiten unter Diskussion.

Ziel dieser Studie ist, das von der Firma ZASSO GmbH entwickelte *Electroherb*-Verfahren zu analysieren und zu testen. In dreijährigen Feldversuchen sollen mittels Vegetationsmonitoring und digitaler Bildanalyse der Deckungsgrad vor und nach der Behandlung, sowie der Wirkungsgrad des Verfahrens auf verschiedene Problemunkräuter untersucht werden. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Vegetation im Unterstockbereich der Weinrebe. Neben Stromstärke und Fahrgeschwindigkeiten werden vor allem die Anzahl der Behandlungstermine untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Morphologie der Beikräuter eine entscheidende Rolle in der Wirkung der Technik übernimmt. Auch sind Wetter und Wasserversorgung wichtige Einflussfaktoren.

Stichwörter: Beikraut, *Electroherb*-Verfahren, Vegetationsmonitoring, Weinbau, Weinreben

Introduction

Society's demand for regional, sustainably and safely produced food is constantly increasing. Likewise, the associated demand for more environmental, nature and resource protection are one of the most important

goals of today's agriculture. At the same time, however, farmers and winegrowers are increasingly coming up against the limits of mechanical and chemical weed control. The public debate surrounding the non-selective herbicide glyphosate and its impact on consumer protection and the environment is of great importance. In December 2022, including a transition period, the approval of this active ingredient expires (BMEL, 2021). The increasing herbicide resistance of weeds in general also plays a major role. This problem almost doubled in the last 20 years (HEAP, 2021). The National Action Plan for the Sustainable Use of Pesticides (NAP), adopted in 2013, envisages a significant reduction in pesticides in the coming years (BMEL, 2013).

The alternatives to chemical weed control are mostly based on mechanical methods. In viticulture, these would be e.g., roller hoe, disc plough, shallow coulter. However, there are also some disadvantages in cultivation. Especially the winegrowers feel these effects clearly. In addition to injuries to the vines and material wear, the limited use on slopes and steep slopes is a clear problem. The associated problems for the soil (erosion, leaching and loss of soil fertility) also have a negative impact on yield and wine quality (SCHWAB & KÖRNIGER, 2016). Furthermore, this promotes additional mobilization of nitrogen and thus increases leaching into groundwater. Appropriate measures and cultivation alternatives are necessary to solve these problems. However, the development and advancement of new or existing technologies should also be on focus. Electrophysical methods for weed control are not new; initial experiments were conducted as early as the 1890s (VIGNEAULT & BENOIT, 2001). Since 1970, this method has been used for soil disinfection and germination inhibition of weed seeds (SAHIN & YALINKILIC, 2017). The advantages are considered that this method does not leave chemical residues and reduces soil erosion. The disadvantages are considered to be the high costs, which can only be compensated by the size of the treated area (VIGNEAULT & BENOIT, 2001). However, there are few studies and outdated literature on this topic, which refer to completely different theories and applications in practice (reviewed in DIPROSE & BENSON, 1984; SAHIN & YALINKILIC, 2017). Moreover, any literature is available dealing with weed control in viticulture and in particular with the under-floor area of vines. The Zasso Company has taken up this technology and developed a patented method for weed control using electricity. The system was launched in Europe in 2016 (KOCH et al., 2020) and is currently undergoing scientific testing. The system will be tested in terms of environmental impact, as well as the impact on soil fauna and flora in different agricultural systems and crops. In this study, we investigated whether Zasso's *Electroherb* technology could be a potential alternative to chemical and mechanical weed control in vineyards. In a three-year field experiment, different variants are tested in the under-floor area of the vine. The variants differ in (a) their travel speed (slow 2 kmh⁻¹ and vineyard-typical 4 kmh⁻¹), (b) their current intensity (expressed in high-voltage units), and (c) the number of treatments.

Material und Methods

Mode of action of the Electroherb-technology by ZASSO GmbH

The weed growth is destroyed by means of electricity. Electrodes under high voltage brush over the vegetation, through this contact the current can penetrate into the leaves of the plant, reaches the root and flows back to the device. The conductive pathways and thus the supply lines for water and nutrients as well as membrane-dependent metabolic processes are destroyed by high temperatures. The result is a non-selective wilting of the weed.

Plant growth conditions and experimental design

The field experiments will take place on three experimental plots (VS 1, VS 2 and VS 3) with different management practices (conventional / organic viticulture) over three years (2020-2022). The vineyard

experimental design is a completely randomized block design, with a total of 20 blocks; these are divided into five treatments with four biological replicates each.

The treatments differ in driving speed (slow 2 kmh⁻¹ / viticultural 4 kmh⁻¹), treatment dates (1st & 3rd dates / 3rd dates) as well as current intensity (number of high voltage units) (Tab. 1). As a control, the usual tillage for weed control is used; VS 1- herbicide (glyphosate), VS 2 - mechanical (disc plough), VS 3 - mechanic (disc plough and roller hoe).

Due to the very dry conditions in the experimental year 2020 and the resulting low weed pressure, only two treatment dates (1st and 3rd date) were necessary on the experimental plots VS 1 and VS 2. The treatments took place between April and July 2020. On VS 3, due to high weed pressure, an additional treatment (2nd date in June) was conducted.

Table 1 Detailed overview of the experimental variants at all three experimental pots VS1, VS2, VS3

Tabelle 1 Detaillierte Übersicht der Versuchsvarianten an den Standorten VS1, VS2, VS3

Treatment	Speed [kmh-1]	Number of treatments	Current [kW]
ZASSO 1	2	3	18
ZASSO 2	4	3	18
ZASSO 3	4	2	18
ZASSO 4	4	2	24
Control (mechanical / chemical)			

Vegetation monitoring

The vegetation monitoring was carried out according to the BRAUN-BLANQUET method (BRAUN-BLANQUET, 1964; TREMP, 2005). For this purpose, a metal frame of defined size (40 x 40 cm) was placed between two previously marked vines and a photo was taken. Then, the abundance as well as the dominance of each species present was determined. Evaluations were conducted one week before treatment, at time T0, and one week after treatment, at time T1.

Digital image analysis

Digital image analysis of the existing vegetation was performed at all three experimental sites. For this purpose, the same images with estimation frames were used as for the Braun-Blanquet vegetation monitoring. The digital image analysis was done in two steps; first the image was cropped to the appropriate size using the freeware graphics software GIMP (GIMP 2.10, The GIMP Team, USA) and oversaturated to a value of "3" for better contrast. The resolution was set to 310 dpi. As a second step, this new image file was analyzed using WinDIAS software (WinDIAS 3.3, Delta T Services, UK). Based on the number of pixels, the software analyzes the green component, the yellow and brown component, and the grey and black components of the image. Thus, based on the two measurement times (T0 and T1), the percentage change in active biomass / weed (green fraction), litter content (yellow and brown fraction), and soil (grey and black fraction) can be analyzed and the coverage can be calculated. Furthermore, the efficiency of each experimental variant was calculated at the time T0 and T1 on each treatment date (Fig. 1).

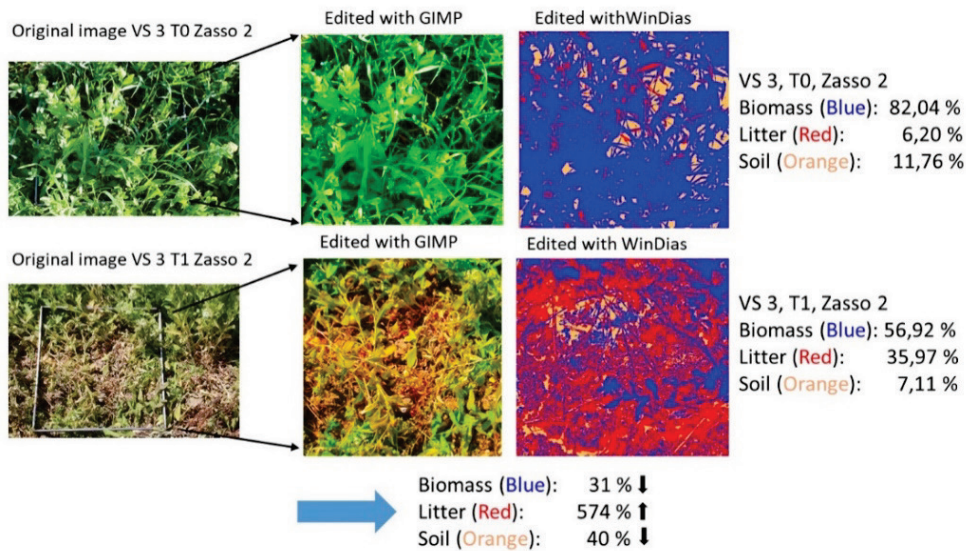


Figure 1 Digital image analysis using GIMP and WinDias on the example of VS 3, Zasso 2a (vineyard-typical driving speed (4 kmh^{-1}), 3 dates, 6 high voltage units, a= biological repetition) at the time T0 (top) and T1 (bottom). To the right are the percentages of the respective study factor (biomass, litter and soil).

Abbildung 1 Digitale Bildanalyse mittels GIMP und WinDias am Beispiel des Versuchsstandorts 3, Versuchsvariante Zasso 2a (weinbautypische Fahrgeschwindigkeit (4 kmh^{-1}), 3 Termine, 6 Hochspannungseinheiten, a= biologische Wiederholung) zu den Zeitpunkten T0 (oben) und T1 (unten). Rechts daneben sind die Prozentanteile des jeweiligen Untersuchungsfaktors (Biomasse, Streu und Boden).

Results and Discussion

First results of the vegetation monitoring show that the number of weed species decreases with increasing treatment frequency. This can be seen at all three experimental plots (Fig. 2). Furthermore, the treatment success increases with increasing treatment frequency. However, the efficacy of the different methods varies considerably (Tab. 2).

Generally, the first signs of wilting are visible after about 10 minutes, with a complete effect occurring in the following eight to 14 days, according to Zasso.

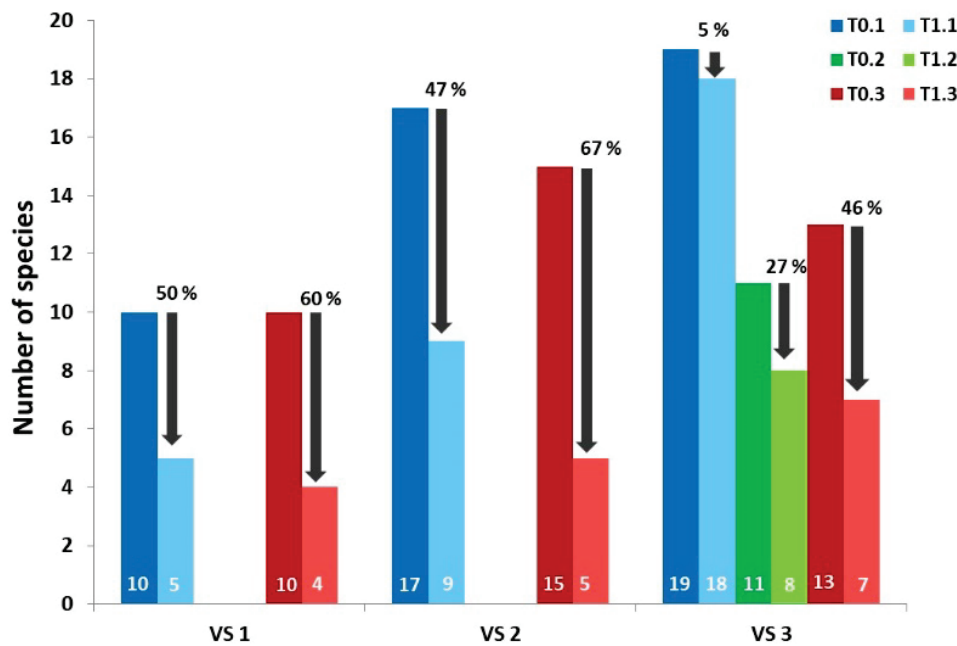


Figure 2: Change in species number at experimental plots VS1, VS2, and VS3 on all three treatment dates at the time T0 and T1, arrows show the percent change, (n=16).

Abbildung 2 Veränderung der Artenzahl an den Versuchsstandorten VS1, VS2 und VS3 an allen drei Behandlungsterminen zu den Zeitpunkten T0 und T1, Pfeile zeigen die prozentuale Veränderung, (n=16).

Vegetation monitoring further suggests that some weed species are easier to control with electricity than other species. The species that stand out as "problem weeds" are white goosefoot (*Chenopodium album*), couch grass (*Elymus repens*) and bindweed (*Convolvulus arvensis*) (Data not shown). Surprisingly, these species are difficult to control even with the operational options of chemical and mechanical weed control. One explanation for the difference in success between species could be the morphology and root anatomy of the plants. Fleshy roots or taproots that carry a lot of water and serve as a storage organ are a potential conductor of electricity. The size of the plant is also critical, as large plants require more energy for a lethal effect to occur by the method. Large plant species may also obscure smaller species so that they cannot be touched by the electrode and thus cannot be treated (VIGNEAULT & BENOIT, 2001). Furthermore, plant age plays a major role. According to VIGNEAULT & BENOIT (2001) and DIPROSE & BENSON (1984), plants with a higher lignin content (usually older plants) have a greater resistance to current. This also explains the greater treatment success with increasing treatment frequency. Plants sprouted at the second and third treatment dates are younger, smaller, and thus easier to control.

Table 2 Efficiencies of the treatments in terms of active biomass at all three experimental plots at all treatment dates, (n=16)

Tabelle 2 Wirkungsgrade der Versuchsvarianten in Bezug auf die aktive Biomasse auf allen drei Versuchsstandorten zu allen Behandlungsterminen (n=16)

Experimental plot	Treatment	Treatment dates		
		T0.1 vs. T1.1	T0.2 vs. T1.2	
VS 1	Chemical Control	64,2		16,5
	Zasso 1	85,6		84,1
	Zasso 2	65,1		88,8
	Zasso 3	86,1		90,4
	Zasso 4	72,5		93,6
VS 2	Mechanical Control	71,9		81,8
	Zasso 1	50,6		91,
	Zasso 2	39,9		81,5
	Zasso 3	49,3		86,5
	Zasso 4	47,7		74,4
VS 3	Mechanical Control	40,5	49,9	22,3
	Zasso 1	50,7	75,5	87,4
	Zasso 2	31,1	73,0	75,8
	Zasso 3	27,3		69,6
	Zasso 4	39,1		85,1

The data from the digital image analysis and the calculated coverage for VS3 with the active biomass factor also show that as treatment frequency increases, active biomass decreases, resulting in higher efficiencies and more dead weeds (Fig. 3). This is most evident with Zasso 1 and Zasso 4. Note that Zasso 1 has one more treatment, while Zasso 4 uses more high-voltage equipment, allowing more current to penetrate the plant and soil. The damage to the plant is greater for the same travel speed and thus the same exposure time, suggesting that more high-voltage equipment gives better treatment success. However, this needs to be verified again, the existing literature shows contrasting results (VIGNEAULT & BENOIT, 2001; SAHIN & YALINKILIC, 2017). Mechanical treatment (control) had the lowest treatment success.

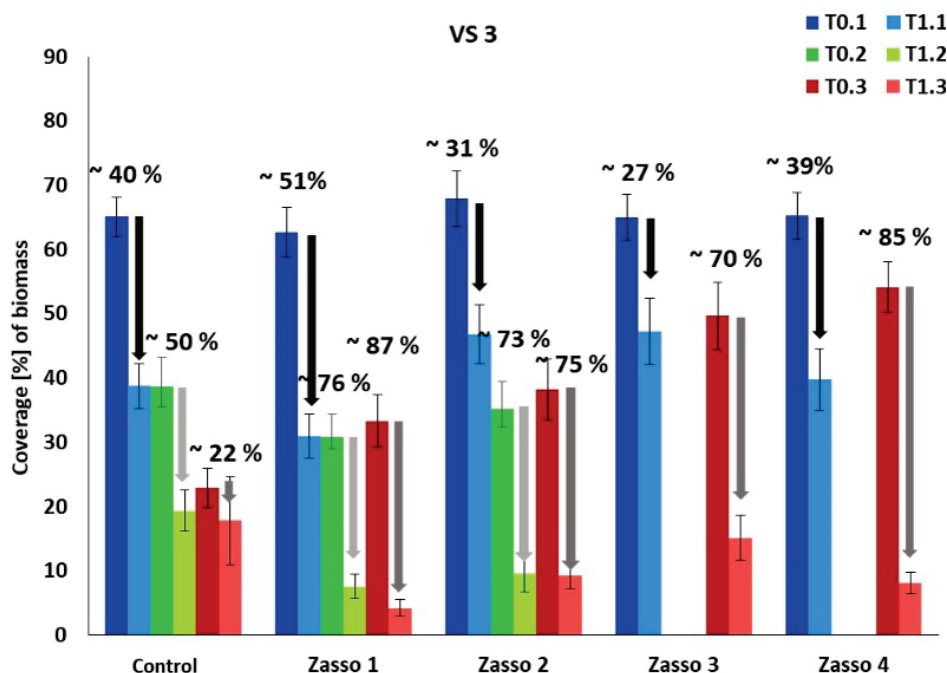


Figure 3 Degree of coverage [%] of active biomass on VS3 on all three treatment dates at the time T0 and T1, arrows show the percent change, (n=16)

Abbildung 3 Bedeckungsgrad der aktiven Biomasse auf dem VS3 an allen drei Behandlungsterminen zu den Zeitpunkten T0 und T1. Pfeile zeigen die prozentuale Veränderung, (n=16)

The weed infestation rate and the condition of the area have a significant influence on the effect of the method and must be taken into account (reviewed by VIGNEAULT & BENOIT, 2001). In the experimental year 2020 there was comparatively little rain, so there were few weeds on VS 1 & VS 2 and only two treatments were necessary.

In the experimental year 2021, experimental conditions were adjusted based on these results. Evaluated data were not yet available at the time of manuscript preparation.

References

- BMEL, 2013: Der Nationale Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Access: 28. september 2021, URL: <https://www.nap-pflanzenschutz.de/ueber-den-aktionsplan/>
- BMEL, 2021: Überblick: Das Verfahren der Neubewertung und Wiedergenehmigung von Glyphosat Access: 28. september 2021, URL: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/pflanzenschutz/neubewertung-glyphosat-verfahren.html>.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1964: Pflanzensoziologie, Wien, New York.
- DIPROSE, M.F., F.A BENSON, 1984: Electrical methods of killing plants. Journal of Agricultural Engineering Research **30**, 197-207, DOI: 10.1016/S0021-8634(84)80021-9.
- HEAP, I., 2021: International Herbicide-Resistant Weeds Database. Access: 28. september 2021, URL: <http://www.weedscience.org/Pages/Graphs.aspx>.
- KOCH, M., T. THOLEN, P. DRIEBEN, B. ERGAS, 2020: The electroherb Technology - a new technique supporting modern weed management. 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv **464**, DOI: 10.5073/jka.2020.039
- SAGIN, H., M. YALINKILIC, 2017: Using Electric current as a Weed Control Method. European Journal of Engineering Research and Science **2**(6), 59-64, DOI: 10.24018/ejers.2017.2.6.379.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- SCHWAB, A., S. KÖNIGER, 2016: Modified evaluation method of the erosion risk potential in vineyards using a GIS, Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau.
- TREMP, H., 2005: Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten, Stuttgart-Hohenheim, Eugen Ulmer KG.
- VIGNEAULT C., D.L. BENOÎT, 2001: Electrical Weed Control: Theory and Applications. In: *Physical Control Methods in Plant Protection*. Vincent C., Panneton B., Fleurat-Lessard F. (eds.), Springer, Berlin, Heidelberg, p. 174-188.

Electrical weed control and its effect on soil organisms

Elektrische Unkrautbekämpfung und ihre Wirkung auf Bodenorganismen

Anja Löbmann¹, Benjamin Klauk¹, Carina Lang², Matthias Petgen², Jan Petersen^{1*}

¹Technische Hochschule Bingen, 55411 Bingen am Rhein

²Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz, Institut für Weinbau und Oenologie, 67435 Neustadt

*petersen@th-bingen.de

DOI: 10.5073/20220124-064756

Abstract

The focus of the public demand for sustainable and resource-conserving agriculture is the reduction of herbicide use. However, successful weed control is essential to ensure crop yield and quality. Today's agriculture is confronted with the challenge of finding suitable crop management alternatives. In the present study, the Electroherb™ technology developed by the Zasso Group AG is investigated. The process 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. However, aspects of the effect on non-target organisms must also be considered when evaluating this promising technology. The study investigates the effects of electro-physical weed control on soil organisms. Population densities of earthworms and epigeic arthropods are recorded. Parameters such as speed at application, soil moisture, energy intensity and application timing were investigated. No effects of the electrical treatment on earthworm abundance and biomass were detected. In addition, there was also no evidence of adverse effects on soil organisms. Electro-physical weed control could be an environmentally friendly, sustainable, soil-friendly and innovative way to control weed species, provided that the effects on soil organisms are acceptable when electrophysical voltage is applied.

Keywords: Alternatives in weed control, earthworms, epigeic arthropods

Zusammenfassung

Im Mittelpunkt der öffentlichen Forderung nach einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Landwirtschaft steht die Reduzierung des Herbizideinsatzes. Eine erfolgreiche Unkrautbekämpfung ist jedoch unerlässlich, um den Ertrag und die Qualität des Ernteguts zu sichern. Die heutige Landwirtschaft steht vor der Herausforderung, geeignete Alternativen für den chemischen Pflanzenschutz zu finden. In der vorliegenden Studie wird die von der Zasso Group AG entwickelte Electroherb™-Technologie untersucht. Das Verfahren basiert auf einem nicht-selektiven, systemischen Stromfluss durch das Gefäßsystem der Pflanzen, der als Wirkungsweise eine starke Zellerstörung und schließlich das Welken verursacht. Bei der Bewertung dieser vielversprechenden Technologie müssen jedoch auch die Aspekte der Wirkung auf Nicht-Zielorganismen berücksichtigt werden. In der Studie werden die Auswirkungen der elektrischen Unkrautbekämpfung auf Bodenorganismen untersucht. Es werden Populationsdichten von Regenwürmern und epigäischen Arthropoden erfasst. Parameter, wie die Geschwindigkeit bei der Anwendung, die Bodenfeuchtigkeit, die Energieintensität und der Zeitpunkt der Anwendung wurden untersucht. Es wurden keine Effekte der elektrischen Behandlung auf die Abundanz und Biomasse von Regenwürmern festgestellt. Darüber hinaus gab es auch keine Hinweise auf schädliche Auswirkungen auf Bodenorganismen. Die elektrische Unkrautbekämpfung könnte ein umweltfreundlicher, nachhaltiger, bodenschonender und innovativer Weg zur Unkrautbekämpfung sein, sofern die Auswirkungen auf das Bodenleben mit der Applikation von elektrophysikalischer Spannung im Einklang stehen.

Stichwörter: Alternativen in der Unkrautbekämpfung, epigäische Arthropoden, Regenwürmer

Introduction

Successful weed control is essential, as crop yield and quality can be significantly reduced by competition for light, nutrients and water. The number of available active substances is steadily decreasing due to restrictions imposed by recent pesticide registration regulations for weed control. Indeed, the use of mechanical methods is limited on many situations. Factors such as potential crop damage in vineyards, inclination, and high wear and tear on mechanical equipment complicate the use of mechanical weed control.

The Electroherb™ technology developed by the Zasso Group AG is based on the irreversible damage of the chlorophyll of the plant cells by contact with current-carrying applicators (KOCH et al., 2020). However, the evaluation of this promising technology must take into account the aspects of its effect on non-target organisms. Soil organisms are involved in numerous soil-forming processes and thus have a lasting effect on soil properties. Bioindicators are used to evaluate the effect of electrical voltage on soil organisms. Earthworms have the highest biomass, as measured by total soil fauna, at many arable fields and grassland sites and perform remarkable services for soil structure and organic matter turnover. They create large continuous soil pores, transport vegetation residues from the soil surface to deeper soil layers, and contribute to soil turnover (SYERS & SPRINGETT, 1983; KLADIVKO, 2001). Other groups of organisms, such as epigeic arthropods also have notable effects on the agroecosystem. In addition to their value for biodiversity, they have an important function as beneficial insects (LÜBKE-AL HUSSEIN & WETZEL, 1993). The aim of this study was to investigate the influence of electrical treatments on the populations of soil organisms.

Material and methods

Investigations on earthworms

From 2020 to 2021, a field trial was conducted in the vineyards in Neustadt a.d. Weinstraße (49° 21' N, 8° 9' E) (clay loam), Germany. Two electrical treatments (2 km h⁻¹ and 4 km h⁻¹) and a mechanical treatment (star hoe and disc harrow) were tested with four replicates. Each plot consisted of 2 rows with 10 vines each. Sampling was performed immediately before electrical treatment (early spring), four weeks later (spring), and six months later (autumn). Earthworms were sampled from the soil by using a combination of two different methods: hand sorting and extraction with mustard. The soil of a square of 50 cm × 50 cm up to a depth of 30 cm was removed by means of a spade or shovel. Then the soil was searched cautiously for earthworms. The same plot, from which the top soil has been removed for hand-sorting, is used for mustard extraction. A suspension of 60 g mustard powder and 10 L water was carefully and evenly applied into the plot in order to attract deep-burrowing earthworms to the surface. Firstly, the number of worms was counted and the species noted. Species identification in earthworms was according to KRÜCK (2018). The biomass was then determined by washing the individual worms, drying them quickly on a piece of paper and then determining the mass with a battery-operated laboratory balance.

Investigations on epigeic arthropods

Another field trial in Bingen (49°58' N, 7°54' E) (loamy sand), Germany, was conducted in 2020 and comprised four treatments with four replicates. The plot size was 15 x 15 m. The treatments were: control (no treatment), mechanical tillage (disc harrow), and two electrical treatments with 3 km h⁻¹ and 6 km h⁻¹ speed of the electric applicator, respectively. Five modified Barber traps (BARBER, 1931) per plot were arranged in a cube pattern. Glass jars were filled with saturated salt solution and soap. In total, 160 traps (four treatments x four replicates x five traps per plot x two sampling dates) were dug into the ground. The

experiment was run for 2 weeks and 4 weeks after treatment. Subsequently, the soil organisms of the traps were counted and determined at the genus level.

Statistical analysis

All statistical analyses were carried out with version 3.5.1 of the R software package (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018). First, all data were subjected to a test of normality and homogeneity of variance. Differences in earthworm numbers and earthworm biomass among the three treatments, as well as differences among the three sampling dates within a treatment, were analysed using analysis of variance (ANOVA). The same applied to the study of the epigeic arthropods.

Results and discussion

Number and biomass of earthworms

A total of six earthworm species were identified in the vineyards. These were four endogenous representatives living in the upper part of the mineral soil (*Aporrectodea caliginosa*, *Allolobophora chlorotica*, *Octolasion lacteum* and *Aporrectodea rosea*), one epigeic species (*Lumbricius rubellus*) living just below the soil surface in the organically enriched horizon above the mineral soil, and one anectic species digging vertically and also occurring in deeper soil layers (*Lumbricius terrestris*).

The numbers of individuals at the beginning of the trial did not differ significantly from each other in both trial years (Fig. 1). In 2020, 4 weeks after electrical treatment, it was found that the numbers of individuals changed only slightly. 6 months after electrical treatment, significantly increasing numbers were observed for all treatments. The reason for this could have been the weather conditions. Spring months were very warm and dry compared to the long-term average. Similarly, no significant differences could be found regarding the abundances of earthworms in 2021. This applies to the comparison of the treatments among each other as well as to the comparison of the abundances of the first sampling to the second sampling date within a treatment. Overall, the experiment shows high standard errors, which are probably due to different soil characteristics in the vineyards.

Besides, it must also be taken into account that the sampling started in the morning and ended in the afternoon. A study by KAUTZ et al. (2011) suggests that the time of day is a relevant factor influencing the expulsion rate, especially on days with high temperature amplitudes. Possibly, rising soil temperatures up to the afternoon may have influenced the abundance of earthworms.

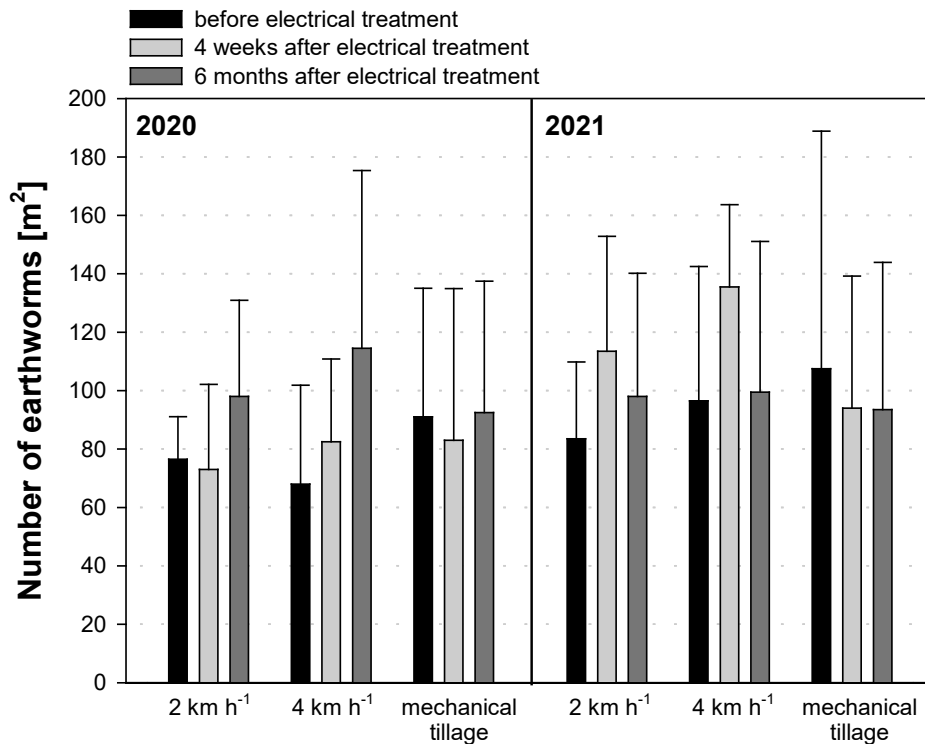


Figure 1 Mean number of earthworms per m² under the electrical treatments (with a speed of 2 km h⁻¹ and 4 km h⁻¹) and the mechanical tillage in 2020 and 2021.

Abbildung 1 Mittlere Anzahl der Regenwürmer pro m² für die elektrischen Behandlungen (mit einer Geschwindigkeit von 2 km h⁻¹ und 4 km h⁻¹) und die mechanische Behandlung in den Jahren 2020 und 2021.

The biomass of earthworms did not correlate with the number of earthworms (Tab. 1). Earthworm species vary strongly in length and diameter, and thus in biomass. Species, such as *L. terrestris* reach a much higher length and larger diameter than other earthworm species, so that individual species can significantly influence the total biomass. Therefore, the parameter biomass seems to be not a suitable indicator for assessing the effect of electrical power on the earthworm population.

From the results obtained so far, it can be concluded that the electrical treatment of above-ground flora does not have a lasting effect on the abundance and biomass of earthworms. It is assumed that the electric power is mainly absorbed by the dense flora growth and that the voltage in this application hardly touches the upper soil layers. It should also be noted that no lethally damaged individuals were found at any time.

Table 1 Mean biomass of earthworms (g per m²) and standard error (SE) for all treatments in 2020 and 2021

Tabelle 1 Mittlere Biomasse der Regenwürmer (g pro m²) und Standardabweichung (SE) für alle Behandlungen 2020 und 2021

	before electrical treatment	4 weeks after electrical treatment	6 months after electrical treatment
2020			
2 km h ⁻¹	126,9 (60,0)	108,6 (61,94)	101,7 (47,23)
4 km h ⁻¹	103,7 (75,14)	131,0 (53,26)	145,7 (76,94)
mechanical tillage	129,8 (99,2)	139,8 (116,47)	91,7 (66,75)
2021			
2 km h ⁻¹	131,5 (76,28)	165,5 (57,71)	110,08 (51,25)
4 km h ⁻¹	117,2 (45,47)	158,5 (62,41)	102,54 (63,47)
mechanical tillage	148,98 (108,17)	141,7 (55,04)	110,33 (60,11)

Evaluation of epigeic arthropods

The soil organisms captured in the traps were grouped into subgroups. They were *Opiliones*, *Araneae* (*Walckenaeria*, *Erigone*, *Meioneta*, *Oedothorax*), *Coleoptera* (*Nebria*, *Carabus*, *Harpalus*, *Pterostichus* and *Poecilus*) and *Hymenoptera* (*Formicidae*). Non-target soil organisms that occurred were recorded, too, but were not considered in the evaluation. These included isopods, millipedes, centipedes, mites, earwigs, springtails, and cicadas.

When comparing the treatments, no significant differences were found for any subgroup of soil organisms ($p \leq 0.05$). Inevitably, no effect of the electrical power on soil organisms were observed in 2020 (Fig. 2). The increased mean number in *Formicidae* in the 'mechanical tillage' and '6 km h⁻¹' treatments at the sampling date '2 weeks after electrical treatment' were found in two individual plots. *Formicidae* are known to be organized in states, so the occurrence in the field trial could not be associated with the treatments.

Overall, the number of individuals '4 weeks after treatment' was lower than at the '2 weeks after treatment'. Since this was observed in all treatments, it is likely that other reasons, biotic or abiotic, are responsible for the decline in the number of individuals. It is conceivable that weather conditions could have had an influence. In the period between the electrical treatment and the first sampling date (2 weeks after electrical treatment), the average daily temperature was 19°C. During the following two weeks until the next sampling (4 weeks after electric treatment), the average daily temperature dropped to 15°C. Specifically for *Coleoptera*, explanatory factors for distribution and activity include soil physical and often associated microclimatic conditions such as soil moisture (HOLLAND et al., 2007).

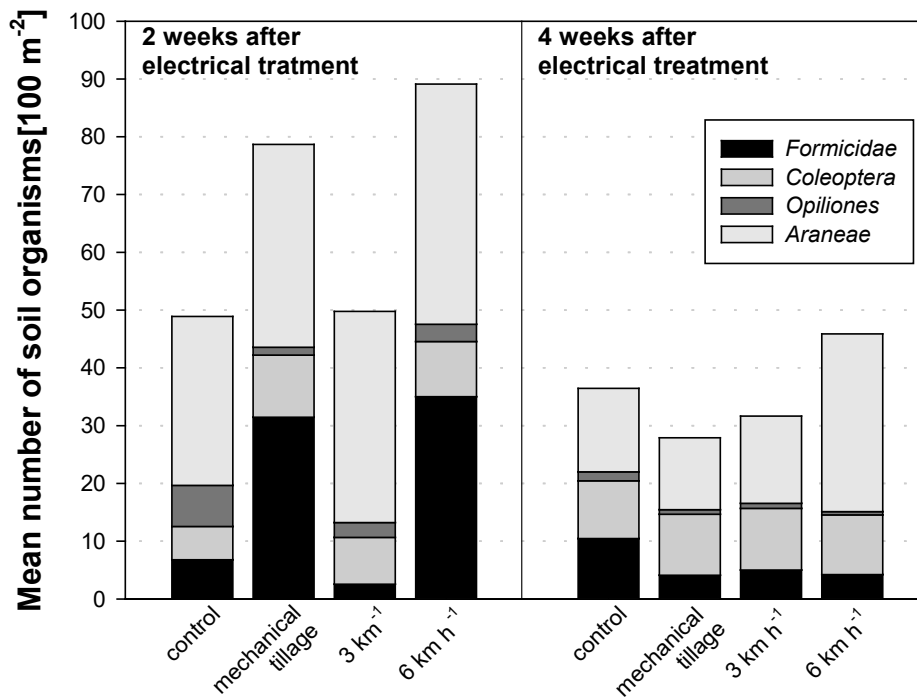


Figure 2 Mean number of soil organisms per 100 m² two and four weeks after electrical treatment, respectively.

Abbildung 2 Mittlere Anzahl der Bodenorganismen pro 100 m² zwei und vier Wochen nach der elektrischen Behandlung.

Outlook

This study, which is integrated into the E-Herb RLP project, will be continued until the end of 2022. At present, no general statement can be made about the effect of electrical treatment on soil organisms. In addition, the efficacy of electrical treatment for weed control needs to be verified. Perhaps, the integration of electrical weed control could become a promising alternative or complement to chemical weed control in the long term.

Literature

- BARBER, H.S., 1931: Traps for cave-inhabiting insects. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society* **46**, 259-266.
- HOLLAND, J.M., C.F.G. THOMAS, T. BIRKETT, S. SOUTHWAY, 2007: Spatio-temporal distribution and emergence of beetles in arable fields in relation to soil moisture. *Bulletin of Entomological Research* **97**, 89–100.
- KAUTZ, T., J. LEE, M. GÖRTZ, F. TÄUFER, 2011: Veränderung der Effizienz der Regenwurmaustreibung mit Senfsuspensionen im Tagesverlauf. Tagungsband Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis, Band 1, Verlag Dr. Köster.
- KLADIVKO, E.J., 2001: Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research* **61** (1–2), 61-76.
- KOCH, M., T. THOLEN, P. DRIEBEN, B. ERGAS, 2020: The Electroherb™ Technology - A new technique supporting modern weed management. *Julius-Kühn-Archiv* **464**, 261-263.
- KRÜCK, S., 2018: Bildatlas zur Regenwurmbestimmung. Rangsdorf, Natur + Text GmbH
- LÜBKE AL-HUSSEIN, M., T. WETZEL, 1993: Aktivitäts- und Siedlungsdichte von epigäischen Raubarthropoden in Winterweizenfeldern im Raum Halle/Saale. *Beiträge zur Entomologie* **43**, 129-140.
- SYERS, J.K., J.A. SPRINGETT, 1983: Earthworm ecology in grassland soils. In: SATCHELL, J.E. (ed.) *Earthworm ecology. From Darwin to vermiculture*. Chapman & Hall, London, New York, 67-83.

Ackerunkrautkontrolle mit UV-C Strahlung am Beispiel der Modellpflanze Ölrettich, *Raphanus sativus* var. *oleiformis*

*Weed control with UV-C radiation using oil radish, *Raphanus sativus* var. *oleiformis* as model plant*

Sarah Katharina Limpächer^{1*}, Becke Strehlow¹, Eike Stefan Dobers¹, Bärbel Gerowitt²

¹Hochschule Neubrandenburg, Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften, Neubrandenburg

²University of Rostock, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Rostock

*limpaecher@hs-nb.de

DOI: 10.5073/20220124-065108

Zusammenfassung

In konventionellen Ackerbausystemen werden derzeit überwiegend Herbizide zur Kontrolle von Unkräutern eingesetzt. Der Einsatz von Herbiziden wird wegen unerwünschter Wirkungen auf abiotische Ressourcen sowie die Biodiversität kritisch diskutiert. Um ihren Einsatz zu reduzieren, müssen mittelfristig alternative Lösungen gefunden werden.

Als Alternative kommt UV-C Strahlung in Frage. Diese wirkt ab einer bestimmten Dosis irreversibel zellschädigend, wodurch das Wachstum von Pflanzen reduziert wird. Der wichtigste Parameter der UV-C Applikation ist die Dosis, die sich aus der Strahlungsstärke des Strahlungsfeldes und der Dauer der Bestrahlung ergibt.

Ziel der Untersuchungen war es, eine UV-C Dosis zur Unkrautkontrolle zu finden, mit der das Wachstums von Unkrautpflanzen beeinträchtigt wird.

Am Beispiel von *Raphanus sativus* wird eine Dosis-abhängige Wachstumshemmung der UV-C Strahlung gezeigt. Die höchste Reduktion im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle betrug 93 % der Trockenmasse. Neben der UV-C Dosis hatte auch der zeitliche Abstand zwischen wiederholten Bestrahlungen einen Einfluss auf die Biomasseentwicklung der Pflanzen.

Stichwörter: Biomassereduktion, physikalische Kontrollmethoden, Unkrautkontrolle, UV-C Strahlung, Wachstumskontrolle

Abstract

In conventional arable farming systems, herbicides are predominantly used to control weeds. The use of herbicides is highly debated due to undesirable effects on abiotic resources and biodiversity. In order to reduce their use, alternative solutions are needed.

UV-C radiation could be an alternative method to control weeds. Here, an irreversible cell-damaging effect on plants applicated at high doses reduce their photosynthetic capacity and growth. The most important parameter of UV-C application is the dose, which results from the irradiance of the radiation field and the duration of irradiation.

The investigations aim on finding a suitable dose with high impact on plant biomass in order to control weeds effectively.

A dose-dependent growth inhibition of UV-C radiation was found for *Raphanus sativus* as model plant. Besides the UV-C dose, the time interval between repeated irradiations also influenced the biomass of treated plants.

Keywords: biomass reduction, growth inhibition, physical control method, UV-C radiation, weed control

Einleitung

In konventionellen Ackerbausystemen erfolgt die Unkrautkontrolle überwiegend durch den Einsatz von Herbiziden. Das Ausmaß des Einsatzes von Herbiziden in der konventionellen Landwirtschaft wird wegen unerwünschter Wirkungen auf abiotische Ressourcen (Wasser, Boden, Luft) stark diskutiert (LECHENET et al., 2017). Insbesondere Herbizidresistenzen haben einen großen Einfluss auf die Strategie der Anwendung und damit gehen unsichere ökonomische und ökologische Auswirkungen einher (BECKIE et al., 2019). Vor diesem Hintergrund müssen neue, vor allem nicht-chemische Alternativen zur Unkrautkontrolle entwickelt werden.

Eine Alternative könnte sein, das Wachstum von Unkrautpflanzen durch die Applikation von UV-C Strahlung zu hemmen. Der UV-Teil des elektromagnetischen Spektrums umfasst langwellige UV-A (320-400 nm), mittelwellige UV-B (280-320 nm) und kurzwellige UV-C Strahlung (100-280 nm). Im Gegensatz zu UV-A und UV-B Strahlung erreicht die von der Sonne emittierte UV-C Strahlung nicht die Erdoberfläche, da diese größtenteils von der Ozonschicht absorbiert wird. Nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz sind Wellenlänge und Energiedichte negativ korreliert. Demnach ist die UV-C Strahlung die energiereichste im UV-Bereich - ein großer Vorteil, wenn UV-Strahlung zur Behandlung von Pflanzen genutzt werden soll, da hohe Energiedichten bereits bei kurzer Behandlungsdauer Effekte auf das Pflanzenwachstum erwarten lassen (URBAN et al., 2016).

Die Auswirkungen von UV-C Strahlung auf Pflanzen ist bislang wenig untersucht. Ausnahme ist die schädigende Wirkung von UV-C Strahlung auf die Thylakoidmembran der Chloroplasten, die Fotosyntheseaktivität reduziert (MANTAI et al., 1970; WITUSZYNSKA et al., 2015; URBAN et al., 2016). Neben diesen direkt schädigenden Effekten wurden auch indirekt schädigende Effekte in Pflanzen nachgewiesen: UV-C Bestrahlung führt zur Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies, die ihrerseits Zellorganellen schädigen (GAO et al., 2008).

In der vorliegenden Untersuchung wurden UV-C Dosen ermittelt, mit Hilfe derer eine starke Beeinträchtigung des Wachstums von Unkrautpflanzen erreicht wird. Als Modellpflanze wurde Ölrettich, *Raphanus sativus*, ausgesucht, stellvertretend für Unkrautpflanzen mit planophiler Blattstellung, dicker Wachsschicht und moderater Behaarung. Diese Eigenschaften könnten einen Einfluss auf den Behandlungserfolg haben. Hierbei ist davon auszugehen, dass die planophile Blattstellung aufgrund der UV-C Behandlung von oben den Bekämpfungserfolg erhöht, die Dicke der Wachsschicht und die Behaarung der Pflanze den Bekämpfungserfolg jedoch reduzieren, da diese die Pflanze gegebenenfalls davor schützen, dass die Bestrahlung tiefer in die Epidermis eindringt.

Es wurde die Hypothese untersucht, dass *R. sativus* aufsteigende Dosen mit einer graduellen Biomassereduktion bis hin zur vollständigen Abtötung reagiert.

Material und Methoden

Versuchsaufbau und UV-C Applikation

Die Wirkung von UV-C Strahlung auf die oberirdische Biomasseentwicklung von *R. sativus* wurde unter standardisierten Gewächshausbedingungen getestet. Es wurde, nach der Versuchsdurchführung mit einer Einmalbehandlung, der Einfluss verschiedener zeitlicher Abstände zwischen wiederholter Bestrahlungen untersucht. Die Pflanzen wurden dreimal nacheinander mit UV-C Strahlung (T1, T2 und T3) behandelt. Dabei lagen bei einer Variante jeweils 24 Stunden (Behandlungsstrategie Intervall 24h) und bei der anderen 48 Stunden zwischen den einzelnen Bestrahlungen (Behandlungsstrategie Intervall 48h).

Außerdem wurden verschiedene UV-C Dosen angewandt, die über die Einwirkzeit variiert wurden. Bei der Einmalbehandlung wurden vier verschiedene UV-C Dosen getestet ($1,15 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$, $2,3 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$, $4,6 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$, $9,2 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$). Bei der dreimaligen Behandlung wurden diese Dosen zu T1, T2 und T3 appliziert (Gesamtdosis $3,5 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$, $6,9 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$, $13,8 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$, $27,6 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$). Die Strahlung wurde im BBCH-

Stadium 11-12 appliziert. Pro UV-C Dosis und einer unbehandelten Kontrolle waren je zehn Wiederholungen angelegt.

Als Strahlungsquelle dienten neun UV-C Röhren (Lichtleiste 75W T8 VVG, 75W UV-C Röhre mit 254nm). Das Strahlungsfeld wurde in definierten Abständen mit einem Spektrometer (AvaSpec-4096CL-EVO) vermessen. Die durchschnittliche Intensität des Strahlungsfeldes betrug $7661,71 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ im Abstand von 7,5 cm.

Die Topfversuche wurden in einem Gemisch aus Einheitserde und Quarzsand (2,8 : 1) durchgeführt. Pro Topf (13x13x18 cm) wurden 9 Samen ausgesät. Die Töpfe wurden randomisiert im Gewächshaus aufgestellt und bis zur Bonitur Ø 4 Wochen unter Standardbedingungen kultiviert (Tagestemperatur: 20 °C; Nachttemperatur: 15 °C; simulierte Tageslänge mit Zusätzlich: 16 h).

Bonitur

Der Effekt der Strahlungsapplikation wurde durch regelmäßige Blattflächenmessungen und Ermittlung der oberirdischen Trockenmasse 14 Tage nach der UV-C Behandlung beurteilt. Die Blattflächenmessung wurde bildgestützt (Olympus TG5) durchgeführt. Die Auswertung erfolgte über die opensource Software FIJI (<https://imagej.net/software/fiji/>, 06.10.2021; GE et al., 2016). Die Blattfläche wird über die Anzahl und Größe grüner Pixel im Bild ermittelt. Die Größe wurde über die Maße der Töpfe geometrisch kalibriert. Der, für die Bildauswertung, angewendete Algorithmus erfasst ausschließlich die grünen Bereiche der RGB-Bilder, nekrotisierte Bereiche werden nicht quantifiziert. Zusätzlich wurden exemplarische Messungen der Chlorophyll-Fluoreszenz durchgeführt, dafür wurde der FluorPen FP 110 (Photon Systems Instruments) genutzt.

Für die Ermittlung der oberirdischen Trockenmasse wurde das Pflanzenmaterial je Topf geerntet und getrocknet (105 °C für 48 h) und relativ zur Trockenmasse der unbehandelten Kontrolle dargestellt. Frisch- und Trockenmassen waren sehr eng korreliert, daher beziehen sich die dargestellten Ergebnisse ausschließlich auf die Trockenmasse.

Die Auswertung erfolgte mit der statistischen Softwareumgebung R (Foundation, 2021). Neben den Standardpaketen wurden die Pakete multcompView und agricolae genutzt. Signifikante Unterschiede zwischen den UV-C Dosen innerhalb und zwischen den beiden Behandlungsstrategien wurden mit dem Tukey's posthoc Test ($p \leq 0,05$) geprüft.

Ergebnisse

Erste Effekte der UV-C Behandlung konnten visuell und olfaktorisch bereits direkt nach der ersten UV-C Behandlung wahrgenommen werden: glänzendes Aussehen der oberen Blattepidermis sowie ein kohlantiger Geruch. Die Auswertung der RGB-Bilder ergab, dass sowohl die UV-C Dosis als auch die Behandlungsstrategie einen Einfluss auf die grüne Blattfläche hatte. Die grüne Blattfläche sank mit zunehmender UV-C Dosis (Abb. 2). Zudem zeigte die Behandlung mit 48 h Intervall zwischen den Bestrahlungen deutlichere Effekte als ein Intervall von 24 h.

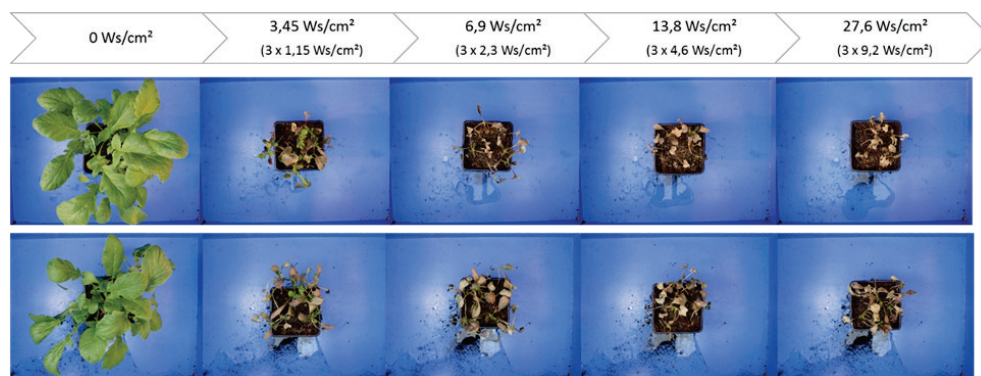


Abbildung 1 RGB-Bilder von *R. sativus* 6 Tage nach der letzten UV-C-Behandlung bei unterschiedlichen Strahlungsdosen und zeitlichen Abständen zwischen den drei Bestrahlungen; oben: Intervall 48 h, unten Intervall 24 h.

Figure 1 RGB images of *R. sativus* 6 days after the last UV-C treatment with different radiation doses and time intervals between the three irradiations; above: interval 48 h, below interval 24 h.

Die Blattflächenmessung zeigte eine deutliche Abnahme der grünen Blattfläche bereits 24 Stunden nach der ersten UV-C Behandlung. Die maximale Reduktion der grünen Blattfläche wurde wenige Tage nach der letzten Behandlung erreicht; zwischen den UV-C Dosen wurden nur leichte Unterschiede gemessen. Am letzten Tag der Blattflächenmessung (34-35 Tage nach der Saat) wurde eine Zunahme der grünen Blattfläche gegenüber vorherigen Boniturterminen ermittelt, die von der Dosis und der Behandlungsstrategie abhängig war; dieser Wiederaustrieb war bei geringeren UV-C Dosen und insbesondere beim Intervall 24 h stärker ausgeprägt (Abb. 2).

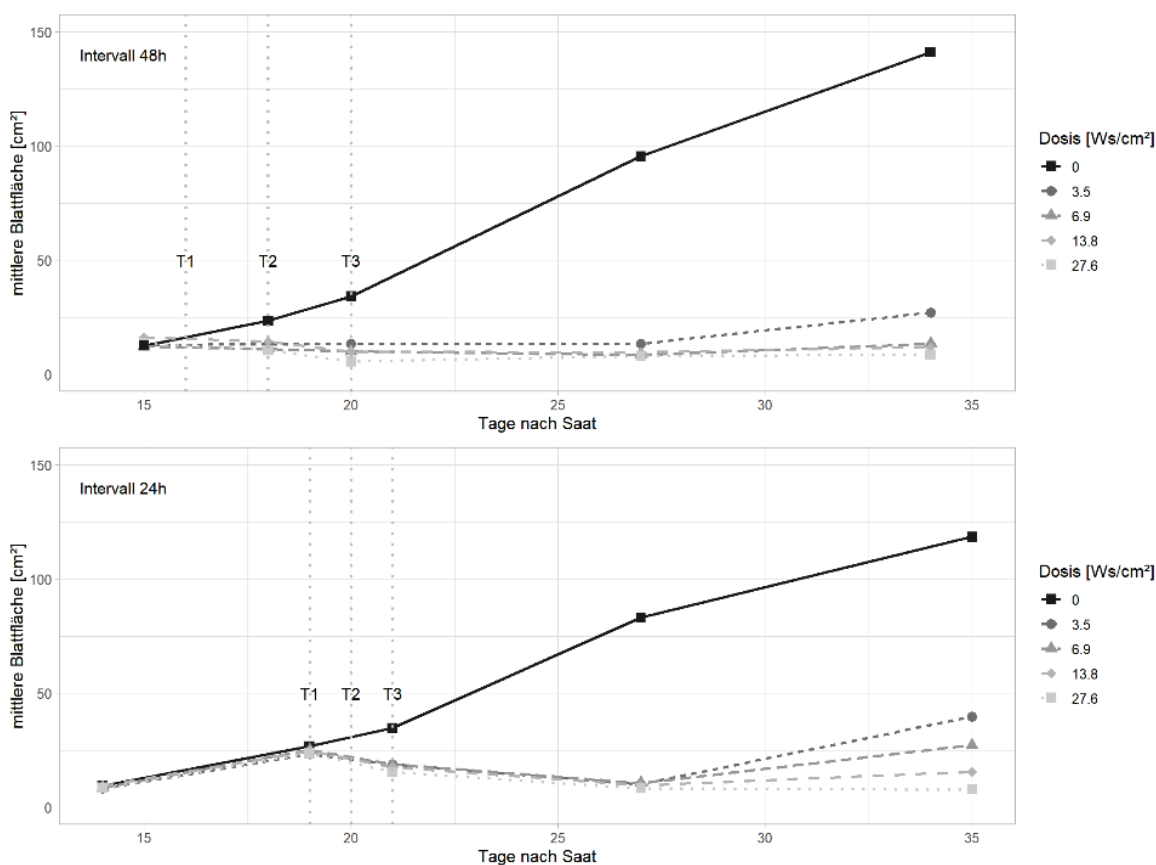


Abbildung 2 Entwicklung der grünen Blattfläche (cm²) bei unterschiedlichen Strahlungsdosen und zeitlichen Abständen zwischen den drei Bestrahlungen (Intervall 48h und Intervall 24h).

Figure 2 Development of the green leaf area (cm²) with different radiation doses and time intervals between the three irradiations (interval 48h and interval 24h).

Durch die UV-C Behandlung wurde die Biomasse von *R. sativus* stark reduziert; die mittlere Biomassereduktion betrug bei der höchsten UV-C Dosis von $27,6 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$ im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle 93% beim Intervall 48 h und 88 % beim Intervall 24 h. Die Biomassereduktion mit vergleichbar hohen UV-C Dosen fiel bei der dreimaligen Behandlung höher aus als die Biomassereduktion bei der Einmalbehandlung. Die einmalige UV-C Behandlung mit 2,3 und $4,6 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$ führte zu einer Biomassereduktion um 22,6 % bzw. 30,2 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Die vergleichbare Strahlungsdosis bei der dreimaligen Behandlung (dreimal $1,15 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$; Gesamtdosis $3,5 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$) reduzierte die Biomasse um 83,2 % (Intervall 48 h) bzw. 72 % (Intervall 24 h).

Beide Behandlungsstrategien mit dreimaliger UV-C-Bestrahlung führten dazu, dass die Steigerung der UV-C Dosis zu einer stärkeren Biomassereduktion führte; signifikant unterschied sich nur die kleinste Dosis von den drei höheren Dosen (Intervall 48 h, $p \leq 0,001$) bzw. nur die kleinste Dosis von den zwei höchsten Dosen (Intervall 24 h, $p \leq 0,01$) (Abb. 3). Außerdem bestanden zwischen den Behandlungsstrategien Unterschiede in der Biomassereduktion; die Reduktion war höher bei einem zeitlichen Abstand von 48 h zwischen den drei Bestrahlungen als bei einem Abstand von 24 h; signifikante Unterschiede zeigten sich hierbei jedoch nur bei den geringen UV-C Dosen von $3,5 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$ und $6,9 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($p \leq 0,01$).

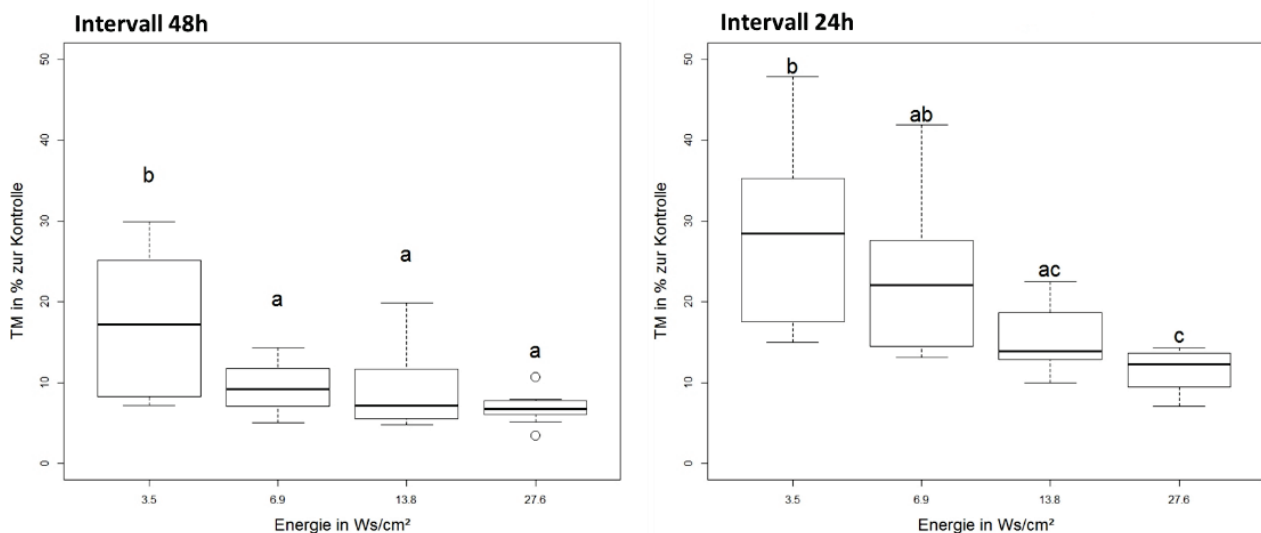


Abbildung 3 Trockenmasse (%) von *R. sativus* relativ zur unbehandelten Kontrolle bei unterschiedlichen Strahlungsdosen und zeitlichen Abständen zwischen den drei Bestrahlungen (Intervall 48h und Intervall 24h). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Dosen ($p \leq 0,05$).

Figure 3 Dry matter (%) of *R. sativus* relative to the untreated control with different radiation doses and time intervals between the three irradiations (interval 48h and interval 24h). Different letters indicate significant differences between the doses ($p \leq 0.05$).

Diskussion und Ausblick

Am Beispiel von *Raphanus sativus* konnte eine Dosis-abhängige Wachstumshemmung durch UV-C Strahlung gezeigt werden. Neben der UV-C Dosis hatte vor allem der zeitliche Abstand zwischen wiederholten Bestrahlungen einen Einfluss auf die Biomasseentwicklung der Pflanzen.

ANDREASEN et al. (1999) untersuchten den Effekt von UV-C Strahlung auf verschiedene Pflanzenarten, wie zum Beispiel *Brassica napus* und *Pisum sativum*. Die Arten unterschieden sich erheblich in ihrer Empfindlichkeit gegenüber UV-C Strahlung; die mittlere effektive Wirkdosis (ED_{50}) auf das Frischgewicht variierte zwischen $1,0 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$ (*U. dioica*) und $31,0 \text{ Ws} \cdot \text{cm}^{-2}$ (*P. sativum*). Die Dosis-Wirkungskurve für *B. napus* zeigte eine Dosis-abhängige Wachstumshemmung mit einer deutlichen Biomassereduktion bei $1,0$

Ws*cm⁻² und steht in grundsätzlicher Übereinstimmung mit den eigenen Ergebnissen. ANDREASEN et al. (1999) führten nur einmalige Behandlungen durch.

TIBURCIO et al. (1985) untersuchten die Wirkung gestaffelter UV-C Behandlungen. Hier wurden Tabak-Pflanzen (*Nicotiana rustica*) täglich eine Minute über einen Zeitraum von 58, 65 bis 86 Tage mit 0,00014 Ws*cm⁻² behandelt. Die Gesamtdosen lagen mit 0,487 Ws*cm⁻², 0,546 Ws*cm⁻² und 0,722 Ws*cm⁻² weit unter den angewandten UV-C Gesamtdosen der vorliegenden Arbeit. Die Untersuchungen von TIBURCIO et al. (1985) konzentrierten sich nicht auf den Einfluss der UV-C Strahlung auf die Biomasse, sondern auf die löslichen Proteine und morphologischen Veränderungen. Andere Arbeiten, welche die Wirkung von Behandlungsintervallen untersuchten, sind den Autoren nicht bekannt.

Der Bewertung des beobachteten Wiederaustriebs der Pflanzen ist positiv, denn die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit hatten, neben der Feststellung der letalen Dosis, die Wachstumskontrolle zum Ziel. Es gelang trotz der erheblichen Wachstumsbeeinträchtigungen jedoch nicht, eine letale Dosis für *R. sativus* zu ermitteln. Exemplarische Erhebungen zur Chlorophyll-Fluoreszenz (FluorPen FP 110, Photon Systems Instruments), welche ein Maß für die Fotosynthese-Effizienz ist, zeigten keine Beeinflussung in diesem Parameter im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Inwieweit die durch UV-C stark im Wachstum beeinträchtigten Pflanzen daher in einem Kulturpflanzenbestand noch ausreichend konkurrenzfähig sind und tatsächlich weiterwachsen und sich vermehren können, muss gesondert untersucht werden.

Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten UV-C Applikationen gingen mit sensorischen Auffälligkeiten einher, wie das glänzende Aussehen der oberen Blattepidermis und der kohlrartige Geruch. Die optische Veränderung beobachteten auch TIBURCIO et al. (1985) in ihren Untersuchungen und erklärten es sich mit der Schädigung der Epidermiszellen. WITTSTOCK et al. (2003) stellten fest, dass *Brassicaceae* Senföle nach einer Verwundung der Blätter freisetzen. Senföle sind für den kohlrartigen Geruch dieser Pflanzenfamilie verantwortlich. Es liegt nahe, dass durch die UV-C Bestrahlung, die obere Epidermiszellen verletzt wurde und Senföle synthetisiert wurden.

Seit vielen Jahren werden Untersuchungen zur Wirkung von UV-C auf Pflanzen durchgeführt, doch der Vergleich mit vielen dieser Arbeiten ist schwierig. Insbesondere in älteren, z.T. mit sehr differenzierter Versuchsdurchführung ausgelegten Arbeiten, finden sich oft nur Informationen über die eingesetzten Wellenlängen, seltener aber genaue Angaben über die tatsächlich verwendeten Dosen (siehe z.B. BORNMAN et al., 1983). In Arbeiten jüngerer Datums dagegen finden sich zwar Angaben zur verwendeten Dosis jedoch wird in diesen Arbeiten oft mit Zellkulturen und vergleichsweise geringen Energiemengen gearbeitet (BALESTRAZZI et al., 2010).

Die weiteren Arbeiten werden sich anderen dikotylen und monokotylen Unkrautarten widmen und zudem die Behandlungsparameter Dosis und Intervall näher untersuchen.

Förderung

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, FKZ 03WIR2806A, Verbund "Physics for Crops" im Bündnis "Physics for Food", Förderprogramm "WIR! - Wandel durch Innovation in der Region" gefördert.

Literatur

- ANDREASEN, C., L. HANSEN, J.C. STREIBIG, 1999: The Effect of Ultraviolet Radiation on the Fresh Weight of Some Weeds and Crops. *Weed Technology* **13**, 554-560.
- BALESTRAZZI, A., V. LOCATO, M.G. BOTTONE, L. DE GARA, M. BIGIIOGERA, C. PELLICCIARI, S. BOTTI, D. DI GESÚ, M. DONA, D. CARBONERA, 2010: Response to UV-C radiation in topo I-deficient carrot cells with low ascorbate levels. *Journal of Experimental Botany* **61**, 575–585.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- BECKIE, H.J., M.B. ASHWORTH, K.C. FLOWER, 2019: Herbicide Resistance Management: Recent Developments and Trends. *Plants* **8**, 1-13.
- BORNMAN, J.F., R.F. EVERT, R.J. MIERZWA, 1983: The effect of UV-B and UV-C radiation on sugar beet leaves. *Protoplasma* **117**, 7-16.
- GAO, C., D. XING, L. LI, L. ZHANG, 2008: Implication of reactive oxygen species and mitochondrial dysfunction in the early stages of plant programmed cell death induced by ultraviolet-C overexposure. *Planta* **227**, 755-767.
- GE, Y., G. BAI, V. STOERGER, J.C. SCHNABLE, 2016: Temporal dynamics of maize plant growth, water use, and leaf water content using automated high throughput RGB and hyperspectral imaging. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.028>.
- [HTTPS://IMAGEJ.NET/SOFTWARE/FIJI/](https://imagej.net/software/fiji/). (06.10.2021).
- 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.
- MANTAI, K.E., J. WONG, N.I. BISHOP, 1970: Comparison studies on the effects of ultraviolet irradiation on photosynthesis. [https://doi.org/10.1016/0005-2728\(70\)90036-8](https://doi.org/10.1016/0005-2728(70)90036-8).
- THE_R_FOUNDATION, 2021: <https://www.r-project.org/>. Retrieved from <https://www.r-project.org/about.html>
- TIBURCIO, A.F., M.T. PINOL, M. SERRANO, 1985: Effect of UV-C on growth, soluble protein and alkaloids in *Nicotiana rustica* plants. *Environmental and Experimental Botany* **25**, 203-210.
- URBAN, L., F. CHARLES, M.R.A. DE MIRANDA, J. AARROUF, 2016: Understanding the physiological effects of UV-C light and exploiting its agronomic potential before and after harvest. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.04.004>.
- WITTSTOCK, U., K. FALK, M. BUROW, M. REICHEL, J. GERSHENZON, 2003: Die Biochemie der Glucosinolat-Hydrolyse: Wie entschärfen Insekten pflanzliche Senfö-Bomben? Retrieved from <https://www.mpg.de/869312/forschungsSchwerpunkt1>
- WITUSZYNSKA, W., M. SZECHYNSKA-HEBDA, M. SOBCHAK, A. RUSACZONEK, A. KOZLOWSKA-MAKULSKA, D. WITON, S. KARPINSKI, S., 2015: Lesion simulating disease 1 and enhanced disease susceptibility 1 differentially regulate UV-C-induced photooxidative stress signaling and programmed cell death in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Environ.* **38**, 315-330.

Sektion 7: Herbizid-Innovation und -Management

Session 7: Herbicide innovation and management

Einsatz des neuen bodenwirksamen Herbizids LUXIMO® zur Bekämpfung von Ungräsern in Getreide im Herbst

Use of the new soil-effective herbicide LUXIMO® for control of grass weeds in cereals in autumn

Alfons Schönhammer*, Sascha Schläfer, Bernd Sievernich, Johannes Bessai

BASF SE, Limburgerhof

*alfons.schoenhammer@basf.com

DOI: 10.5073/20220124-065446

Zusammenfassung

Zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.), Weidelgräsern (*Lolium spec.*), Gemeinem Windhalm (*Apera spica-venti*) und Einjährigem Rispengras (*Poa annua*) erzielt der Wirkstoff Cinmethylin (geschützte Bezeichnung LUXIMO®) in Wintergetreide im Herbst bei Anwendung im Voraufbau (BBCH 00-09) und frühen Nachaufbau (BBCH 10-12) sehr hohe Wirkungsgrade.

Mit Aufwandmengen von 500 g/ha gegen Acker-Fuchsschwanz und Weidelgräser und 250 g/ha gegen Windhalm und Einjähriges Rispengras übertrifft LUXIMO® den Standard Flufenacet mit 250 bzw. 125 g/ha insbesondere im Voraufbau.

LUXIMO® ist in Winterweizen, Wintertriticale, Winterroggen und Wintergerste in den genannten Anwendungen verträglich. Um gelegentliche Kulturpflanzenschäden, insbesondere bei Wintergerste im Voraufbau, zu vermeiden, werden detaillierte Handlungsanweisungen erstellt.

LUXIMO® weist mit der Hemmung der Fettsäurethioesterasen (FAT) einen bisher in Getreide zur Ungrasbekämpfung nicht eingesetzten Wirkmechanismus auf (HRAC-Kode 30, bisher Q). Nach derzeitigen Erkenntnissen besteht zwischen LUXIMO® und Wirkstoffen mit anderen Wirkmechanismen keine Kreuzresistenz. Mit LUXIMO® lassen sich somit auch gegen andere Wirkstoffe resistente Ungräser wirkungsvoll bekämpfen. Um die Wirksamkeit von LUXIMO® zu erhalten, sollten LUXIMO®-haltige Produkte im System und gemeinsam mit wirkungsvollen nicht-chemischen Verfahren zur Minderung des Ungrasbesatzes angewendet werden.

Stichwörter: Acker-Fuchsschwanz, Cinmethylin, Herbizid, Herbst, Luximo, Rispengras, Unkrautbekämpfung, Weidelgras, Windhalm, Wintergetreide

Abstract

For control of *Alopecurus myosuroides* Huds., *Lolium spec.*, *Apera spica-venti* and *Poa annua*, the active ingredient cinmethylin (protected name LUXIMO®) provides in winter cereals in autumn very high efficiencies in pre-emergence (BBCH 00-09) and early post-emergence (BBCH 10-12). With application rates of 500 g/ha against blackgrass and ryegrass and 250 g/ha against silky bentgrass and annual bluegrass, LUXIMO® exceeds the standard Flufenacet with 250 resp. 125 g/ha, especially in the pre-emergence. LUXIMO® is selective in wheat, triticale, rye, and barley in the named applications. In order to avoid occasional damage to crops, especially with pre-emergence in barley, detailed instructions are drawn up. With the inhibition of fatty acid thioesterases (FAT), LUXIMO® has a mode of action not previously used in cereals for weed control (HRAC code 30, previously Q). According to current knowledge, there is no cross-resistance between LUXIMO® and active ingredients with other modes of action. With LUXIMO®, resistant

grass weeds can also be effectively controlled. In order to maintain the effectiveness of LUXIMO®, products containing LUXIMO® should be used in a system and together with effective non-chemical measures to reduce weed growth.

Keywords: *Alopecurus*, *Apera*, autumn, cinmethylin, herbicide, *Lolium*, Luximo, *Poa*, weed control, winter cereal

Einleitung

Die Bekämpfung von Ungräsern in Wintergetreide stellt aufgrund zunehmender Besatzdichten und abnehmender Sensitivität gegenüber Herbiziden für viele Betriebe und Berater ein ernstzunehmendes Problem dar. Eine mögliche Lösung besteht in der effizienten Kombination betriebsspezifischer agronomischer Maßnahmen und wirkungsvoller Herbizide. Mit LUXIMO® befindet sich ein neues Herbizid in der Entwicklung, das für die Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz (ALOMY), Weidelgras-Arten (LOLSS), Gemeinem Windhalm (APESV) und Einjährigem Rispengras (POAAN) in Wintergetreide einen wirkungsvollen Beitrag in einem integrierten Bekämpfungssystem erbringen kann.

LUXIMO® ist die geschützte Wirkstoffbezeichnung für Cinmethylin, einem herbiziden Wirkstoff, der bereits in den 1980er Jahren von Shell entdeckt und für die Anwendung in Reis entwickelt worden war (PAYNE et al., 1981; MAY et al., 1985). Der Wirkstoff ist ein naturnahes Molekül (Terpenoid bzw. Cineol), das lediglich aus Wasserstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff besteht. In der Synthese werden zum größten Teil Naturstoffe verwendet, ursprünglich Pinienharz, inzwischen werden nach einem neuen von BASF SE patentierten Verfahren Nebenprodukte der Papierherstellung eingesetzt.

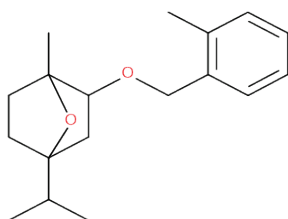


Abbildung 1 Strukturformel von Cinmethylin = LUXIMO®

Figure 1 Structural formula of cinmethylin = LUXIMO®

LUXIMO® befindet sich derzeit in der Wirkstoffprüfung durch die EU. Außerhalb der EU ist LUXIMO® bereits zugelassen (Australien 2020, UK 2021).

Material und Methoden

Prüfmittel

Die in den Versuchen verwendete Formulierung von LUXIMO® war ein Emulsionskonzentrat (EC) mit einem Wirkstoffgehalt von 750 g/l. Als Vergleichssubstanz wurde Flufenacet verwendet, formuliert als Suspensionskonzentrat mit 500 g/l.

Versuchsdurchführung und Standorte

Die Versuche wurden im Zeitraum 2015 – 2021 in Feldversuchen zur herbiziden Wirksamkeit und Kulturpflanzen-Verträglichkeit gemäß EPPO-Standard No. 1/152 (4) (Design and analysis of efficacy evaluation trials) unter gleichzeitiger Berücksichtigung des EPPO-Standards PP 1/093(3) (Weeds in cereals) durchgeführt. In den Versuchen wurden Wirksamkeits- und Verträglichkeitsbonituren im Herbst und abschließende Bonituren im Frühjahr bzw. nach Erscheinen der Samenträger der Ungräser vorgenommen. In der Ergebnisdarstellung wurde jeweils nur die Bonitur mit der höchsten Symptomausprägung beim

Pflanzenschaden (Maximalwert) verwendet. Die abschließende herbizide Wirksamkeit gegen Ungräser wurde basierend auf der Anzahl der Samenträger in „Unbehandelt“ geschätzt, bei zweikeimblättrigen Unkräutern diente die geschätzte Biomasse in „Unbehandelt“ als Kriterium für die Wirksamkeit. In der Ergebnisdarstellung der herbiziden Wirksamkeit wurde jeweils nur die letzte verfügbare Bonitur verwendet.

Die Versuche wurden jeweils als Versuchsserie mit 3-4 Wiederholungen und einer Mindest-Parzellengröße von 10 Quadratmetern in verschiedenen Regionen in Deutschland und einigen Nachbarländern mit vergleichbaren Bedingungen von Versuchstechnikern der BASF auf Praxisflächen durchgeführt. Alle Prüfstellen wiesen eine Zertifizierung nach GEP (Good Experimental Practice) auf.

Die Anwendung von LUXIMO® erfolgte im Voraufbau (BBCH 00-09) und im frühen Nachaufbau (BBCH 10-12) des Wintergetreides. In der Regel lagen die Anwendungen im Vor- und Nachaufbau entweder im selben Versuch oder in direkt nebeneinanderliegenden Versuchen, so dass die Ergebnisse der beiden Termine sehr gut miteinander verglichen werden können.

Ergebnisse

Wirksamkeit gegen Ungräser

Bei den Versuchen gegen Acker-Fuchsschwanz werden ausschließlich in Deutschland erzielte Ergebnisse dargestellt.

LUXIMO® erzielte mit durchschnittlich 89 % Wirkungsgrad im Voraufbau bei 500 g/ha Wirkstoff die besten Ergebnisse gegen Acker-Fuchsschwanz, jeweils etwa 5 % besser als 75 % dieser Aufwandmenge und die maximale Aufwandmenge von Flufenacet (Abb. 2). Im frühen Nachaufbau lagen die Wirkungsgrade bei allen Varianten um 5 – 7 % niedriger als im Voraufbau mit einer etwas stärkeren Streuung der Einzelwerte. Zu beiden Terminen brachte die reduzierte Menge von 375 g/ha LUXIMO® etwa dieselben Wirkungsgrade wie die volle Menge von 250 g/ha Flufenacet.

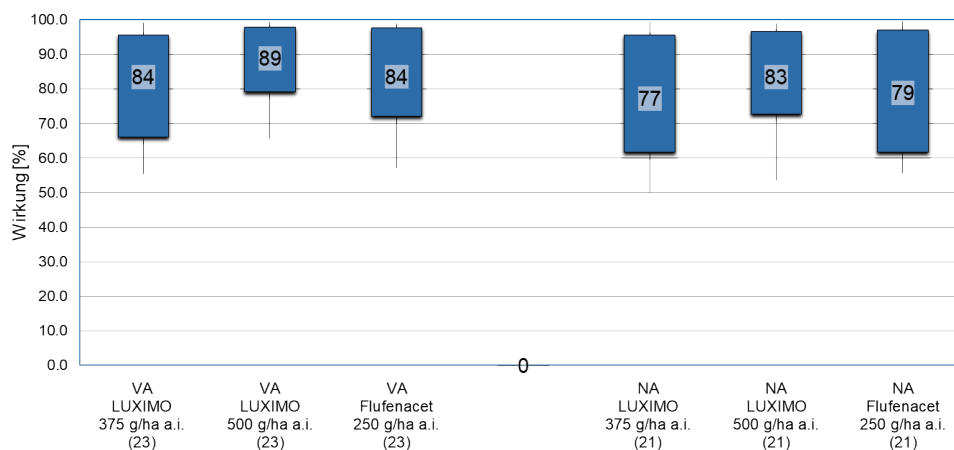


Abbildung 2 Wirksamkeit (%) von LUXIMO® gegen Acker-Fuchsschwanz (ALOMY) in Wintergetreide im Voraufbau und frühen Nachaufbau. Versuche BASF Deutschland 2015-2020. (n) = Anzahl Versuche.

Figure 2 Efficacy (%) of LUXIMO® against blackgrass (ALOMY) in winter cereals in pre-emergence and early post-emergence. Trials BASF Germany 2015-2020. (n) = number of trials.

Bei den hier zusammengefassten Weidelgras-Arten *Lolium multiflorum* und *Lolium perenne* lagen aus Deutschland nur wenige Versuche vor. Deshalb wurden sie um die Versuche aus UK ergänzt (Abb. 3).

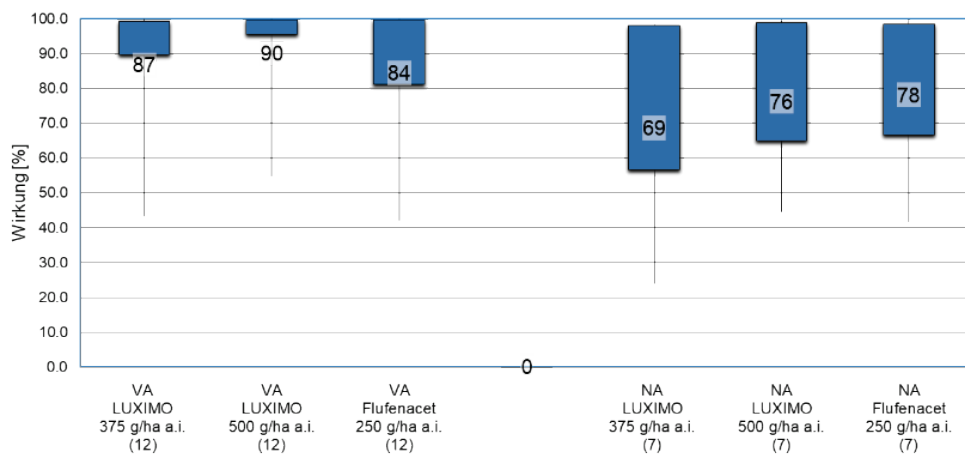


Abbildung 3 Wirksamkeit (%) von LUXIMO® gegen Weidelgras-Arten (LOLSS) in Wintergetreide im Voraufbau und frühen Nachaufbau. Versuche BASF Deutschland, UK 2016-2018. (n) = Anzahl Versuche.

Figure 3 Efficacy (%) of LUXIMO® against raygrass species (LOLSS) in winter cereals in pre-emergence and early post-emergence. Trials BASF Germany, UK 2016-2018. (n) = number of trials.

Im Voraufbau erzielte LUXIMO® mit 87 % bzw. 90 % mit beiden Aufwandmengen deutlich höhere Wirkungsgrade als Flufenacet, während im frühen Nachaufbau bei allerdings wesentlich stärkerer Streuung der Einzelwerte 250 g/ha Flufenacet mit 500 g/ha LUXIMO® vergleichbar waren.

Gegen den Gemeinen Windhalm weisen sowohl LUXIMO® als auch Flufenacet ein deutlich höheres Wirkpotenzial auf als gegen Ackerfuchsschwanz und Weidelgräser (Abb. 4). Deshalb werden hier nur die Ergebnisse mit jeweils halbierten Aufwandmengen dargestellt. Neben den Ergebnissen aus Deutschland sind hier auch die Daten aus AT und PL enthalten. Sowohl LUXIMO® mit 188 g/ha und 250 g/ha als auch Flufenacet mit 125 g/ha erzielten jeweils sehr hohe Wirkungsgrade im Vor- wie im frühen Nachaufbau. Tendenziell war die Streuung der Ergebnisse von LUXIMO® im frühen Nachaufbau etwas höher als von Flufenacet.

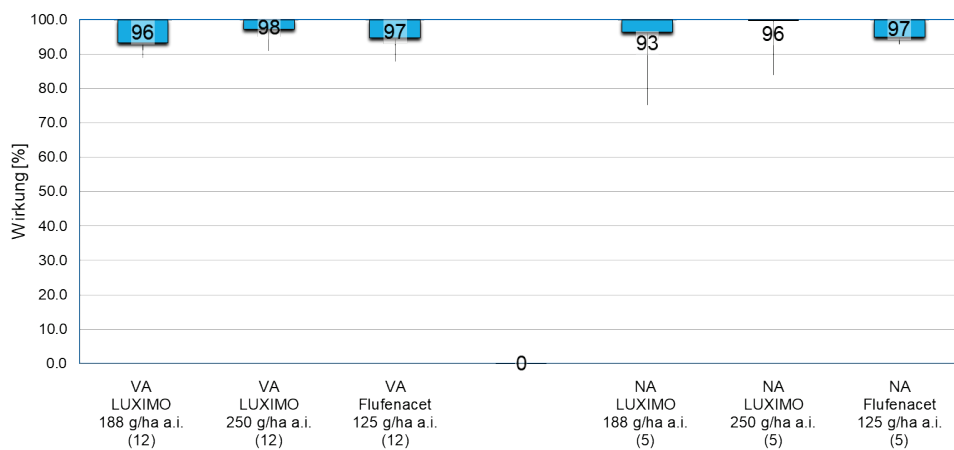


Abbildung 4 Wirksamkeit (%) von LUXIMO® gegen Gemeinen Windhalm (APESV) in Wintergetreide im Voraufbau und frühen Nachaufbau. Versuche BASF Deutschland, AT, PL 2016-2018. (n) = Anzahl Versuche.

Figure 4 Efficacy (%) of LUXIMO® against silky bentgrass (APESV) in winter cereals in pre-emergence and early post-emergence. Trials BASF Germany, AT, PL 2016-2018. (n) = number of trials.

Bei den Ergebnissen zum Einjährigen Rispengras werden die Ergebnisse aus Deutschland und UK dargestellt für 250 g/ha LUXIMO® und 125 g/ha Flufenacet (Abb. 5).

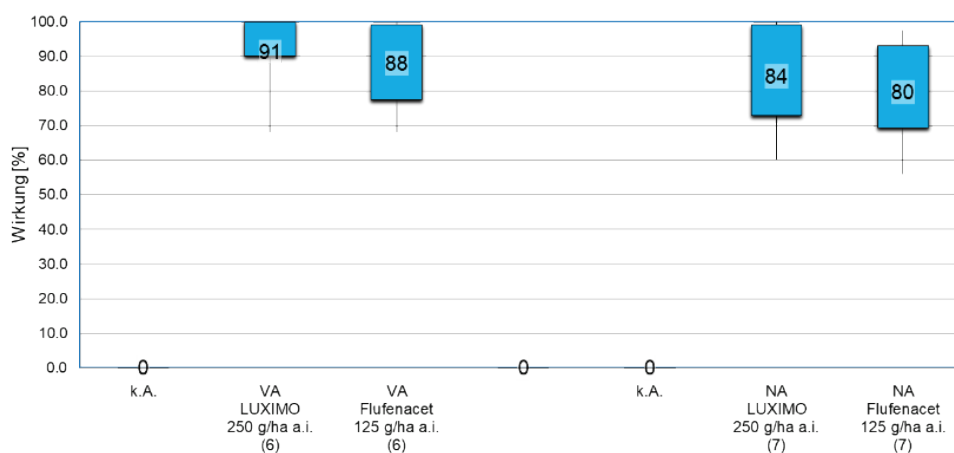


Abbildung 5 Wirksamkeit (%) von LUXIMO® gegen Einjähriges Rispengras (POAAN) in Wintergetreide im Voraufbau und frühen Nachaufbau. Versuche BASF Deutschland, UK 2016-2020. (n) = Anzahl Versuche.

Figure 5 Efficacy (%) of LUXIMO® annual meadowgrass (POAAN) in winter cereals in pre-emergence and early post-emergence. Trials BASF Germany, UK 2016-2020. (n) = number of trials.

Für 188 g/ha LUXIMO® lagen keine Daten vor. Es zeigt sich, dass LUXIMO® zu beiden Terminen jeweils 3 – 4 %-Punkte höhere Wirkungsgrade erzielte als Flufenacet bei insgesamt deutlich besseren Ergebnissen im Voraufbau als im frühen Nachaufbau.

Kulturpflanzenverträglichkeit

Im Gegensatz zur herbiziden Wirksamkeit, wo nur orthogonale Vergleiche zwischen den Aufwandmengen und Produkten innerhalb der Anwendungstermine dargestellt wurden, werden für die Kulturpflanzenverträglichkeit alle in Deutschland erzielten Ergebnisse dargestellt, um ein möglichst umfassendes Bild der Verträglichkeit von LUXIMO® zu erhalten. Die unterschiedlich umfangreiche Datenbasis ist beim Vergleich der Aufwandmengen, Produkte und Termine zu berücksichtigen.

Grundsätzlich zeigt sich bei allen Getreidearten eine etwas bessere Verträglichkeit im frühen Nachaufbau verglichen mit dem Voraufbau. Dieses Ergebnis weist Parallelen mit den Wirksamkeitsdaten auf, wo ebenfalls im Voraufbau eine höhere Wirkstoffaktivität zu beobachten war.

Beim Winterweizen sieht man im Voraufbau einen deutlichen Zusammenhang zwischen Aufwandmenge und Verträglichkeit von LUXIMO®. Allerdings war auch bei der höchsten Aufwandmenge von 500 g/ha mit durchschnittlich 3 % Pflanzenschaden und einer geringen Streubreite der Daten kein Verträglichkeitsrisiko festzustellen.

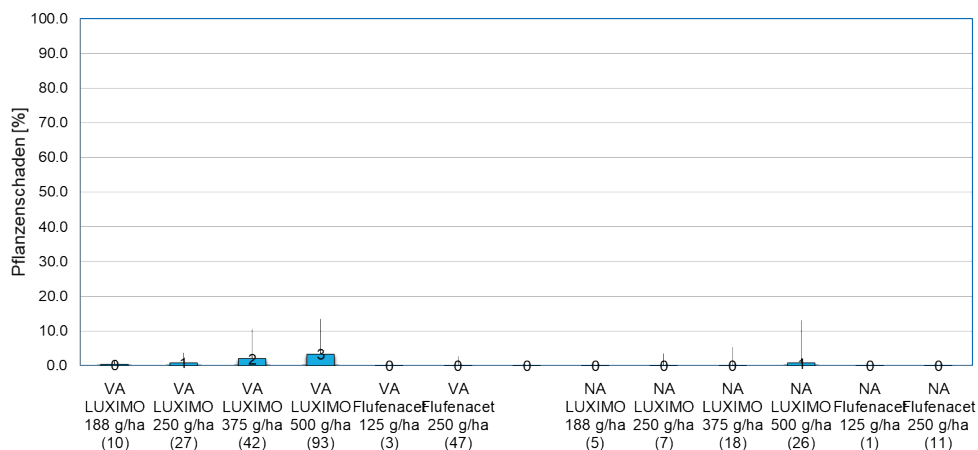


Abbildung 6 Kulturpflanzenschaden (%) von LUXIMO® in Winterweizen im Voraufbau und frühen Nachaufbau. Versuche BASF Deutschland 2016-2021. (n) = Anzahl Versuche.

Figure 6 Crop injury (%) of LUXIMO® in winter wheat in pre-emergence and early post-emergence. Trials BASF Germany 2016-2021. (n) = number of trials.

Bei der Wintergerste ist das Schadrisko im Vergleich zum Winterweizen höher, insbesondere bei Anwendung im Voraufbau. 250 g/ha LUXIMO® in der Wintergerste können vom Schadriskpotenzial her mit 500 g/ha im Winterweizen gleichgesetzt werden

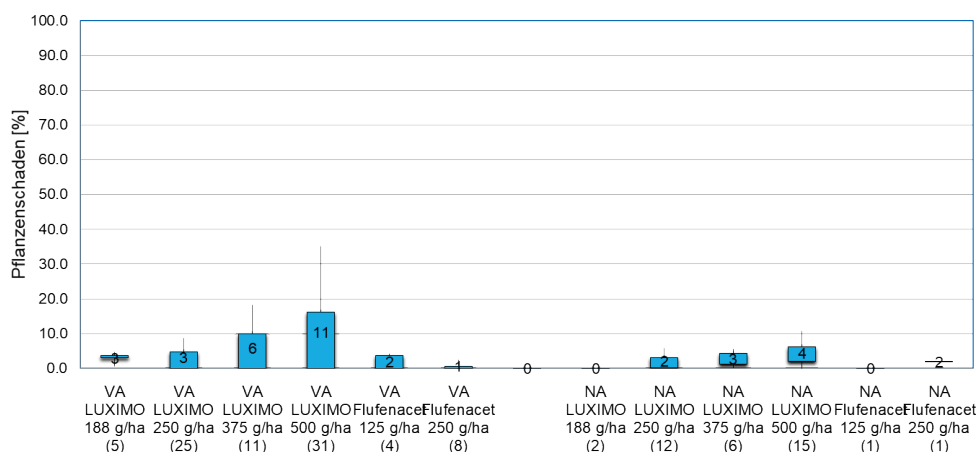


Abbildung 7 Kulturpflanzenschaden (%) von LUXIMO® in Wintergerste im Voraufbau und frühen Nachaufbau. Versuche BASF Deutschland 2015-2020. (n) = Anzahl Versuche.

Figure 7 Crop injury (%) of LUXIMO® in winter barley in pre-emergence and early post-emergence. Trials BASF Germany 2015-2020. (n) = number of trials.

Mit einem durchschnittlichen Kulturpflanzenschaden von 11 % bei 500 g/ha LUXIMO® in der Wintergerste und nicht unerheblicher Streuung der Ergebnisse sind gelegentliche stärkere Schäden bei Anwendung im Voraufbau nicht auszuschließen (Abb. 7). Im frühen Nachaufbau ist dagegen bei einem Durchschnittswert von 4 % bei 500 g/ha LUXIMO® eine gute Verträglichkeit in Wintergerste festzustellen.

Für Triticale scheint LUXIMO® aufgrund der vorliegenden Daten im Vor- wie im frühen Nachaufbau gut verträglich zu sein (Abb. 8).

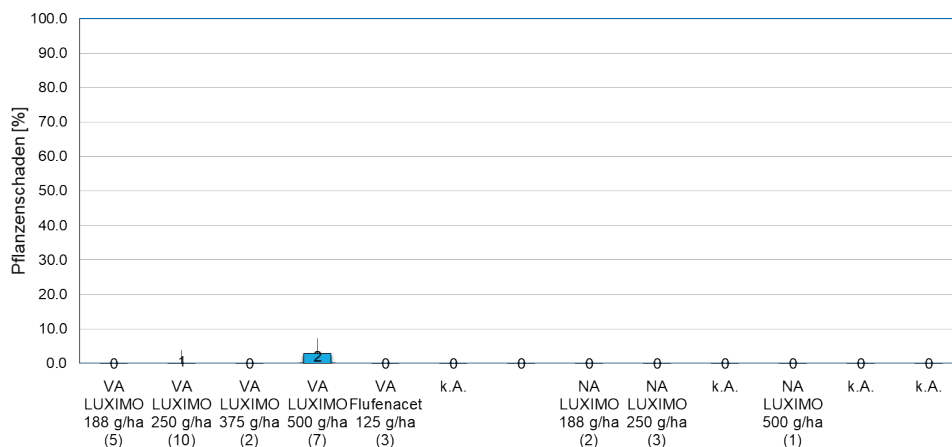


Abbildung 8 Kulturpflanzenschaden (%) von LUXIMO® in Wintertriticale im Vorauf und frühen Nachauf. Versuche BASF Deutschland 2015-2020. (n) = Anzahl Versuche.

Figure 8 Crop injury (%) of LUXIMO® in winter triticale in pre-emergence and early post-emergence. Trials BASF Germany 2015-2020. (n) = number of trials.

Im Winterroggen zeigte LUXIMO® bei 500 g/ha mit 5 % Pflanzenschaden im Vorauf trotz einer gewissen Streubreite der Daten keine nennenswerte Unverträglichkeit (Abb. 9).

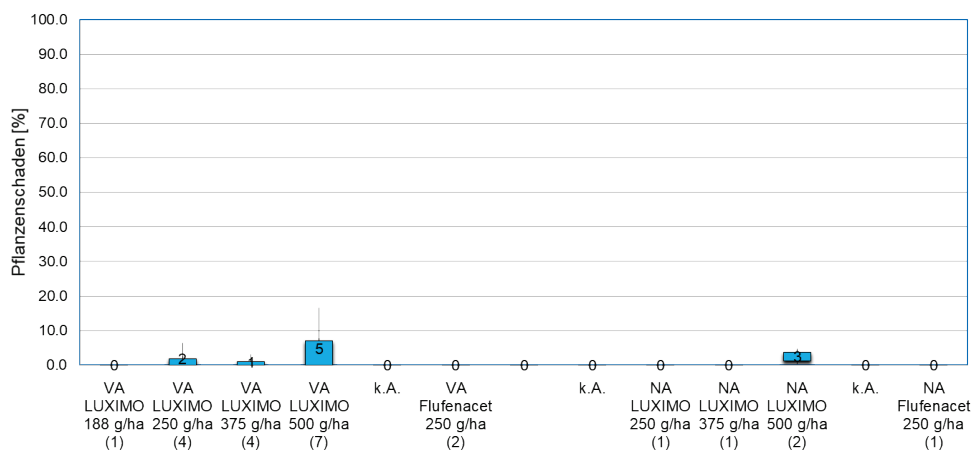


Abbildung 9 Kulturpflanzenschaden (%) von LUXIMO® in Winterroggen im Vorauf und frühen Nachauf. Versuche BASF Deutschland 2016-2020. (n) = Anzahl Versuche.

Figure 9 Crop injury (%) of LUXIMO® in winter rye in pre-emergence and early post-emergence. Trials BASF Germany 2016-2020. (n) = number of trials.

Diskussion

Mit LUXIMO® wird ein neues bodenwirksames Herbizid zur Bekämpfung von Ungräsern im Herbst im Vor- und frühen Nachauf in Wintergetreide erwartet, das Flufenacet in seiner Leistungsfähigkeit übertrifft. Auch wenn Wirkungsvorteile von 4 – 5 %-Punkten auf den ersten Blick gering erscheinen, so ergibt das bei einem Ungrasbesatz von 500 – 1000 Samenträgern pro Quadratmeter 20 – 50 Samenträger pro Quadratmeter weniger. Dieser Unterschied kann sich erheblich auf die Wirtschaftlichkeit des Getreideanbaus auswirken.

Der absolute Wirkungsvorteil von LUXIMO® ist aber nur ein Aspekt für die Vorzüglichkeit dieses Wirkstoffs. LUXIMO® verfügt über den in Ackerbaukulturen bisher nicht genutzten Wirkmechanismus der Hemmung der Fettsäure-Thioesterasen (FAT). Dieser von CAMPE et al. 2018 erstmals beschriebene Wirkmechanismus und von HRAC/WSSA in der Gruppe 30 (HRAC bisher Q) gelistete Wirkstoff ist nach bisherigen

Untersuchungen nicht von Kreuzresistenzen gegenüber anderen Wirkmechanismen betroffen. Dies gilt für Wirkort-Resistenzen (Target Site Resistance) und metabolisch bedingte Resistenzen (Non-Target Site Resistance). Somit bekämpft LUXIMO® Ungras-Biotypen, die auf andere Wirkstoffe nicht mehr reagieren bzw. beugt deren Ausbreitung vor. Um die vorzügliche Wirksamkeit von LUXIMO® längerfristig zu erhalten, ist es notwendig, die Entstehung und Ausbreitung LUXIMO®-toleranter Ungras-Biotypen zu verhindern. Bis zur Markteinführung von LUXIMO® ist hierfür ein für die Praxis verständlicher und nachvollziehbarer Maßnahmenplan zu entwickeln.

Die Ergebnisse zur Kulturpflanzenverträglichkeit haben gezeigt, dass gelegentlich eine Beeinträchtigung der Kulturpflanzen möglich sein kann, insbesondere bei Vorauflauf-Anwendung in Wintergerste bei 500 g/ha Wirkstoff. Im Laufe der Produktentwicklung von LUXIMO® hat sich die Kenntnis wirkungs- und verträglichkeitsbeeinflussenden Boden-, Witterungs- und Anbau-Faktoren erheblich erweitert, zusammen mit intensiven Forschungsaktivitäten zum Verhalten des Wirkstoffs in Pflanze, Boden und Umwelt. Dadurch ist es möglich, konkrete Vorgaben und Handlungsanweisungen zu einfach umzusetzenden Maßnahmen wie Saattiefe, Saatbettbeschaffenheit, Anwendungstermin usw. zu geben, die das Schadrisko in der Praxis weitgehend minimieren.

Literatur

PAYNE, G., S. SOLOWAY, J. POWELL, S. ROMAN, W. KOLLMEYER, 1981: Oxabicycloalkane herbicides, EP81893.

MAY, J., J. MONCORGE, M. MURPHY, 1985: SD 95481 a versatile new herbicide with wide spectrum crop use, Proc. Br. Crop Prot. Conf., 265–270.

CAMPE, R., E. HOLLENBACH, L. KÄMMERER, H. JANNEKE, H. HÖFFKEN, H. KRAUS, J. LERCHL, T. MIETZNER, S. TRESCH, M. WITSCHEL, 2018: A new herbicidal site of action: Cinmethylin binds to acyl-ACP thioesterase and inhibits plant fatty acid biosynthesis; Pesticide Biochemistry and Physiology **148**, 116-125.

Chemische Regulierung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in der Wintergerste – Erfahrungen aus einer 30-jährigen Versuchsserie

*Chemical regulation of black-grass (*Alopecurus myosuroides*) in winter barley – experiences from a 30-year series of field trials*

Klaus Gehring*, Stefan Thyssen

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, 85354 Freising

*klaus.gehring@lfl.bayern.de

DOI: 10.5073/20220124-065703

Zusammenfassung

Die chemische Unkrautregulierung ist eine wesentliche Produktionsmaßnahme im konventionellen Anbau von Wintergerste. Besondere Herausforderungen bestehen dabei auf Standorten mit *Alopecurus myosuroides*-Besatz (Acker-Fuchsschwanz). Der Bayerische Pflanzenschutzdienst hat im Zeitraum von 1990 bis 2019 ein Versuchsprogramm zur Regulierung von *A. myosuroides* in Wintergerste durchgeführt. Auf 139 Standorten wurden unterschiedliche Herbizidbehandlungen für eine effiziente Regulierung von *A. myosuroides* geprüft. Im Mittel über alle Behandlungen wurde ein Wirkungsgrad von 85 % erreicht. Hierdurch konnte eine durchschnittliche Ertragsabsicherung von 140 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle erzielt werden. Herbizidbehandlungen auf der Basis von blattaktiven Herbiziden aus der Gruppe der ACCase-Inhibitoren (HRAC: 1) waren Anwendungen von primär bodenaktiven Herbiziden in der Bekämpfungsleistung überlegen. Weitere wesentliche Einflussfaktoren für die Regulierungsleistung waren die Besatzdichte und der Grad der ACCase-Resistenz von *A. myosuroides*. Für die nachhaltige Anbaufähigkeit von Wintergerste auf Standorten mit *A. myosuroides* sind die Umsetzung eines konsequenten Resistenzmanagements und die Verfügbarkeit von leistungsfähigen, blattaktiven ACCase-Inhibitoren für die Regulierung von *A. myosuroides* unverzichtbar.

Stichwörter: ACCase-Inhibitoren, *Alopecurus myosuroides*, Herbizide, Herbizidresistenz, Unkrautbekämpfung

Abstract

Chemical weed control is an essential tool in conventional cultivation of winter barley. Particular challenges exist on sites with *Alopecurus myosuroides* (blackgrass). The Bavarian Plant Protection Service conducted an experimental program investigating the chemical control of *A. myosuroides* in winter barley from 1990 to 2019. Different herbicide treatments were tested for their efficacy on *A. myosuroides* at 139 sites. On average, 85% efficacy was achieved over all treatments. This resulted in an average yield protection of 140% compared to untreated control. Herbicide control based on foliar herbicides belonging to the group of ACCase inhibitors (HRAC: 1) showed higher efficacy compared to prevailing soil-active herbicides. Other significant factors influencing *A. myosuroides* control were stocking density and the degree of ACCase resistance of *A. myosuroides*. For the sustainable cultivation of winter barley on sites with *A. myosuroides*, the implementation of a consistent resistance management and the availability of powerful, foliar-active ACCase inhibitors for the regulation of *A. myosuroides* are indispensable.

Keywords: ACCase-Inhibitors, *Alopecurus myosuroides*, herbicides, herbicide resistance, weed control

Einleitung

Die Wintergerste ist in Deutschland nach dem Winterweizen die bedeutendste Getreideart. Die Anbaufläche liegt derzeit bei 1,25 Mio. Hektar (ha) und entspricht damit 21 % der Getreideanbaufläche. In Bayern beträgt die Anbaufläche von Wintergerste 212 000. Hektar, was ebenfalls einen Anteil von 20 % der

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

bayerischen Getreideanbaufläche entspricht (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2021). Wintergerste wird vorrangig als Futtergrundlage in der Veredelungswirtschaft verwertet. Die Wirtschaftlichkeit wird durch die Nachfrage aus der Futtermittelbranche und durch die innerbetriebliche Vorzüglichkeit bestimmt. Aspekte der Fruchtfolgegestaltung sind hier ebenfalls relevant. Bei einer aktuellen Deckungsbeitragsleistung von 230 € ha⁻¹ (LfL, 2021) sind die produktionstechnischen Spielräume sehr begrenzt. Ertragsverluste müssen durch möglichst kostengünstige Produktionstechniken verhindert werden. Hierbei hat die effiziente Unkrautregulierung eine große Bedeutung. Aufgrund der zunehmenden Ausbreitung und dem hohen Konkurrenzdruck steht die Regulierung von *A. myosuroides* (Acker-Fuchsschwanz) besonders im Fokus. Der Bayerische Pflanzenschutzdienst hat daher seit den 1990er Jahren eine produktionstechnische Versuchsserie zur effizienten Regulierung von *A. myosuroides* in der Wintergerste durchgeführt. Aufgrund der fehlenden herbizidtechnischen Innovationen wurde das Versuchsprogramm schließlich im Jahr 2019 eingestellt. In der vorliegenden Arbeit werden die wesentlichen Ergebnisse dieser dreißigjährigen Versuchsserie zusammenzufassen.

Material und Methoden

In Feldversuchen wurden möglichst effiziente Herbizide und Herbizidkombinationen zur Unkrautregulierung auf Standorten mit *A. myosuroides* als Leitunkraut auf Basis der jeweils am Markt verfügbaren Präparate geprüft. Die Exaktversuche wurden gemäß der EPPO-Richtlinie PP 1/93 (EPPO, 2007) durchgeführt. Erhobene Ertragsdaten wurden varianzanalytisch und Boniturdaten mittels verteilungsfreier Rangvarianzanalyse ausgewertet (UNISTAT LTD., 2015). Ab dem Versuchsjahr 2004 wurden systematisch Resistenzuntersuchungen durchgeführt. Es erfolgten Biotests unter Labor- und Gewächshausbedingungen (GEHRING et al., 2020).

Im Untersuchungszeitraum von 1990 bis 2019 wurden in Bayern 139 Feldversuche mit insgesamt 1554 Behandlungen durchgeführt. Die hierbei eingesetzten Herbizidwirkstoffe zur Regulierung von *A. myosuroides* stammen aus lediglich vier unterschiedlichen Wirkmechanismusgruppen (HRAC, 2021; Tab. 1). Die Wirkstoffe Fenoxaprop-P und Isoproturon sind derzeit in Deutschland nicht mehr zugelassen.

Die Behandlungsvarianten bestanden zum Teil aus der Sololanwendung von Breitbandherbiziden mit Wirkung gegen mono- und dikotyle Unkräuter, meist handelte es sich aber um Tankmischungen oder Spritzfolgen aus Kombinationen verschiedener Präparate. Einzelne Varianten wurden in der Regel über einen Zeitraum von drei Jahren geprüft. Die Konzeption der Varianten erfolgte nach dem jeweils verfügbaren Präparatespektrum, mit dem Ziel einer möglichst effektiven Regulierung von *A. myosuroides* und variieren daher im 30-jährigen Versuchszeitraum.

Tabelle 1 In den Versuchen eingesetzte Herbizidwirkstoffe zur Regulierung von *A. myosuroides*

Table 1 Active substances used in the experiments for the regulation of *A. myosuroides*

Wirkstoff	HRAC-Gruppe	Versuchs-periode
Chlortoluron	5	1990-2019
Fenoxaprop-P*	1	1996-2016
Flufenacet	15	1997-2019
Isoproturon*	5	1990-2014
Pendimethalin	3	1990-2019
Pinoxaden	1	2005-2019
Prosulfocarb	15	1990-2019

HRAC = Herbicide Resistance Action Committee (HRAC, 2021), *nicht mehr zugelassen

Die Herbizidbehandlungen erfolgten in unterschiedlichen Anwendungsverfahren:

- Im Voraufbau (VA)
- Nach dem Auflaufen im Keimblattstadium (NAK)
- Nach dem Auflaufen im Herbst (NAH)
- Nach dem Auflaufen im Frühjahr (NAF)
- Spritzfolge Herbst/Frühjahr (VA-NAH/NAF)

Bei den frühen Anwendungsterminen im VA bis NAK wurden vor allem bodenaktive Herbizide eingesetzt, bei NAH- und Spritzfolgebehandlungen wurden boden- und blattaktive Herbizide kombiniert und bei NAF-Behandlungen kamen nur blattaktive Herbizide aus der Gruppe der ACCase-Inhibitoren zum Einsatz.

Ergebnisse

Unkrautvorkommen und Ertragsauswirkungen

Das Unkrautspektrum war stark vom Besatz mit *A. myosuroides* dominiert (Abb. 1). Als weitere Leitunkräuter waren mit einer Stetigkeit von etwa 10-20 % noch *Galium aparine*, *Viola arvensis*, *Veronica sp.*, *Matricaria sp.* und *Lamium sp.* von Bedeutung. Auf über 45 % der Versuchsstandorte trat nur *A. myosuroides* als Leitunkraut auf. Auf jeweils rund 20 % der Standorte wurden zwei bzw. drei Leitunkräuter festgestellt.

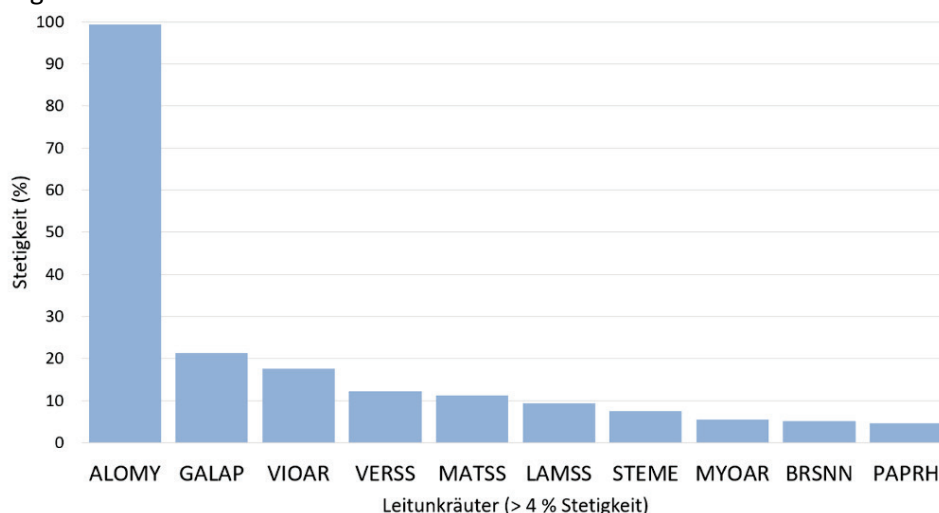


Abbildung 1 Unkrautspektrum in Wintergerste auf Standorten mit *A. myosuroides* als Leitunkraut. Stetigkeit (%), Mittelwerte aus 139 Feldversuchen in Bayern von 1990-2019.

Figure 1 Spectrum of weeds in winter barley on sites with *A. myosuroides* as leading weed. Species constancy (%), mean values for 139 field trials in Bavaria from 1990-2019.

Auf 72 Versuchsstandorten erfolgte eine Ertragsenerhebung, wodurch die ökonomische Effizienz der Herbizidbehandlung bewertet werden konnte (Abb. 2). Eine Ertragsabsicherung von $\bar{x}$ 140 % im Verhältnis zur unbehandelten Kontrolle entsprach dabei einer Steigerung des Naturalertrags um $\bar{x}$ 18,3 dt ha⁻¹ (SD 12,2 dt ha⁻¹). Eine hieraus resultierende bereinigte Marktleistung von $\bar{x}$ 825 € ha⁻¹ (SD 303 € ha⁻¹) belegt einerseits die hohe Vorzüglichkeit des Herbizideinsatzes, auf der anderen Seite aber auch die Abhängigkeit im Anbau von Wintergerste von einer effektiven chemischen Unkrautregulierung.

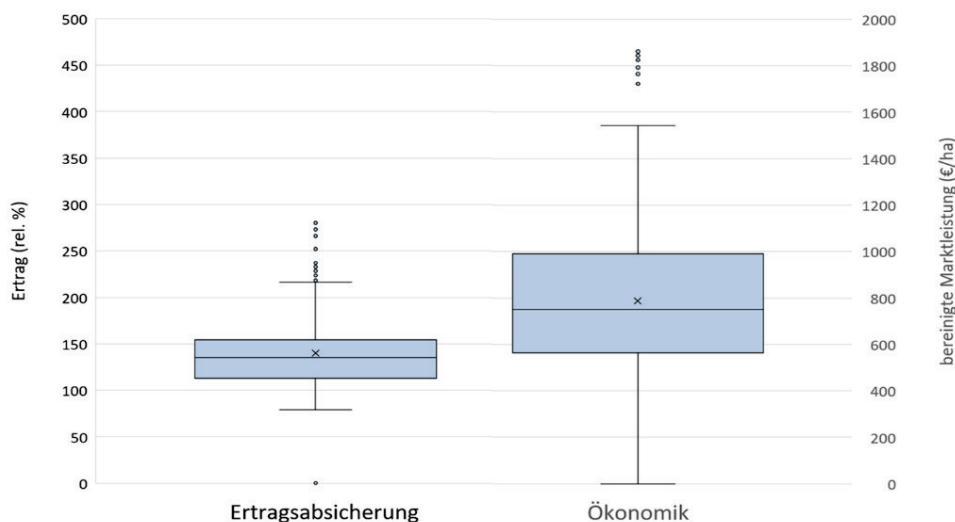


Abbildung 2 Ertragsabsicherung und Ökonomik der chemischen Regulierung von *A. myosuroides* in Wintergerste, Box-Plot-Verteilungscharakteristik, 72 Feldversuche in Bayern von 1990-2019.

Figure 2 Yield protection and economic efficiency of chemical regulation of *A. myosuroides* in winter barley, box plot distribution characteristics, 72 field trials in Bavaria from 1990-2019.

Kontrolle von *A. myosuroides*

Über alle Behandlungsvarianten hinweg wurde *A. myosuroides* zu $\bar{x}$ 85 % (SD 17,5 %; MED 92,1 %) bekämpft. Eine Veränderung dieser durchschnittlichen Bekämpfungsleistung konnte innerhalb der Versuchsperiode nicht festgestellt werden, das heißt, dass sich die Bekämpfbarkeit von *A. myosuroides* in der Wintergerste im Verlauf des Versuchsprogramms unabhängig von den eingesetzten Herbiziden nicht verbessert oder verschlechtert hat.

Ein Vergleich der Anwendungsvarianten zeigte, dass der Einsatz von bodenaktiven Herbiziden im Voraufbau bis sehr frühen Nachaufbau (NAK) eine signifikant geringere Regulierungsleistung als Anwendungen in Kombination mit boden- und blattaktiven Herbiziden im Nachaufbauverfahren bzw. in Spritzfolgen erzielte (Abb. 3). Eine Untersuchung der Regulierungsleistung je nach Besatzdichte von *A. myosuroides* (niedrig < 100, mittel 100-500, hoch > 500 Ähren/m²) ergab eine signifikante Differenzierung zwischen den einzelnen Besatzdichte-Gruppen. Während eine Wirkung von $\bar{x}$ 88,3 % (SD 17,6 %; MED 95,8 %) bei niedrigem Besatz von *A. myosuroides* bereits als grenzwertig eingestuft werden kann, ist sie mit $\bar{x}$ 82,4 % (SD 18,6 %; MED 89,2 %) bei hohen Besatzdichten als völlig unzureichend zu bewerten (Abb. 3).

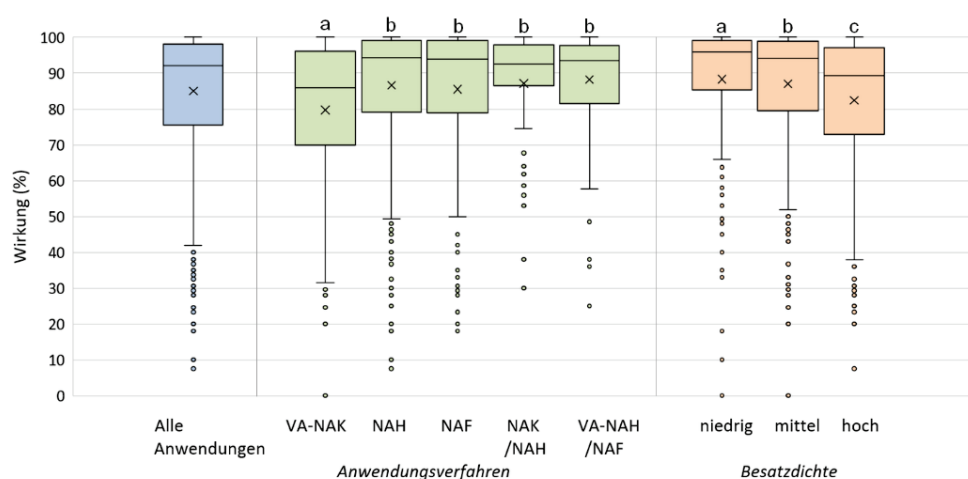


Abbildung 3 Regulierung von *A. myosuroides* in Wintergerste mit Differenzierung nach Herbizid-Anwendungsverfahren und Besatzdichte von *A. myosuroides*. 139 Versuche, Bayern 1990-2019, n=1542, Box-Plot-Verteilungscharakteristik mit Rangvarianzanalyse Kruskal-Wallis one-way ANOVA.

Figure 3 Regulation of *A. myosuroides* in winter barley with differentiation by herbicide application method and stocking density of *A. myosuroides*. 139 field trials in Bavaria from 1990-2019, n=1542, box plot distribution characteristics with Kruskal-Wallis one-way analysis of variance.

Im Vergleich der zur Regulierung von *A. myosuroides* eingesetzten Herbizidwirkstoffe bzw. Wirkmechanismusgruppen ergab sich eine signifikante Differenzierung in der Bekämpfungsleistung (Abb. 4). Die Anwendung von Wirkstoffen aus der HRAC-Gruppe 1 (ACCCase-Inhibitoren) erzielte als Einzelanwendung oder in Kombination mit Wirkstoffen der HRAC-Gruppe 3 (Hemmung der Bildung von Mikrotubuli und der Zellteilung), der HRAC-Gruppe 15 (Hemmung der Fettsäuresynthese) und der HRAC-Gruppe 5 (PSII-Inhibitoren) eine Bekämpfungsleistung im Bereich von $\bar{\varnothing}$ 88,4 bis 92,1 %. Anwendungen auf der Basis von Herbiziden aus der HRAC-Gruppe 5, 15 oder Kombinationen der Gruppe 3 und 5 konnten mit $\bar{\varnothing}$ 77,1 bis 83,3 % Wirkung nur eine deutlich schwächere Regulierungsleistung gegenüber *A. myosuroides* erreichen.

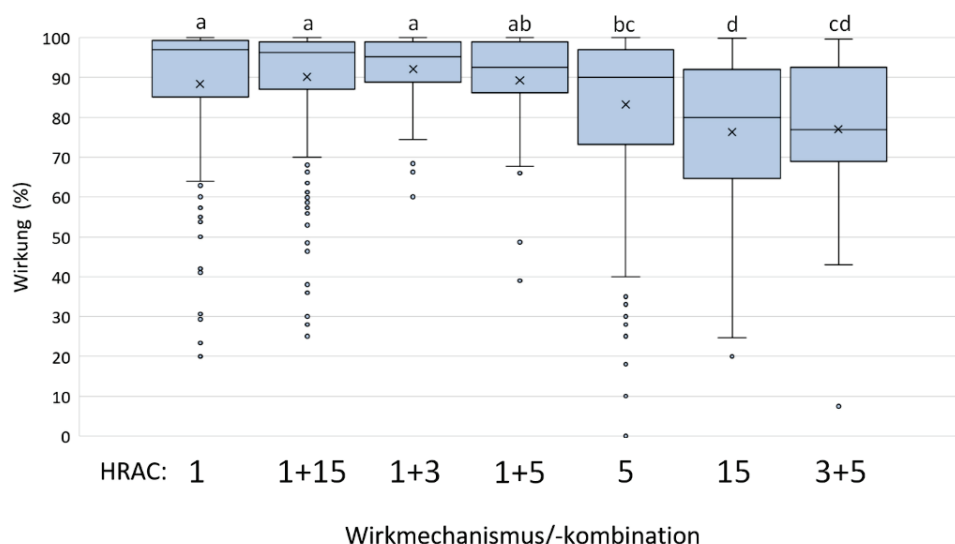


Abbildung 4 Regulierung von *A. myosuroides* in Abhängigkeit der eingesetzten Herbizide bzw. deren Wirkmechanismus. 139 Feldversuche, Bayern 1990-2019, n=1217, Statistik siehe Abbildung 3.

Figure 4 Regulation of *A. myosuroides* depending on the herbicides used and their mode of action. 139 field trials, Bavaria 1990-2019, n=1217, statistics see figure 3.

Als weiterer, wesentlicher Einflussfaktor für die Kontrolle von *A. myosuroides* in der Wintergerste konnte das Niveau der Resistenz gegenüber Herbiziden aus der HRAC-Gruppe 1 (ACCase-Inhibitoren) identifiziert werden. Während Populationen mit einer noch vorhandenen bis zu einer nachlassenden Sensitivität (Resistenzklasse 0 bis 1, CLARKE et al. 1994) noch sehr effizient mit einer Wirkung von $\bar{\varnothing}$ 91,9 bis 94,1 % kontrolliert werden konnten, waren Populationen mit einer voll ausgeprägten Resistenz (Klasse 5) gegen ACCase-Inhibitoren mit einer $\bar{\varnothing}$ Wirkung von 48,9 % nicht mehr kontrollierbar (Abb. 5).

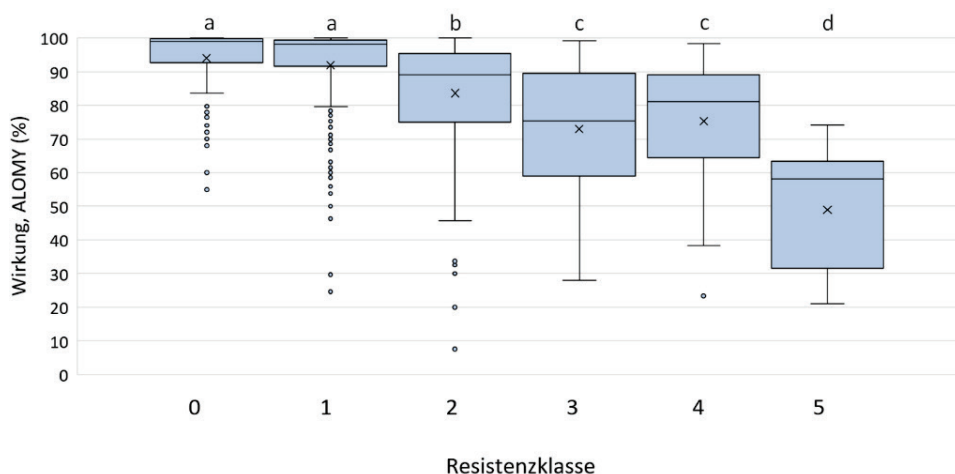


Abbildung 5 Regulierung von *A. myosuroides* in Abhängigkeit vom Resistenzniveau gegenüber ACCase-Inhibitoren. 72 Feldversuche, Bayern 2004–2019, n=821, Statistik siehe Abbildung 3.

Figure 5 Regulation of *A. myosuroides* as a function of resistance to ACCase inhibitors. 72 field trials, Bavaria 2004–2019, n=821, statistics see figure 3.

In Tabelle 2 sind im Versuchsprogramm geprüfte und derzeit zugelassene bzw. am Markt verfügbare Herbizide und Herbizid-Kombinationen nach dem mittleren Wirkungsgrad (MW) gegen *A. myosuroides* aufgelistet. Der Großteil der Behandlungsvarianten besteht aus Tankmischungen oder Spritzfolgen mit den Präparat Axial 50® (Wirkstoff: Pinoxaden, HRAC-Gruppe 1). Insbesondere die leistungsfähigsten Behandlungsvarianten mit einer $\bar{\varnothing}$ Wirkung gegen *A. myosuroides* von ≥ 90 % sind ausnahmslos Kombinationen mit diesem Präparat aus der Gruppe der ACCase-Inhibitoren.

Die hier aufgeführten Versuchsergebnisse belegen die sehr hohe Abhängigkeit der Regulierung von *A. myosuroides* in der Wintergerste von der Verfügbarkeit von Pinoxaden und dessen uneingeschränkter Leistung ohne Wirkungseinschränkungen aufgrund von ACCase-Resistenzen. Diese bereits begrenzte Bekämpfbarkeit ist von einer dynamischen Entwicklung der ACCase-Resistenz von *A. myosuroides* gefährdet (GEHRING et al., 2020). Die festgestellte Bekämpfungsleistung der in Tabelle 2 aufgelisteten Behandlungsvarianten hat daher auch einen zeitlichen Aspekt. Varianten, die zu Beginn der Versuchsperiode eingesetzt wurden (Bsp.: V-1) waren gegenüber Varianten, die am Ende der Versuchsperiode geprüfte wurden (Bsp.: V-15) aufgrund der noch geringeren Resistenzproblematik relativ bevorteilt. Die konsequente und nachhaltige Umsetzung eines standort- und betriebsspezifischen Resistenzmanagements ist für eine ausreichende Regulierung von *A. myosuroides* in der Wintergerste und damit für die weitere Anbauwürdigkeit der Kultur unverzichtbar (GEHRING et al., 2012, ZWERGER et al., 2017).

Tabelle 2 Im Versuchsprogramm geprüfte und derzeit verfügbare Herbizide bzw. Herbizid-Kombinationen zur Regulierung von *A. myosuroides* in Wintergerste. Sortiert nach mittlerem Wirkungsgrad (%), 97 Feldversuche, Bayern 2000-2019, Statistik siehe Abb. 3

Table 2 Herbicides or herbicide combinations tested in the experimental programme and currently available for the regulation of *A. myosuroides* in winter barley. Sorted by medium efficiency (%), 97 field trials, Bavaria 2000-2019, statistics see figure 3

Var.	Präparate	AWM (l ha ⁻¹)	Termin	MW (%)	SD (%)	Stat.	n
V-1	Stomp Aqua + Axial 50	2,5 + 0,9	NAH	96,4	8,6	a	18
V-2	Picono + Axial 50	2-2,5 + 0,9	NAH	95,4	9,7	a	17
V-3	Trinity + Axial 50	2,0 + 0,9	NAH	91,7	9,6	ab	10
V-4	Malibu + Axial 50	2-3,0 + 0,9	NAH	91,2	11,7	a	49
V-5	Herold SC / Axial 50	0,6 / 1,2	NAK/NAF	90,8	8,6	ab	13
V-6	Malibu + Boxer / Axial 50	3,0 + 2,0 / 1,2	NAK/NAF	89,4	6,6	ab	11
V-7	Malibu + Boxer	3,0 + 2,0	NAK	87,9	11,7	ab	10
V-8	Boxer + Axial Komplett	3,0 + 1,0	NAH	87,3	15,7	ab	17
V-9	Herold SC + Axial 50	0,6 + 0,9	NAH	86,5	15,6	ab	31
V-10	Stomp Aqua + Lentipur 700	2,0 + 3,0	NAK	86,2	16,5	ab	11
V-11	Herold SC + Boxer / Axial 50	0,6 + 3,0 / 1,2	NAK/NAF	85,5	16,9	ab	14
V-12	Carmina 640 + Axial 50	3,5 + 0,9	NAH	81,0	22,1	ab	10
V-13	Quirinus + Axial 50	1,0 + 0,9	NAH	77,1	24,7	ab	10
V-14	Malibu	4,0	NAH	77,0	17,9	b	60
V-15	Quirinus / Axial 50	1,0 / 1,2	NAK/NAF	74,2	24,6	ab	10

AWM = Aufwandmenge, Präparate (BVL, 2021)

Literatur

- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL), 2021: LfL-Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten - Wintergerste. URL: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/wintergerste.html>.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL), 2021: Unkrautmanagement im Getreidebau. URL: <https://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/025554/index.php>.
- BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BVL), 2021: Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel. URL: <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp>.
- 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.
- EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION (EPPO), 2007: EPPO-Guideline PP1/93 (3) Efficacy evaluation of herbicides – weeds in cereals. 5 pp.
- 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, 2020: Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **464**, 400-406.
- GEHRING, K., T. FESTNER, S. THYSSEN, 2020: Populationsdynamik und Resistenzentwicklung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Herbizidbehandlung. Julius-Kühn-Archiv **464**, 319-325.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (HRAC), 2021: Global Herbicide Classification Lookup. URL:
<https://hracglobal.com/tools/classification-lookup>.

INFORMATIONSSYSTEM INTEGRIERTE PFLANZENPRODUKTION E.V. (ISIP), 2021: ISIP Versuchsberichte. URL:
<https://www.isip.de/isip/servlet/isip-de/infothek/versuchsberichte/erweitert>.

STATISTISCHES BUNDESAMT, 2021: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Feldfrüchte und Grünland. URL:
https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/_inhalt.html#sprg478202.

UNISTAT LTD., 2015: User Guide, Version 6.5. London, UK, 1244 p.

ZWERGER, P. et al., 2017: Integriertes Unkrautmanagement zur Vermeidung von Herbizidresistenz. *Journal für Kulturpflanzen* **69** (4), 146–149.

Hält der späte Saattermin, was er verspricht? Auswertungen zur Herbizid-Intensität in Winterweizen und Wintergerste

On-farm herbicide use in winter wheat and barley in response to the seeding date

Sabine Andert^{1*}, Andrea Ziesemer²

¹Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur für Phytomedizin, Satower Straße 48, 18051 Rostock

²Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Betriebswirtschaft, Dorfplatz 1, 18276 Gülzow-Prüzen

*sabine.andert@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/20220124-065850

Zusammenfassung

Der Zeitpunkt der Aussaat kann die Entwicklung von Unkräutern und Ungräsern beeinflussen. Der vorliegende Beitrag prüft den Effekt des Saattermins auf die Intensität des Einsatzes herbizider Wirkstoffgruppen in Winterweizen und Wintergerste. Zu diesem Zweck werden Anbaudaten landwirtschaftlicher Praxisdaten in Norddeutschland über den Zeitraum 2012-2020 analysiert. Als Maßzahlen für die Pflanzenschutz-Intensität wird der Behandlungsindex verwendet. Herbizide Wirkstoffe werden mittels globaler HRAC-Klassifizierung gruppiert.

Die Ergebnisse der Auswertungen belegen den Einfluss des Aussaattermins auf die Intensität des Herbizid-Einsatzes der Praxisbetriebe. Je später die Aussaat, desto geringer die Intensität der eingesetzten Herbizide. Der Aussaattermin reduziert signifikant die Intensität der HRAC-Gruppen 2 (ALS-Inhibitoren) und 15 (Zellteilungs- und Lipid-Synthese-Inhibitoren) in Wintergerste und Winterweizen. Die Einsatzintensität von ACCase-Inhibitoren (HRAC 1), EPSP-Inhibitoren (HRAC 9) und PDS-Inhibitoren (HRAC 12) wird darüber hinaus signifikant durch Spätsaaten in Winterweizen reduziert.

Die Auswertungen der Anbaudaten deuten jedoch darauf hin, dass der Saattermin als Mittel des Integrierten Pflanzenschutzes in der Praxis nur gering genutzt wird. Wintergerste und Winterweizen werden in den Praxisbetrieben Mecklenburg-Vorpommerns überwiegend zu frühen bis mittleren Saatterminen gesät.

Zunehmende Resistenzentwicklungen bedeutender Ungräser und Unkräuter sowie die politischen Forderungen, den Pflanzenschutzmittel-Einsatz zukünftig stärker in das Gesamtsystem Ackerbau zu stellen, mahnen zu Veränderungen der Saatzeit in der Praxis.

Stichwörter: Betriebsdaten, Pflanzenschutzmittel-Intensität, Unkrautmanagement

Abstract

The seeding date is often presented as an efficient management tool for controlling weeds. We investigated the contribution of the seeding date to the variability of herbicide active ingredient use. Data on crop management and herbicide applications from farms in Northern Germany were examined for winter wheat and winter barley between 2012 and 2020. We analysed herbicide use intensity described as Treatment Frequency Index. Herbicide active ingredient are classified using the global HRAC classification. Our results revealed that the seeding date had a strong impact on-farm herbicide use intensity. Late seeding dates resulted in a lower intensity of herbicide use. The seeding date significantly reduced influence the use intensity of HRAC groups 2 (ALS inhibitors) and 15 (cell division and lipid synthesis inhibitors) in winter barley and winter wheat. ACCase inhibitors (HRAC 1), EPSP inhibitors (HRAC 9) and PDS inhibitors (12) were also significantly reduced by late seeding dates in winter wheat.

Nevertheless, the on-farm data indicate that the adoption of seeding dates as an Integrated Pest Management tool by farmers has been limited. The seeding dates in our analysis were most commonly classified as early to medium.

Farmers are strongly encouraged to revise their seeding dates due to an increasing development of herbicide resistance in weeds and the political demands to reduce the input of chemical plant protection products in the overall cropping system.

Keywords: On-farm data, pesticide use intensity, weed management

Einleitung

Die nationale ‚Ackerbaustrategie 2035‘ (BMEL, 2021) und die europäische ‚Farm to Fork Strategy‘ (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2020) fordern die nachhaltige Reduktion chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel. Nach den Grundsätzen des Integrierten Pflanzenschutzes (Richtlinie 2009/128/EG des Europäischen Parlaments und des Rates) gilt, dass neben weiteren vorbeugenden Maßnahmen wie beispielsweise Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Sortenwahl, auch der Saattermin als bedeutendes Tool im Ackerbau eingesetzt werden soll um das Auftreten von Schadorganismen vorbeugend zu reduzieren. Der Zeitpunkt der Aussaat kann insbesondere die Entwicklung von Unkräutern und Ungräsern beeinflussen (HAKANSSON, 2003; RASMUSSEN, 2004). Ein früher Saattermin von Wintergetreide führt insbesondere zu einem verstärkten Auftreten von Ungräsern (MELANDER, 1995; RASMUSSEN, 2004; LUTMAN et al., 2013).

BÜRGER et al. (2012) untersuchten Anwendungsdaten landwirtschaftlicher Praxisbetriebe und ermittelten signifikante Herbizid-Einsparungen durch späte Saattermine des Winterweizens. Auswertungen des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes der ‚Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz‘ bestätigen eine negative, signifikante Korrelation zwischen Aussaattermin und Herbizid-Intensität (FREIER et al., 2015).

Der vorliegende Beitrag prüft weiterführend den Effekt des Saattermins auf die Intensität einzelner herbizider Wirkstoffgruppen in Winterweizen und Wintergerste. Zu diesem Zweck werden Anbaudaten der Referenzbetriebe der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA MV) genutzt. Als Maßzahlen für die Pflanzenschutz-Intensität wird der Behandlungsindex verwendet. Herbizide Wirkstoffgruppen werden mittels HRAC-Klassifizierung gruppiert.

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 wurden Anbaudaten von Winterweizen (1875 Felder) und Wintergerste (960 Felder) von 17 Referenzbetrieben aus neun Jahren (2012-2020) analysiert.

Datenanalyse

Aus den Schlagaufzeichnungen wurden schlagspezifische Anbaudaten, Ackerzahlen und jährliche Erträge entnommen. Zum Anbau wurden die Art der Bodenbearbeitung (nicht wendend/wendend), Saatdatum, Sorte, Saatstärke (Körner/m²) und die Vorfrucht dokumentiert. Die Gruppierung des Saattermins erfolgte in fünf Klassen: "bis 15.9.", "16.-30.9.", "01.-15.10.", "16.-31.10.", "ab 01.11.".

Zur Darstellung und zum Vergleich der Herbizid-Intensitäten wird der Indikator Behandlungsindex (BI) verwendet (ROßBERG et al., 2002). Die Wirkstoffgruppen wurden entsprechend der Klassifizierung der Wirkungsmechanismen für Herbizide (Herbicide Resistance Action Committee, HRAC) gruppiert und der BI für jede HRAC-Gruppe berechnet. Applikationen mit nicht-selektiven Herbiziden vor der Aussaat wurden der HRAC-Gruppe 9 zugeordnet.

Statistische Auswertungen

Die Auswertungen zum Zusammenhang zwischen der Aussaat und dem Einsatz von Herbiziden wurden mittels multipler Regressionen durchgeführt. Das Model lautet:

$$BI_{fj} = \mu + A_{fj} + bb_{fj} + vf_{fj} + a_f + k_j + l_r + \varepsilon_{ajkl}$$

Das Symbol μ kennzeichnet die mittleren Herbizid-Intensität (Referenzwert). BI_{fj} ist die Herbizid-Intensität eines Feldes (f) im Jahr k_j . A_{fj} beschreibt den fixen Effekt der Aussaat eines Feldes (f) im Jahr (j). a_f ist der zufällige Effekt der Bodengüte (Ackerzahl) des Feldes f. k_j ist der zufällige Effekt von jährlichen Bedingungen im Jahr j. l_r ist der zufällige Effekt von regionalen Bedingungen in der Region r. ε_{ajkl} ist der Fehlerterm. Es wurden separate Modelle für die Gesamtherbizid-Intensität und die HRAC-Gruppen jeweils in Winterweizen und Wintergerste erstellt.

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit der Softwareumgebung R (R CORE TEAM, 2020) und den Paketen und 'lme4' (BATES et al., 2015), 'lmerTest' (KUZNETSOVA et al., 2017). Für die grafische Darstellung der Ergebnisse wurde das Paket 'ggplot2' (WICKHAM, 2016) verwendet.

Ergebnisse

Betriebliche Aussaatzeitpunkte in Wintergerste und Winterweizen

Wintergerste und Winterweizen werden in den Referenzbetrieben Mecklenburg-Vorpommerns überwiegend früh und als Liniensorten gedreht (Abb. 1). Der Anteil von Hybridsorten ist in Wintergerste und Winterweizen gering. Hybridgerste ist in allen Saatzeitgruppen vertreten, ihr relativer Anteil ist bei Saatterminen ab jedoch Oktober höher. Hybridweizen wird vor allem bei früherem Saattermin eingesetzt.

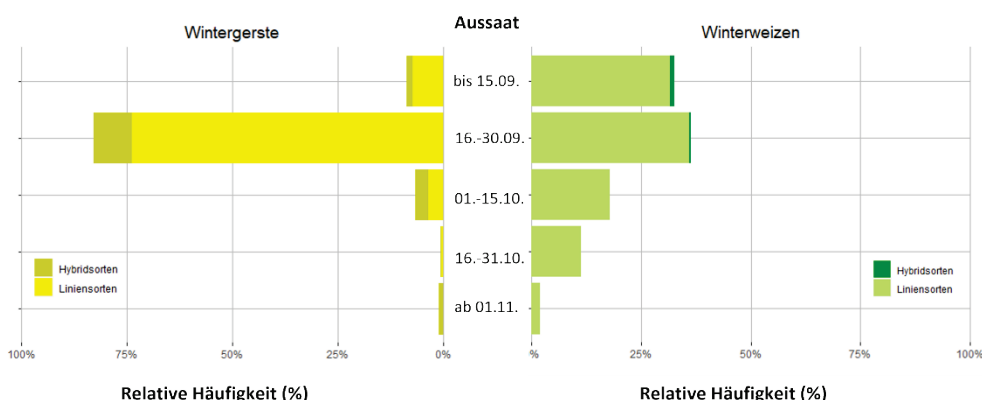


Abbildung 1 Häufigkeit (%) der Felder je Aussaatklasse in Wintergerste und Winterweizen.

Figure 1 Frequency (%) of fields per sowing date in winter barley and winter wheat.

Herbizid-Intensitäten in den Aussaatklassen

Fruchtsequenzen

Tabelle 1 stellt den Effekt des Aussaattermins auf die Herbizid-Intensität in Wintergerste und Winterweizen dar. Die Ergebnisse belegen den Einfluss des Aussaattermins auf den Herbizid-Einsatz der Referenzbetriebe in Mecklenburg-Vorpommern. Je später die Aussaat erfolgte, desto geringer war die Intensität der eingesetzten Herbizide in beiden Kulturen. Die Unterschiede in der Herbizid-Intensität zwischen den Aussaatklassen sind signifikant. Die mittlere BI-Differenz zwischen den Aussaatklassen ‚bis 15.09.‘ und ‚ab 01.11.‘ beträgt $BI=0.79$, dies entspricht einer zusätzlichen Überfahrt mit Herbiziden in Winterweizen mit 79 % der zugelassenen Aufwandmenge.

Tabelle 1 Regression: Effekt des Saattermins auf die Herbizid-Intensität. Signifikanzlevel: $P < 0,1$, $*P < 0,05$, $**P < 0,01$ and $***P < 0,001$

Table 1 Regression: Effect of sowing date on herbicide use intensity. Significance codes: $P < 0.1$, $*P < 0.05$, $**P < 0.01$ and $***P < 0.001$

	Winterweizen		Wintergerste	
	Mittlere Herbizid-Intensität	P (t)	Mittlere Herbizid-Intensität	P (t)
bis 15.9.	2.05	1.62e-9 ***	1.55	3.7e-12 ***
16.-30.9.	1.96	2.52e-2 *	1.41	8.8e-2 .
01.-15.10.	1.70	2.79e-11 ***	1.41	2.6e-1
16.-31.10.	1.66	3.32e-09 ***	1.28	5.6e-1
ab 01.11.	1.26	1.15e-09 ***	1.29	7.6e-2 .

Effekt des Saattermins auf die Intensität herbizider Wirkstoffgruppen

Zusätzlich zur Gesamt-Herbizidintensität wurden die einzelnen Wirkstoffgruppen analysiert. Unterschiede zwischen den Aussaatklassen innerhalb der einzelnen HRAC-Gruppen sind in Tabelle 2 für Winterweizen und Tabelle 3 für Wintergerste dargestellt. Je Kultur sind die HRAC-Gruppen aufgeführt, für die signifikante Effekte des Aussaattermins ermittelt wurden. Für Winterweizen zeigte sich, dass ein späterer Aussaattermin die Herbizid-Intensität der HRAC 1 (ACCase-Inhibitoren), 2 (ALS-Inhibitoren), 9 (EPSP-Inhibitoren), 12 (PDS-Inhibitoren) und 15 (Zellteilungs- und Lipid-Synthese-Inhibitoren) signifikant reduzierte. Ein späterer Aussaattermin erhöhte hingegen die Herbizid-Intensität der HRAC-Gruppe 14 (PPO-Inhibitoren) in Winterweizen signifikant.

Die ACCase-Inhibitoren (HRAC 1) wurden in Wintergerste ebenfalls durch einen späteren Saattermin signifikant reduziert. Weiterhin verringerte ein späterer Saattermin in Wintergerste die Intensität der HRAC-Gruppen 3 und 15 (Hemmung des Microtubuli-Aufbaus und Zellteilungsinhibitoren). In Wintergerste wurde jedoch in den späteren Aussaatklassen eine signifikant höhere Intensität der Auxine (HRAC 4) und EPSP-Inhibitoren (HRAC 9) ermittelt.

Tabelle 2 Regression: Einfluss des Saattermins auf die Herbizid-Intensität in Winterweizen. Signifikanzlevel: $P < 0.1$, $*P < 0.05$, $**P < 0.01$ and $***P < 0.001$. Der Einfluss des Saattermins auf die HRAC-Gruppen 3, 4, 5 wurde geprüft und war nicht signifikant. Fettgedruckte Werte unterscheiden sich signifikant zum Referenzwert Aussaatklasse ,15.9.'

Table 2 Regression: Effect of seeding date on herbicide use intensity in winter wheat. Significance codes: $P < 0.1$, $*P < 0.05$, $**P < 0.01$ and $***P < 0.001$. Bold figures: factor levels with a significant effect ($P < 0.05$) compared to the reference level '15.09'

	Winterweizen: Mittlere Herbizid-Intensität (BI) je HRAC-Gruppe					
Aussaat/HRAC	1	2	9	12	14	15
bis 15.9.	0.08	1.0	0.19	0.09	0.007	0.40
16.-30.9.	0.06	0.9	0.21	0.07	0.007	0.43
01.-15.10.	0.05	0.8	0.14	0.06	0.127	0.37
16.-31.10.	0.04	0.8	0.19	0.05	0.177	0.2
ab 01.11.	0.06	0.7	0.12	0.04	0.016	0.1

Tabelle 3 Regression: Einfluss des Saattermins auf die Herbizid-Intensität in Wintergerste. Signifikanzlevel: . $P < 0.1$, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ and *** $P < 0.001$. Der Einfluss des Saattermins auf die HRAC-Gruppen 1,5, wurde geprüft und war nicht signifikant. Fettgedruckte Werte unterscheiden sich signifikant zum Referenzwert Aussaatklasse ,15.9.'

Table 3 Regression: Effect of seeding date on herbicide use intensity in winter barley. Significance codes: . $P < 0.1$, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ and *** $P < 0.001$. Bold figures: factor levels with a significant effect ($p < 0.05$) compared to the reference level '15.09'

	Wintergerste: Mittlere Herbizid-Intensität (BI) je HRAC-Gruppe				
Aussaat/HRAC	2	3	4	9	15
bis 15.9.	0.46	0.56	0.12	0.12	0.3
16.-30.9.	0.40	0.41	0.11	0.14	0.29
01.-15.10.	0.21	0.42	0.28	0.27	0.11
16.-31.10.	0.41	0.21	0.11	0.23	0.27
ab 01.11.	0.00	0.10	0.13	0.47	0.10

Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen den Einfluss des Saattermins auf die Herbizid-Intensität in Winterweizen und Wintergerste und begründen die Bedeutung vorbeugender Maßnahmen im Sinne des Integrierten Pflanzenschutzes. Der bereits nachgewiesene Einfluss des Saattermins auf die Gesamtherbizid-Intensität (BÜRGER et al., 2012; FREIER et al., 2015), konnte in unserer Auswertung erstmals auch für die einzelnen Wirkstoffgruppen der Herbizide ermittelt werden. Für Wintergerste und Winterweizen belegen die Ergebnisse, dass ein früherer Aussaattermin die Intensität der HRAC-Gruppen 1, 2, 3 und 15 zur Applikation nach der Aussaat bis zum Vegetationsende vor Winter signifikant erhöht. Kenntnisse zu den Wirkungen des Saattermins auf die Intensität resistenzgefährdeter Wirkstoffe (HEAP, 2021) sind für ein nachhaltiges Resistenzmanagement zwingend erforderlich. Herbizide der HRAC-Gruppen 1 und 2 werden primär im Nachauflauf zur Kontrolle von Ungräsern eingesetzt, die Wirkstoffe der beiden HRAC-Gruppen unterliegen jedoch hohem Resistenzrisiko (Moss et al., 2019). Vorauflaufbehandlungen oder frühe Nachauflaufbehandlungen werden mit Herbiziden der HRAC-Gruppen 3 und 15 in Winterweizen und Wintergerste durchgeführt, diese HRAC-Gruppen sind durch ein geringeres Resistenzrisiko charakterisiert (Moss et al., 2019). können zur wesentlichen Reduktion bzw. zum Nicht-Einsatz der HRAC-Gruppen 1,2,3 und 15 beitragen. Hinsichtlich nachhaltigem Resistenzmanagement lässt sich schlussfolgern, dass spätere Saattermine den Einsatz von Wirkstoffen mit hohem Resistenzrisiko reduzieren und gleichzeitig die Selektion von Resistenzen gegen Wirkstoffe mit (noch) geringem Resistenzrisiko verringern.

Spätere Saattermine reduzieren ebenfalls signifikant die Intensität nicht-selektiver Anwendungen mit Herbiziden der HRAC-Gruppe 9 (Wirkstoff Glyphosat) in Winterweizen. Spät ausgesäter Winterweizen folgte überwiegend der Vorfrucht Zuckerrüben. In Wintergerste ist der Effekt gegenteilig. Dies ist insbesondere durch Applikationen von Glyphosat zur Sikkation der Wintergerste in den Jahren 2012-14 zu begründen. Aus den Ergebnissen zum Einfluss des Saattermins auf die Glyphosat-Intensität (HRAC 9) lässt sich insgesamt ableiten, dass eine Verschiebung des Saattermins geeignet ist, um Glyphosat im Wintergetreide-Anbau zukünftig zu substituieren.

Der späte Saattermin hält, was er verspricht! Die Ergebnisse der Referenzbetriebe (Abb. 1) deuten jedoch darauf hin, dass der Saattermin als Mittel des Integrierten Pflanzenschutzes in der Praxis gering wahrgenommen und genutzt wird. THIEL et al. (2021) schlussfolgern in ihrer Analyse der Wahrnehmung und Umsetzung des Integrierten Pflanzenschutzes in der Praxis, dass standortspezifische, praxistaugliche Handreichungen zu vorbeugenden Methoden und Schadschwelle fehlen. Darüber hinaus beeinflussen offensichtlich überwiegend pflanzenbauliche Aspekte, wie höhere Keimraten und positive Bestandesentwicklung bei früheren Aussaaten sowie auch das Arbeitsaufkommen und Witterungseinflüsse

die Terminierung der Wintergetreideaussaat in der Praxis. Insbesondere die Verwendung von Hybridweizensaatgut ist für Praxisbetriebe aufgrund höherer Saatgutkosten lediglich zu frühen Saatterminen ökonomisch sinnvoll. In den Referenzbetrieben der LFA MV wurde Hybridweizen nahezu ausschließlich zu frühen Saatterminen gedrillt, um die Saatstärke reduzieren zu können, die im Mittel der Jahre für Hybridweizen 140 Körnern/m² betrug. Trotz der Reduzierung der Saatstärke waren die Saatgutkosten im Mittel der Jahre doppelt so hoch im Vergleich zu Linien Sorten. Der Anteil des Hybridweizens der Referenzbetriebe der LFA MV beträgt langjährig 1 % und ist damit von untergeordneter Bedeutung.

Zunehmende Resistenzentwicklungen bedeutender Ungräser sowie die politischen Forderungen den Pflanzenschutzmittel-Einsatz zukünftig stärker in das Gesamtsystem des Ackerbaus zu stellen, mahnen jedoch zu Anpassungen der Saatzeit des Wintergetreides. Zukünftig gilt es, Strategien zu entwickeln (Forschung), zu prüfen (Beratung) und anzuwenden (Praxis), die die vorbeugenden Maßnahmen im Sinne des Integrierten Pflanzenschutzes in den Mittelpunkt der Kontrollstrategien stellen.

Literatur

- BATES, D., M. MÄCHLER, B. BOLKER, S. WALKER, 2015: Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software* **67**, 1–48, DOI:10.18637/jss.v067.i01.
- BMEL, 2021: Ackerbaustrategie 2035. Zugriff: 20. Oktober 2021, URL: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ackerbaustrategie2035.html;jsessionid=B71B203DC62DAFC38875C88804135FE3.live921>.
- BÜRGER, J., A. GÜNTHER, F. de MOL, B. GEROWITT, 2012: Analysing the influence of crop management on pesticide use intensity while controlling for external sources of variability with Linear Mixed Effects Models. *Agricultural Systems* **111**, 13–22, DOI:10.1016/j.agsy.2012.05.002.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2020: Farm to Fork Strategy: For a fair, healthy and environmentally-friendly food system.
- FREIER, B., J. SELLMANN, J. STRASSEMAYER, J. SCHWARZ, B. KLOCKE, S. DACHBRODT-SAADEH, H. KEHLENBECK, W. ZORNACH, A. HERZER, U. MÜLLER, A. SCHÖBER, C. WAGNER, PFLANZENSCHUTZDIENSTE DER LÄNDER, 2015: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz - Jahresbericht 2014 - Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2014, 110, DOI:10.5073/BERJKI.2015.182.000.
- HAKANSSON, S., 2003: Weeds and weed management on arable land: An ecological approach. Wallingford, Oxon, UK, Cambridge, MA, CABI Pub, DOI:10.1079/9780851996516.0000.
- KUZNETSOVA, A., P.B. BROCKHOFF, R.H.B. CHRISTENSEN, 2017: lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software* **82**, 1–26, DOI:10.18637/JSS.V082.I13.
- 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** (5), 299–313, DOI:10.1111/wre.12024.
- MELANDER, B., 1995: Impact of drilling date on *Apera spica-venti* L. and *Alopecurus myosuroides* Huds, in winter cereals. *Weed Research* **35** (3), 157–166, DOI:10.1111/j.1365-3180.1995.tb02029.x.
- MOSS, S., L. ULBER, I.D. HOED, 2019: A herbicide resistance risk matrix. *Crop Protection* **115**, 13–19, DOI:10.1016/j.cropro.2018.09.005.
- R CORE TEAM, 2020: R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>, R Foundation for Statistical Computing.
- RASMUSSEN, I.A., 2004: The effect of sowing date, stale seedbed, row width and mechanical weed control on weeds and yields of organic winter wheat. *Weed Research* **44** (1), 12–20, DOI:10.1046/j.1365-3180.2003.00367.x.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

ROßBERG, D., V. GUTSCHE, S. ENZIAN, M. WICK, 2002: Neptun 2000- Survey into application of chemical pesticides in agricultural practice in Germany. Report from BBA **98**.

THIEL, L., M. MERGENTHALER, V. HABERLAH-KORR, 2021: Wahrgenommene Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes bei landwirtschaftlichen Betrieben in Nordwestdeutschland. *Gesunde Pflanzen* **73** (2), 119–134, DOI:10.1007/s10343-021-00548-4.

WICKHAM, H., 2016: *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.

Zur Frage der Bekämpfung von Weidelgras (*Lolium* spp.) mit chemischen und ackerbaulichen Maßnahmen in Raps und Getreide

*On the question of ryegrass (*Lolium* spp.) control with chemical and agronomic measures in oilseed rape and cereals*

Dominik Dicke^{1*}, Ewa Meinlschmidt²

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

²Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen

*dominik.dicke@rpgi.hessen.de

DOI: 10.5073/20220124-070129

Zusammenfassung

In Feldversuchen wurde die Wirksamkeit ausgewählter Herbizide mit Gräserwirkung gegen Weidelgras (*Lolium* spp.) in Winterraps geprüft. Darüber hinaus wurden Saatzeitversuche in Getreide angelegt, um den Einfluss des Saattermins auf die Weidelgrasdichte und Wirksamkeit der eingesetzten Herbizide in den Beständen zu testen. In Winterraps konnten vergleichsweise hohe Bekämpfungsleistungen mit dem Präparat Crawler (Wirkstoff Carbetamid) im 4-Blattstadium des Rapses erzielt werden. Wurde dieses Mittel im November (8-Blatt-Stadium des Rapses) eingesetzt war die Wirksamkeit geringer. Auch mit Kerb Flo ließ sich Weidelgras in Raps ab November im ersten Versuchsjahr gut bekämpfen. Bei einem starken Auftreten von Weidelgras vor dem „Kerbtermin“ im November konnte das Weidelgras jedoch schon relevante Konkurrenz auf den Raps ausüben. Die Saatzeitversuche in Wintergetreide zeigten, dass eine Spätsaat zu einer erheblichen Reduktion der Weidelgrasdichte führte, sodass sich diese als empfehlenswerte ackerbauliche Maßnahme erwies. Aus den Untersuchungen sollen konkrete Beratungsempfehlungen abgeleitet werden.

Stichwörter: Herbizide, Saatzeitversuche

Abstract

Field trials were conducted to test the efficacy of selected herbicides with grass effect in winter oilseed rape against ryegrass (*Lolium* spp.). In addition, trials were set up in cereals to test the impact of seeding date on ryegrass density and efficacy of the used herbicides. In winter oilseed rape, comparatively high control efficacies were achieved with the product Crawler (active ingredient carbetamide) at the 4-leaf stage of oilseed rape. When this product was applied in November, the efficacy was considerably lower. Kerb-Flo was also effective in controlling ryegrass in oilseed rape from November onwards. However, with a strong occurrence before the "Kerb-date" in November, the present ryegrass could already exert relevant competition on the oilseed rape. The seeding date trials in winter cereals showed that late seeding lead to a significant reduction in ryegrass density, so that this proved to be a recommendable agronomic measure. Concrete advisory recommendations are to be derived from the studies.

Keywords: Herbicides, ryegrass, seed time trials

Einleitung

Die Bekämpfung von Ungräsern mit Herbiziden wird zunehmend zur Herausforderung, da verschiedene Ungrasarten Resistenzen gegen wichtige, zur Verfügung stehende Wirkstoffgruppen ausgebildet haben (GEHRING et al., 2012; DICKE et al., 2016). In verschiedenen Regionen Sachsens und Hessens können nun auch mit Frühjahrsherbiziden aus der HRAC-Gruppe 1 und 2 Weidelgräser (*Lolium* spp.) im Getreide nicht mehr ausreichend bekämpft werden. Molekulare Untersuchungen konnten bei verschiedenen Biotypen Mutationen an Genorten aufweisen, welche die Struktur der Acetyl-CoA-Carboxylase (ACCase) und der

Acetolactat-Synthase (ALS) beeinflussen und eine Target-Site Resistenz gegen Wirkstoffe aus den HRAC-Gruppen 1 und 2 zur Folge haben. In Versuchen zeigte sich, dass in Getreide nur Kombinationen aus Bodenherbiziden, die im Herbst appliziert werden müssen, ausreichend wirksam waren (DICKE und BICKHARDT, 2018). Seit langer Zeit sind keine neuen herbiziden Wirkstoffe auf den Markt gekommen, während die Anzahl von verfügbaren Wirkstoffen zulassungsbedingt gesunken ist. Daher ist es besonders wichtig, die noch zur Verfügung stehenden chemischen Lösungen möglichst optimal zu kombinieren und so einzusetzen, dass möglichst hohe Wirkungsgrade erzielt werden können. Zusätzlich müssen ackerbauliche Maßnahmen entwickelt werden, die helfen, den Besatz mit Weidelgräsern über die gesamte Fruchtfolge zu reduzieren, damit die Bekämpfungsleistung nicht allein auf den Herbiziden lastet. In Getreide und Mais wurden in den vergangenen Jahren Herbizide mit Wirkung gegen Weidelgras geprüft. Diese sowie erste Ergebnisse zur Wirkung einer Saatzeitverschiebung in Weizen wurden veröffentlicht (DICKE und MEINLSCHMIDT, 2020). Auch auf Winterrapsflächen fällt nun vielerorts Weidelgras mit steigender Tendenz auf und es stellt sich die Frage, welche Lösungen in dieser Kultur noch möglich sind. Die folgende Untersuchung hat das Ziel, den Wissenstand zur Bekämpfung von Weidelgras in Winterraps zu erweitern. Darüber hinaus soll die Wirksamkeit der Verschiebung des Aussaattermines von Wintergetreide als ackerbauliche Maßnahme zur Reduzierung des Weidelgrasbesatzes auch innerhalb der Fruchtfolge untersucht werden um valide, integrierte Beratungsempfehlungen ableiten zu können.

Material und Methoden

Hessische Feldversuche zur Herbizidwirkung auf Weidelgras in Raps

In den Jahren 2019/2020 sowie 2020/2021 wurden auf Rapsschlägen im Raum Michelstadt (Resistenzgebiet Weidelgras) randomisierte Feldversuche als Blockanlage mit zwei bis drei Wiederholungen und einer Parzellengröße von rund 20 m² in Streulage angelegt, um die Wirkung von zugelassenen Gräserherbiziden im Raps auf Weidelgras zu untersuchen. Für die Versuche wurden Schläge mit hohem Weidelgrasbesatz in den Vorjahren ausgewählt. Der Einsatz der Herbizide erfolgte im Nachauflauf der Kultur (BBCH 14-18) als Herbstbehandlung in Abhängigkeit des zulassungsbedingten Anwendungstermines des jeweiligen Herbizides, sodass auch unterschiedliche Zeitpunkte verglichen wurden (Tab. 1). Die Wirkungsgrade auf Weidelgras wurden im März des Folgejahres nach Auszählung der Weidelgraspflanzen in den behandelten und Kontrollparzellen nach ABBOTT (1925) berechnet.

Tabelle 1 Zu Kontrolle von Weidelgras im Herbst in Winterraps im Feldversuch 2019 - 2021 (Hessen) eingesetzte Herbizide der HRAC-Gruppen 1, 3 und 23

Table 1 Herbicides from HRAC-Group 1, 3 and 23 used for autumn ryegrass control in winter rape in field trial 2019 - 2021 (Hessen)

Variante / Präparate	Aufwandmenge (BBCH 14-16); l, kg/ha	Aufwandmenge (BBCH 18); l, kg/ha	Wirkstoffe (g/ha)	HRAC-Gruppe
2 / Agil-S	1	-	Propaquizafop (100)	1
3 / Select 240 EC + Radiumix	0,5 + 1	-	Clethodim (120)	1
4 / Focus Ultra + Dash	1,5 + 1,5	-	Cycloxydim (150)	1
5 / Focus Activ + Kerb Flo	1,5 + 1,5	1,875	Cycloxydim 150 / Propyzamid 750	1 / 3
6 / Focus Activ /Crawler	1,5 + 1,5	3	Cycloxydim 150 / Carbetamid 1800	1 / 23
7 / Crawler	3	-	Carbetamid 1800	23
8 / Kerb Flo	-	1,875	Propyzamid 750	3
9 / Crawler	-	3	Carbetamid 1800	23

Sächsische Feldversuche zur Wirkung der Saatzeitverschiebung von Winterweizen in Kombination mit Herbiziden auf Weidelgras

Auf nebeneinanderliegenden Winterweizenschlägen im Raum Waldenburg wurden in den Jahren 2019-2021 in Streulage drei Versuche mit unterschiedlichen Aussaatterminen angelegt. Die Frühaussaat erfolgte um den 15. September, die Spätaussaat um den 15. Oktober des jeweiligen Jahres. In den Versuchen wurden in den Jahren jeweils im Herbst die gleichen Herbizidbehandlungen gegen HRAC 1 und HRAC 2-resistentes Weidelgras geprüft. Abweichungen gab es bei den Aufwandmengen (Abb. 3).

Nachbehandlungen wurden nur in den Frühsaatvarianten durchgeführt. Die Wirkungsgrade auf Weidelgras wurden anhand der jeweils kurz vor der Ernte erfolgten Zahlung der Ähren/m² in behandelten Varianten und unbehandelter Kontrolle nach ABOIT (1925) berechnet oder im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle geschätzt.

Es wurden zwei Raps-Herbizidversuche aus Hessen und drei Winterweizen-Saatzeitversuche aus Sachsen ausgewertet.

Ergebnisse

Herbizidversuche Raps

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Ergebnisse der Herbizidversuche in Raps aus den Jahren 2019/20 und 2020/21.

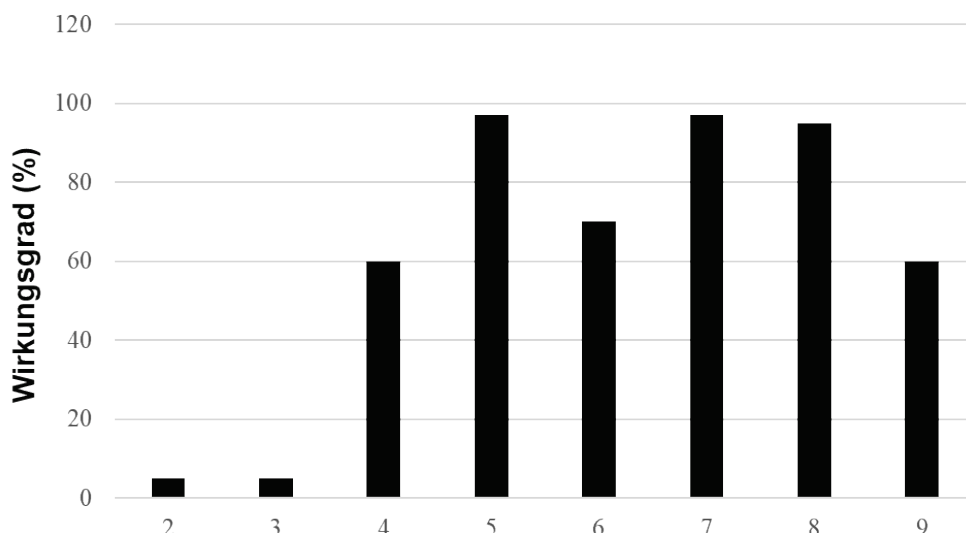


Abbildung 1 Wirkung (%) von Herbiziden der HRAC-Gruppen 1, 3 und 23 im Herbst gegen Weidelgras in Winterraps im Feldversuch 2019/2020 (Hessen). Die Varianten sind in Tabelle 1 erläutert.

Figure 1 Efficacy (%) of herbicides from HRAC-Groups 1, 3 and 23 for autumn application against ryegrass in winter oilseed rape in the field trial 2019/2020 (Hessen). Treatments are shown in Table 1.

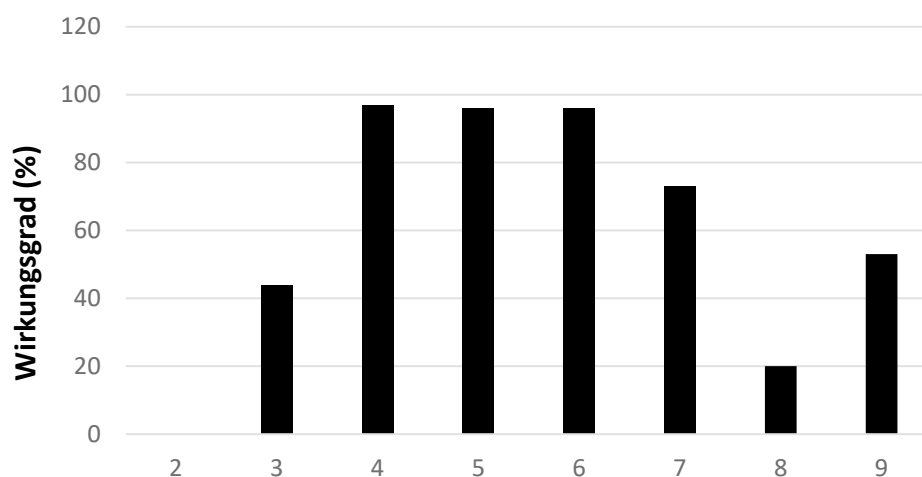


Abbildung 2 Wirkung (%) von Herbiziden der HRAC-Gruppen 1, 3 und 23 im Herbst gegen Weidelgras in Winterraps im Feldversuch 2020/2021 (Hessen). Die Varianten sind in Tabelle 1 erläutert.

Figure 2 Efficacy (%) of herbicides from HRAC-Groups 1, 3 and 23 for autumn application against ryegrass in winter oilseed rape in the field trial 2020/2021 (Hessen). Treatments are shown in Table 1.

Die Ergebnisse zeigen, dass Weidelgras mit Agil-S (Wirkstoff Propaquizafop) nicht zu bekämpfen war. Bessere Wirkungsgrade wurden mit „Dim“-Herbiziden erreicht, wobei in beiden Jahren Focus Ultra die höchsten Wirkungsgrade erreichte und dem Präparat Select 240 EC überlegen war. In beiden Jahren fiel auf, dass der Einsatz von Crawler mit dem Wirkstoff Carbetamid zum 4-Blattstadium höhere Bekämpfungserfolge erzielte, als bei einer späten Applikation im 8-Blattstadium. Kerb Flo zeigte im Versuch des Jahres 2019-2020 sehr hohe Wirkungsgrade. Allerdings fiel auf, dass der starke Weidelgrasbesatz bis zum „Kerbtermin“ bereits hohe Konkurrenz auf den Raps ausgeübt hatte, sodass die Crawler-Behandlung im 4-Blattstadium überlegen war.

Im Jahr 2020-2021 waren die Wirkungsgrade von Kerb Flo überraschender Weise sehr niedrig, was sich ggf. durch einen Applikationsfehler in der abgesteckten Versuchsfläche erklären lässt, da auf der übrigen

Betriebsfläche mit Kerb Flo hohe Wirkungsgrade erreicht wurden. Der Wirkungsgrad der späten Behandlung mit Crawler im 8-Blattstadium war im Vergleich zum frühen Termin in beiden Jahren deutlich geringer.

Versuche zur Saatzeit als pflanzenbauliche Maßnahme in Weizen

Abbildung 3 zeigt den Einfluss unterschiedlicher Saattermine auf den Auflauf von Weidelgras in Winterweizen und auf die Wirksamkeit ausgewählter Herbizidbehandlungen.

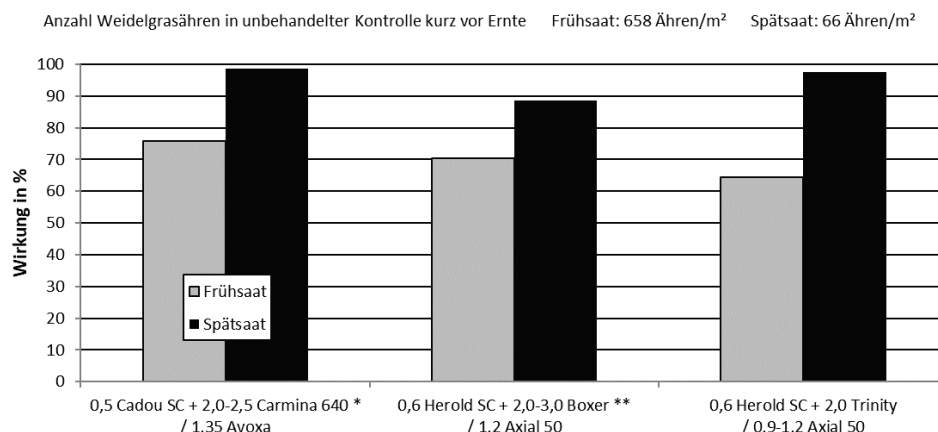


Abbildung 3 Einfluss unterschiedlicher Saattermine von Winterweizen (Frühsaat um den 15. September, Spätsaat um den 15. Oktober) auf den Auflauf von Weidelgras und dessen Bekämpfung mit verschiedenen Herbiziden (Mittelwerte der Ergebnisse aus 2019-2021 (Sachsen)).

Aufwandmengen in l bzw. kg/ha. *2019 2,0 Carmina 640 **2021 3,0 Boxer. Frühjahrsbehandlungen erfolgten nur bei der Frühsaat. Im Jahr 2021 erfolgte auf Grund niedriger Besatzdichte keine Frühjahrsbehandlung.

Figure 3 Impact of different seeding dates of winter wheat (early seeding around 15 September, late seeding around 15 October) on the emergence of ryegrass and its control with different herbicides (mean values of the results from 2019-2021 (Saxony)). Application rates in l or kg/ha. *2019 2.0 Carmina 640 **2021 3.0 Boxer. Spring treatments were only carried out for early sowing. In 2021, no spring treatment was carried out due to a low ryegrass density.

In den sächsischen amtlichen Versuchen der Jahre 2019 bis 2021 reduzierte die spätere Aussaat um den 15. Oktober (Spätsaat) die Anzahl der Weidelgrasähren/m² im Vergleich zur Frühsaat um den 15. September (Frühsaat) um 90 %. Im Versuch „Frühsaat“ lagen die kurz vor der Ernte ermittelten Wirkungsgrade bei allen geprüften Varianten im Bereich 60 – 70 %, im Versuch „Spätsaat“ bei nahezu 100 %. Die Nachbehandlungen im Frühjahr mit den Herbiziden aus den HRAC-Klassen 1 und 2 brachten bei früherer Aussaat keine Wirkungssteigerung. Bei der Spätaussaat wurde auf die Nachbehandlung im Frühjahr verzichtet.

Diskussion

Die Ergebnisse der Rapsversuche im Raum Michelstadt lassen vermuten, dass die Weidelgraspopulationen in den Versuchsfeldern Biotypen beinhalteten, die entweder von metabolischer oder Target-Site Resistenz betroffen sind oder multiple Resistenzmechanismen (PETERSEN et al., 2016) aufweisen. Wenn Focus Ultra noch wirkt und ein „Fop“ wie Agil-S nicht mehr, dann deutet das auf eine metabolische Resistenz hin, von der „Dims“ nicht betroffen sind, wohl aber „Fops“. In der Region wurden bei Weidelgras allerdings Mutationen auf dem ACCase-Gen nachgewiesen, die eine Target-Site-Resistenz gegenüber Herbiziden der Wirkstoffklasse 1 auslösen. Im ersten Versuchsjahr konnten auch mit Focus Ultra nur Wirkungsgrade bis zu 60 % erzielt werden. Dies bedeutet, dass neben der metabolischen Resistenz höchstwahrscheinlich auch von Target-Site- Resistenz betroffene Biotypen in der Population vorhanden waren. Der hohe Wirkungsunterschied zwischen Select 640 EC und Focus Ultra lässt sich gegebenenfalls durch die

Witterungsbedingungen erklären, die für Select nicht optimal waren. Dieses gilt es in weiteren Untersuchungen zu klären. Die Crawler-Variante mit Applikation in BBCH 14 konnte die Dichte des Weidelgrases früh reduzieren. Wird bei starkem Weidelgrasbesatz bis zum Kerbtermin gewartet, kann das bereits ertragsbeeinflussend sein, auch wenn Kerb Flo unter nass-feuchten Bedingungen dann die Weidelgräser später ausreichend kontrolliert. Die Zulassung des Carbetamid-haltigen Präparates Crawler ist allerdings ausgelaufen, sodass das Mittel im Herbst 2022 letztmalig eingesetzt werden kann. Damit geht dem Rapsanbau in Weidelgras-Resistenzgebieten ein wichtiges chemisches Werkzeug verloren. In diesen Regionen bleibt nur die Möglichkeit, im Vierblattstadium des Rapses ein „Dim“ wie Focus Ultra + Dash einzusetzen und später eine Kerbbehandlung durchzuführen. Es ist allerdings zu befürchten, dass der Anteil der Weidelgrasbiotypen mit Target-Site-Resistenz dann weiter zunimmt, sodass in wenigen Jahren nur noch ein propyzamidhaltiges Präparat helfen kann, sofern die Witterungsbedingungen hohe Wirkungsgrade für dieses Herbizid ermöglichen. Ertragsverluste durch frühe Weidelgraskonkurrenz vor dem Applikationstermin von Kerbtermin sind dann jedoch zu erwarten.

Die sächsischen Versuche konnten zeigen, dass eine Verschiebung des Saattermins um etwa einen Monat von September in den Oktober die Weidelgras-Besatzdichten enorm sinken lässt, sodass die Bodenherbizide im Winterweizen zufriedenstellende Wirkungsgrade erreichen konnten. In den Frühsaatvarianten konnten Nachbehandlungen im Frühjahr die Wirkung nicht weiter steigern, sodass darauf verzichtet werden sollte. Eine Verlegung des Saattermins in die Mitte des Oktobers ist beim Weizenanbau die ackerbauliche Maßnahme der Wahl, um wirksam gegen Weidelgräser vorzugehen.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Thomas Bickhardt, Malte Luh und Thorsten Mörschel für die Unterstützung bei Auswahl der Versuchsstandorte und Anlage der Freilandversuche in Hessen. Weiterhin bedanken wir uns bei René Pfüller und Mario Schindler für die Durchführung der Versuche in Sachsen.

Literatur

- ABOTT, W.S., 1925: A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* **18**, 265-267.
- 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., T. BICKHARDT, 2018: Trends im Pflanzenschutz: Weidelgras - ein hartnäckiges Ungras? *topagrar* **11/2018**.
- DICKE, D., E. MEINLSCHMIDT, 2020: Zur Frage der Bekämpfung von *Lolium* ssp. auf Resistenzstandorten - Untersuchungen der Bundesländer Hessen und Sachsen. *Julius-Kühn- Archiv* **464**, 344-353.
- 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.
- PETERSEN, J., F. BEST, H. RAFFEL, 2016: Herbicide resistance in German and Swiss *Lolium* ssp. Populations - resistance factors and cross-resistance spectrum. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 27-34.

CALARIS® MAXX - Eine Neuformulierung zur Kontrolle von Unkräutern und Ungräsern unter sich ändernden Anforderungen im Maisanbau

CALARIS® MAXX – A new formulation for control of weeds and grasses under changing requirements in maize cropping

Martin Schulte^{1*}, Holger Weichert², Klaus Bassermann²

¹Consulting Agrar Chemie Umwelt, 63110 Rodgau

²Syngenta Agro GmbH, Am Technologiepark 1-5, 63477 Maintal

*m-schulte-rodgau@t-online.de

DOI: 10.5073/20220124-070414

Zusammenfassung

Die Neuformulierung CALARIS® MAXX erlaubt bei gleicher Wirksamkeit und Kulturverträglichkeit in Mais den Wirkstoffaufwand gegenüber dem Vorgängerprodukt CALARIS® 400 SC um ein Drittel zu verringern. Besonderer Wert wurde auf eine erhöhte Wirksamkeit gegen Schadhirsen, Ungräser aus der Gruppe der Pooideae und herbizidresistente Biotypen gelegt. Die Zulassung von CALARIS MAXX ist mit 3,0 l/ha in Einmalapplikation sowie mit zweimaliger Applikation von 1,5 l/ha in 7-15 Tagen Abstand beantragt. CALARIS MAXX enthält einen erheblich höheren Anteil eines Additivsystems zur Verbesserung der Wirkstoffaufnahme über die Blätter behandelter Pflanzen. Bereits mit 2,0 l/ha, entsprechend 1,0 l/ha des Vorgängers CALARIS 400, bekämpft CALARIS MAXX ein großes Spektrum der in Mais bedeutsamen einjährigen Begleitflora. Eine ausreichende oder unterdrückende Wirkung lässt sich mit CALARIS MAXX auf *Geranium*- und *Erodium*-Arten, einfach- und multiresistente einjährige Hirsen und Gräser erzielen. Die Spritzfolge aus 2 x 1,5 l/ha CALARIS MAXX verbessert die Wirkungssicherheit. Anwendungskonzepte mit Wirkstoffrotation und präziser räumlicher Steuerung erlauben, den wegen seiner besonderen Eigenschaften bewährten Wirkstoff Terbutylazin auch in künftigen Maisanbausystemen zu nutzen.

Stichwörter: CALARIS, Dikotyle, Gräser, Hirsen, Mais, Mesotrione, Resistenz, Synergismus, Terbutylazin

Abstract

The new formulation CALARIS® MAXX allows the active ingredient input to be reduced by a third when used in maize compared to the predecessor product CALARIS® 400 SC, retaining the same efficacy and crop tolerance. Emphasis was placed on increased foliar efficacy against weeds, grass weeds and herbicide-resistant biotypes. Registration of CALARIS MAXX is applied for with 3.0 L/ha in single application and with two applications of 1.5 L/ha in a 7-to-15-day interval. CALARIS MAXX contains a significantly higher proportion of an adjuvant system to improve foliar active ingredient uptake of treated plants. With a rate of 2.0 L/ha, corresponding to 1.0 L/ha of its predecessor CALARIS 400, CALARIS MAXX controls a wide spectrum of the important annual broad-leaved and grass weed flora in maize. A sufficient or suppressive effect can also be achieved with CALARIS MAXX on *Geranium* and *Erodium* species as well as multi-resistant grasses from the Pooideae group. The spraying sequence of 2x 1.5 L/ha CALARIS MAXX improves reliability of control. Precision applications and active ingredient rotation offer further opportunities to continue using terbutylazine, an active ingredient proven for its special properties, in maize.

Keywords: broad-leaved weeds, CALARIS, grasses, maize, mesotrione, resistance, synergism, terbutylazine

Einleitung

Die Suche nach umweltverträglichen Lösungen im Pflanzenschutz beschränkt sich nicht nur auf neuartige Wirkstoffe. Auch die kontinuierliche Verbesserung bewährter und erfolgreicher Herbizide bildet ein wichtiges Entwicklungsziel. Die erneute Listung des in Mais seit mehr drei Dekaden bewährten Boden- und

Blattwirkstoffs Terbuthylazin (SCHULTE et al., 2012) im Annex I der Europäischen Pflanzenschutzrichtlinie stellt für Hersteller und Zulassungsinhaber auch eine Verpflichtung zur Minimierung des Potenzials unerwünschter Einträge in die Umweltkompartimente dar. Mit CALARIS MAXX ist es gelungen, eine bereits optimierte Zubereitung weiter zugunsten einer höheren Wirksamkeit und eines niedrigeren Wirkstoffaufwandes zu verbessern. Im Hinblick auf die sich wandelnden gesellschaftlichen Erwartungen wurden für CALARIS MAXX Anwendungskonzepte entwickelt, die den Anforderungen nach weniger Herbizideinsatz, Grundwasserschutz, mehr Biodiversität und „Smart Farming“ entgegenkommen, um so die besonderen Vorteile der beiden Wirkstoffe weiterhin nutzen zu können. Solche Konzepte setzen eine vermehrte Einbeziehung in der Vergangenheit vernachlässigter pflanzenbaulicher Maßnahmen zur Unkrautregulierung voraus.

Material und Methoden

Produkte

CALARIS MAXX wurde als Suspensionskonzentrat mit 35 g/l Mesotrione und 165 g/l Terbuthylazin eingesetzt. Die zur Zulassung beantragten Aufwandmengen betragen 1 x 3,0 l/ha und 2 x 1,5 l/ha jeweils im Nachauflauf zwischen den Mais-Stadien BBCH 11 und 18. Als Vergleichspräparat diente das zugelassene Vorgängerprodukt CALARIS 400, ebenfalls formuliert als Suspensionskonzentrat, mit einem Gehalt von 70 g/l Mesotrione und 330 g/l, der maximalen Aufwandmenge 1,5 l/ha und damit gleichem Wirkstoffaufwand. Als Mischpartner wurden eine Öldispersion mit 40 g/l Nicosulfuron (NICOGAN®) sowie das Chloracetamid S-Metolachlor als Emulsionskonzentrat mit 960 g/l (DUAL® GOLD) formuliert, geprüft. Alle Herbizide wurden mit praxisüblichen Flachstrahl-Düsen in 200 - 300 l/ha Wasser mit fahrbaren Kleinparzellen- oder Rückentragesspritzen appliziert.

Feldversuche zu Wirksamkeit und Kulturverträglichkeit

Wirksamkeit und Kulturverträglichkeit von CALARIS MAXX wurden in Maisanbauländern der maritimen EPPO-Zone (Großbritannien, Belgien, Niederlande, Nord-Frankreich, Deutschland, Österreich, Schweiz, Tschechien) in Feldversuchen in den Jahren 2013 bis 2017 im Rahmen der Zulassung unter GEP-Bedingungen und ab 2018 zur Erarbeitung von Anwendungskonzepten im Nachauflauf geprüft. Die Gesamtheit der Versuchsjahre und Prüfstandorte umfasste einen repräsentativen Querschnitt der regionalen Schwankung von niederschlagsarmen bis hin zu niederschlagsreichen Einsatzbedingungen. Alle Wirksamkeits- und Verträglichkeitsversuche wurden mit jeweils drei oder vier Wiederholungen und einer Parzellengröße von 12–25 m² in voll randomisiertem Blockdesign angelegt. Die Einfach-Applikation erfolgte im frühen bis fortgeschrittenen Nachauflauf von Mais und Begleitflora im Stadium BBCH 11 bis 18, die Zweifach-Applikation erstmals im Stadium BBCH 11-13, gefolgt von einer weiteren Applikation 7-15 Tage später. Zur Erfassung der Wirkungsgrade wurden die Reduktion des Unkrautaufwuchses sowie die Maisverträglichkeit als Gesamt-Phytotoxizität und Ausdünnung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle visuell bonitiert. Maiserträge wurden unter weitgehend unkrautfreien Bedingungen sowohl als Körnermais als auch als Ganzpflanzenfrischmasse („Silage“) ermittelt.

Ergebnisse

Wirksamkeit

Neben der einmaligen Anwendung und der Spritzfolge von CALARIS MAXX werden vorrangig Anwendungskonzepte mit verringerter Aufwandmenge angestrebt. Im Folgenden werden die über mehrere Prüfjahre nicht immer orthogonal im gleichen Versuch erzielten Wirksamkeitsergebnisse der reduzierten,

der Zielaufwandmenge und der zweimaligen Anwendung der halben maximalen Aufwandmenge beschrieben.

Der Vergleich der Wirksamkeit der maximalen Aufwandmenge von CALARIS MAXX und CALARIS 400 zeigt, dass mit gleichen Wirkstoffmengen insbesondere Gräser, darunter die einjährigen Schadhirsen (*Echinochloa*, *Digitaria*, *Setaria* spp.) und Einjähriges Rispengras (*Poa annua*) mit CALARIS MAXX besser erfasst werden als mit CALARIS 400 (Tab. 1). Damit wurde ein wichtiges mit der Neuformulierung angestrebtes Ziel erreicht.

Die geprüften dikotylen Arten wiesen eine hohe Empfindlichkeit gegen die Wirkstoffkombination auf, sodass sich die hohen Bekämpfungserfolge der beiden Formulierungen gegen die Mehrzahl dieser Arten nicht signifikant unterscheiden. Die Dosis-Wirkungsbeziehung zeigt, dass mit einer reduzierten Aufwandmenge von 2,0 l/ha CALARIS MAXX ähnlich hohe Wirkungsgrade auf empfindliche dikotyle Arten erzielt werden können wie bisher mit 1,5 l/ha CALARIS 400.

Tabelle 1 Bekämpfungserfolge nach einmaliger Nachauflaufenanwendung von CALARIS MAXX im Vergleich zu CALARIS 400 SC in Mais (% visuelle Reduktion Biomasse). Deutschland, Österreich, Schweiz, Niederlande, Belgien, Nord-Frankreich, Großbritannien, 2013 – 2018

Table 1 Weed control results after one post-emergence application of CALARIS MAXX compared to CALARIS 400 SC in maize (% visual reduction of biomass). Germany, Austria, Switzerland, Netherlands, Belgium, North France, Great Britain, 2013 - 2018

	Calaris Maxx 2,0 l/ha im Nachauflauf			Calaris Maxx 3,0 l/ha im Nachauflauf			Calaris 400 SC 1,5 l/ha im Nachauflauf		
	n	Mittel-wert	Min.-Max.	n	Mittel-wert	Min.-Max.	n	Mittel-wert	Min.-Max.
<i>Poa annua</i>	6	72,8	13-100	12	89,4	27-100	12	79,3	23-100
<i>Digitaria</i> spp.	7	78,4	33-96	15	87,1	30-100	15	82,3	37-100
<i>Echinochloa c.-g.</i>	10	81,0	40-98	23	85,9	30-100	23	76,3	23-100
<i>Setaria</i> spp.	15	58,7	27-83	23	72,4	34-100	23	64,0	17-99
<i>Amaranthus retroflexus</i>	2	100	100-100	2	99,2	99-99	8	98,5	95-100
<i>Brassica napus</i>	2	100	100-100				3	100	100-100
<i>Capsella b.-past.</i>	1	100		1	100		9	99,8	99-100
<i>Chenopodium</i> spp.	26	98,8	77-100	13	99,5	97-100	39	99,3	86-100
<i>Fallopia convolv.</i>	10	90,7	72-100	5	93,9	82-100	15	93,5	63-100
<i>Galinsoga</i> spp.	4	99,8	99-100	1	99		7	99,7	99-100
<i>Geran. pusillum</i>	2	78,4	70-87				2	79,7	73-86
<i>Lamium</i> spp.	3	100	100-100				10	99,8	99-100
<i>Matricaria chamomilla</i>	3	100	100-100	1	100		8	98,7	94-100
<i>Persicaria maculosa</i>	5	99,7	99-100				8	99,6	98-100
<i>Polygonum aviculare</i>	2	93,7	88-99	2	99,0	99-99	5	91,4	60-100
<i>Solanum nigrum</i>	9	99,4	97-100	5	98,9	97-100	14	99,5	98-100
<i>Stellaria media</i>	10	98,1	83-100	2	99,5	99-100	12	97,3	70-100
<i>Thlaspi arvense</i>	1	100		1	100		4	100	100-100
<i>Viola arvensis</i>	6	99,8	99-100	4	98,8	97-100	10	99,6	98-100

n = Anzahl Ergebnisse

Unter den in Mais am bedeutsamsten Schadpflanzen befinden sich Hühner-, Finger- und Borstenhirsen (*Echinochloa*, *Digitaria*, *Setaria* spp.). In den letzten Jahren wurden darunter vermehrt Biotypen mit

Resistenz gegen die zur Kontrolle im Nachauflauf verbreiteten ALS-Hemmer Nicosulfuron, Foramsulfuron und Rimsulfuron selektioniert (SCHULTE et al., 2021). Daher erscheint eine vorbeugende Bekämpfung dieser Gräser mit Herbiziden anderer Wirkungsmechanismen naheliegend. In Tabelle 2 wird sichtbar, dass die Spritzfolge aus 2 x 1,5 l/ha CALARIS MAXX insbesondere gegen die empfindlicheren Arten Einjähriges Rispengras und Hühnerhirse eine deutlich höhere Wirkungssicherheit erzielt als die Einmalanwendung von 3,0 l/ha.

Tabelle 2 Bekämpfungserfolge einer Spritzfolge aus 2 x der halben im Vergleich zur Zielaufwandmenge von CALARIS MAXX im Nachauflauf auf einjährige Schadhirschen in Mais (% visuelle Reduktion Biomasse). Deutschland, Österreich, Schweiz, Niederlande, Belgien, maritimes Frankreich, Großbritannien, 2013 – 2018

Table 2 Weed control results of a sequential application of 2 x half the target rate compared to the target rate of CALARIS MAXX post-emergent on annual millets in maize (% visual reduction of biomass). Germany, Austria, Switzerland, Netherlands, Belgium, maritime France, Great Britain, 2013 – 2018

	CALARIS MAXX 2x 1,5 l/ha im Nachauflauf innerhalb von 7-15 Tagen			CALARIS MAXX 1x 3,0 l/ha im Nachauflauf		
	n	Mittelwert	Min.-Max.	n	Mittelwert	Min.-Max.
<i>Poa annua</i>	8	90,8	50-100	12	89,4	27-100
<i>Digitaria</i> spp.	5	81,9	33-100	15	87,1	30-100
<i>Echinochloa crus-galli</i>	8	93,5	70-100	24	85,9	30-100
<i>Setaria</i> spp.	15	71,0	35-93	23	72,4	37-100
n = Anzahl Ergebnisse						

Kulturverträglichkeit

Die Maisverträglichkeit von CALARIS MAXX im Nachauflauf erwies sich als sehr gut (nicht dargestellt). Phytotoxizitätsbonituren und Ertragsergebnisse (nicht dargestellt) nach Anwendung der einfachen und doppelten Aufwandmenge unter unkrautfreien Bedingungen bestätigen die gute Verträglichkeit. Leichtere Aufhellungen kurz nach der Anwendung sind vorübergehender Natur und wachsen innerhalb der folgenden zwei Wochen weitestgehend aus.

Wirkungsumfang mit Kombinationspartnern

Besonderes Augenmerk bei der Entwicklung von CALARIS MAXX wurde auf die verbesserte Wirksamkeit gegen in Mais im Nachauflauf schwierig bekämpfbare Schadhirschen, Einjähriges Rispengras sowie Storch- und Reiherschnabel (*Geranium*, *Erodium* spp.) gelegt. Tabelle 3 zeigt am Beispiel in der Saison 2020 erzielter Ergebnisse die Bekämpfungssicherheit ausgewählter Arten mit einer reduzierten Aufwandmenge von CALARIS MAXX allein und in Tankmischungen mit boden- und blattwirksamen Partnern.

Die gegenüber der zur Zulassung beantragten um ein Drittel verringerte Aufwandmenge von 2,0 l/ha CALARIS MAXX erzielt zwar eine noch akzeptable Sofort-, jedoch keine hinreichende Dauerwirkung mehr gegen nach der Anwendung auflaufende Hirsen, während die Kombination mit dem Chloracetamid S-Metolachlor neben einer sehr guten Sofort- auch eine Dauerwirkung bietet. Storch- und Reiherschnabel-Arten reagieren von der Keimung bis zum Vierblatt-Stadium empfindlich auf S-Metolachlor und werden von einer solchen Tankmischung mit hoher Wirkungssicherheit erfasst.

Tabelle 3 Vergleichende Bekämpfungserfolge ausgewählter Behandlungen mit CALARIS MAXX und Tankmischungen im frühen Nachauflauf in Mais (% visuelle Reduktion Biomasse). Deutschland, 2020

Table 3 Weed control results of selected treatments of CALARIS MAXX and tankmixtures early post-emergent in maize (% visual reduction of biomass). Germany, 2020

	Bonitur		CALARIS MAXX 2,0 l/ha	CALARIS MAXX 2x 1,5 l/ha	CALARIS MAXX 2,0 l/ha + S- Metolachlor 960 g/ha	CALARIS MAXX 2,0 l/ha + Nicosulfuron 40 g/ha
	TnA	n	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert
<i>Echinochloa c.-galli</i>	14-32	3	84,6	95,2	96,8	92,0
<i>Echinochloa c.-galli</i>	46-61	3	67,4	86,7	94,2	72,4
<i>Chenopodium album</i>	14-32	3	99,2	100	98,3	99,3
<i>Chenopodium album</i>	46-61	3	99,2	100	98,6	99,6
<i>Geranium dissectum</i>	23	1	100	100	100	100
<i>Geranium dissectum</i>	46	1	75	100	100	100
<i>Persicaria maculosa</i>	32	1	100	100	100	100
<i>Persicaria maculosa</i>	48	1	100	100	100	100

TnA: Tage nach 1. Applikation; n = Anzahl Ergebnisse

Die Tankmischung mit dem bevorzugt gegen Ungräser eingesetzten Nicosulfuron zeigt eine gegenüber CALARIS MAXX in Alleinanzahlung verbesserte Blattwirkung gegen Hühnerhirse, während die Bodenwirkung erwartungsgemäß geringer ausfällt. Die in Mais häufig anzutreffenden dikotylen Arten *Chenopodium album* und *Persicaria maculosa* reagieren auf CALARIS MAXX auch in reduzierter Aufwandmenge hoch empfindlich und benötigen zur ausreichenden Bekämpfung keinen Partner.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Ziel der Neuformulierung von CALARIS MAXX war die Verbesserung der Aufnahme von Mesotrione über die Blätter nicht ausreichend bekämpfbarer Schachhirse-, Storch- und Reiherschnabel-Arten. Dieses Ziel wurde erreicht. Die biologische Wirksamkeit gleicher Wirkstoffaufwandmengen an Terbutylazin und Mesotrione übertrifft bei gleichem Wirkungsspektrum diejenige der Vorgängerformulierung, ohne die Maisverträglichkeit zu beeinträchtigen (Tab. 1).

Die Wirksamkeit der im Zulassungsumfang erstmals beantragten Spritzfolge 2 x 1,5 l/ha CALARIS MAXX ist mit der Einmalanzahlung von 3,0 l/ha vergleichbar. Aufgrund der Zweifachanzahlung übertrifft jedoch die Wirkungssicherheit der Spritzfolge die Einmalanzahlung gegen viele Arten. Der besondere Wert der Spritzfolge in der kommerziellen Anwendung wird besonders auf Standorten mit mehreren Auflaufwellen und der damit erweiterten Wirkungsdauer gegen das gesamte Wirkungsspektrum erwartet.

Seit Beginn der Entwicklung von CALARIS MAXX mehren sich politische und gesellschaftliche Forderungen nach weniger chemischem Pflanzenschutz und mehr Biodiversität auf Ackerflächen. 2021 erfolgte eine erneute Listung des seit über drei Dekaden im mitteleuropäischen Maisanbau wegen seiner Kombination aus guter Maisverträglichkeit, breiter Wirksamkeit und residualer Wirkungsdauer häufig genutzten Wirkstoffs Terbutylazin (SCHULTE et al., 2012) im Annex I der Europäischen Pflanzenschutzrichtlinie. In Deutschland werden seit 1991 von Zulassungsinhabern und Vertreibern mit großem Erfolg Einschränkungen zum sicheren Einsatz ohne Gewässergefährdung verfolgt (KÜCHLER et al., 2003). Die mit der erneuten Genehmigung verbundene Einschränkung auf eine Anwendung nur einmal innerhalb von drei Jahren auf der gleichen Fläche sollen einen Eintrag des Wirkstoffs und relevanter Metaboliten in Grundwasserleiter zuverlässig verhindern. Die Anwendung gemäß guter landwirtschaftlicher Praxis

ermöglicht, die Vorteile des Wirkstoffs in Mais weiter sinnvoll in den vorherrschenden mehrgliedrigen Mais-Fruchtfolgen zu nutzen. Daher erscheint für CALARIS MAXX unter den veränderten Rahmenbedingungen Wirkungsgleichheit bei reduziertem Aufwand, teilflächenspezifischem Einsatz und mehrjähriger Wirkstoffrotation als die gegenüber der Anwendung der maximalen zugelassenen Aufwandmenge nachhaltigere Alternative zum Ausgleich zwischen Nutzen und gesellschaftlichen Forderungen.

CALARIS MAXX ermöglicht mit zwei synergistisch interagierenden Wirkungsmechanismen eine zuverlässige Vorbeugung gegen die Selektion herbizidresistenter Biotypen in Mais. Kommerzielle Erfahrungen belegen bis heute, dass triazinresistente Biotypen unverändert gut von der Kombination aus Terbutylazin und Mesotrione erfasst werden, ohne Kreuzresistenzen auszubilden (SCHULTE und HAAS, 2004). Gegen 4-HPPD-Hemmer wie Mesotrione resistente Biotypen sind in Europa auch 25 Jahre nach ihrem ersten kommerziellen Einsatz bisher nicht anzutreffen (HRAC, 2021). Die erst in jüngerer Zeit vermehrt in Mais gegen ALS-Hemmer (Sulfonylharnstoffe und Triazolinone) nachgewiesenen resistenten Biotypen erweisen sich unverändert als sensitiv gegen Terbutylazin und Mesotrione (SCHULTE et al., 2021). CALARIS MAXX eignet sich daher aufgrund andersartiger Wirkungsmechanismen und eines breiten Wirkungsspektrums als „Resistenzbrecher“ zur Vorbeugung einer Selektion und zur aktiven Bekämpfung herbizidresistenter Biotypen bedeutsamer annueller Gräser und Dikotylen in Mais.

Die Ergebnisse von Tankmischversuchen bestätigen Nicosulfuron als geeigneten Partner gegen Ausfallgetreide, einjährige und ausdauernde Gräser sowie Gräser einschließlich überwinternder Grasuntersaaten in fortgeschrittenen Wachstumsstadien. Zur Verbesserung der Wirkungssicherheit und Wirkungsdauer gegen nach der Anwendung keimende Schadhirs, *Geranium*- und *Erodium*-Arten können Chloracetamide wie S-Metolachlor kombiniert werden.

In Untersuchungen von SCHULTE und KRATO (2020) und WEICHERT et al. (2021) wurde mehrjährig bestätigt, dass die Minderung der Konkurrenz durch Schadpflanzen in der Maisreihe während der Jugendphase mit Herbizidanwendungen den Ertrag entscheidend steigert, während eine geringe Rest- oder Neuverunkrautung nach späten Hackmaßnahmen die Maiserträge mehrheitlich nicht mehr signifikant beeinträchtigte. Frühe Herbizid-Bandbehandlungen in der Maisreihe mit Residualwirkung, die eine Neukeimung der Begleitflora während der kritischen Phase der Ertragsbildung des Maises verhinderten, erwiesen sich in Verbindung mit späteren mechanischen Maßnahmen als ähnlich ertragswirksam wie eine Herbizid-Flächenbehandlung. CALARIS MAXX besitzt mit dem Residualwirkstoff Terbutylazin eine im Maisanbau eine einzigartige Komponente mit Sofort- und Dauerwirkung bis zum Reihenschluss des Maises (SCHULTE und HAAS, 2004), die sich für eine Teilflächenbehandlung ideal eignet. Dazu gehören die bewährte Behandlung nur der Maisreihe wie auch neuere Verfahren mit optischer Unkrauterkenntnis und Punktapplikation (*optical spot spraying*, OSS). Die mittels teilflächenspezifischer Anwendung von 1 x 2,0 l/ha oder 2 x 1,5 l/ha nur auf die Zielfläche ausgebrachte Wirkstoffmenge kann unter Beibehaltung der vollen Wirkungssicherheit weiter um etwa 40-50 % bezogen auf den gesamten Maisschlag reduziert werden. Um den Wert von Terbutylazin als „Resistenzbrecher“ zu erhalten, ist es wichtig, die in den hier beschriebenen Anwendungsmustern geprüfte Aufwandmenge von 2,0 l/ha in Einzelbehandlungen und Tankmischungen nicht weiter zu unterschreiten, damit hohe Bekämpfungsgrade erzielt werden und der Aufbau eines weiteren Samenpotenzials im Boden unterdrückt wird. Die präzisere räumliche Steuerung der Unkrautbekämpfung mittels Punkt- oder Bandbehandlung anstelle der homogenen Flächenbehandlung erfüllt damit die Forderung nach einer Steigerung der Biodiversität (WELTZIEN, 2021), hilft Herbizid einzusparen und einen möglichen Resistenzdruck auf die Zielflora zu verringern. Ein Anwendungskonzept mit einem Einsatz des Terbutylazin-Präparats CALARIS MAXX nur alle drei Jahre auf dem gleichen Schlag kommt somit den sich wandelnden Anforderungen an künftige Ackerbausysteme entgegen, die unter anderem weniger Herbizideinsatz, mehr Biodiversität, eine Balance zwischen ökonomischer und ökologischer Nachhaltigkeit und alle Möglichkeiten des „Smart Farming“ umfassen (THEUVSEN, 2021).

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

500 g/ha Terbuthylazin in 3,0 l/ha CALARIS MAXX oder 1,5 l/ha des Vorgängerpräparats besitzen ein geringes Schädigungspotenzial an ackerbaulichen Folgekulturen in üblichen Maisfruchtfolgen. Mesotrione kann auf stärker sauren zur Austrocknung neigenden Böden Rückstände hinterlassen, die empfindliche im Folgejahr angebaute Kulturen schädigen können. Nur bei pH-Werten deutlich unter 6 und ohne tief wendende Bodenbearbeitung besteht ein praktisches Schadsrisiko an nachgebauten Leguminosen oder Beta-Rüben. Mit der Verringerung auf 2,0 l/ha CALARIS MAXX wird das Potenzial von Schäden an nachgebauten empfindlichen Hauptkulturen insbesondere auf Böden mit einem pH-Wert über 6 und einer Ackerzahl über 30 weiter verringert, auch nach vorzeitigem Mais-Umbruch. Die geringe Menge an Residualwirkstoff macht CALARIS MAXX darüber hinaus auch attraktiv zur Unkrautkontrolle vor einer Einsaat von Grasuntersaaten in Mais.

CALARIS MAXX bietet die Möglichkeit, die in den letzten Dekaden erzielten Fortschritte in der Herbizidentwicklung in Mais hinsichtlich guter Kulturverträglichkeit, breiter Wirksamkeit, rascher Blattaufnahme und residualer Wirkungsdauer weiter zu nutzen, ohne durch Minimierung des Herbizideinsatzes inakzeptable Kompromisse einzugehen.

Literatur

- HRAC, 2021: Herbicide Resistance Action Committee: The World of Herbicides, <http://www.hracglobal.com>; letzter Aufruf 28. September 2021.
- Küchler, T., B. Düfer, H. Ressler, M. Schulte, D. Cornes, 2003: Terbuthylazine in maize – a model example of product stewardship and safe use. The BCPC International Congress - Crop Science and Technology, Glasgow. Abstracts, vol. 2, 953-958.
- Schulte, M., H.U. Haas, 2004: SYD 11'460 H - Eine innovative Lösung zur Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern in Mais. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIX, 657-665.
- Schulte, M., M. Steinheuer, B. Düfer, T. Räder, 2012: Was macht(e) Terbuthylazin zum Basiswirkstoff der chemischen Unkrautbekämpfung im mitteleuropäischen Maisanbau? Eine Nutzenbetrachtung. Julius-Kühn-Archiv 434, 321-328.
- Schulte, M., C. Krato, 2020: Herbizid und Hacke in Mais. Mais 47 (1), 30-33.
- Schulte, M., R. Rauser, J. Petersen, 2021: Herbizidresistente Hirsen und Unkräuter in Mais – Ergebnisse eines sechsjährigen Monitorings in Europa. JKI-Archiv 467, 166-167, 62. Deutsche Pflanzenschutztagung, Gesunde Pflanzen in Verantwortung für unsere Welt; 2021.09.21-23, DOI 10.5073/20210721-093221.
- Schulte, M., W.T. Rüegg, P.B. Sutton, 2002: Synergie von Mesotrione, S-Metolachlor und Terbuthylazin in der Bekämpfung von Maisunkräutern. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII, 785-792.
- Theuvsen, L., 2021: Anforderungen an neue Ackerbausysteme – Anmerkungen aus ökonomischer Sicht. In KTBL (Hrsg.), Boden gut machen – neue Ackerbausysteme, Online-Tagung 16.-17.3.2021, Tagungsband, 8-27.
- Weichert, H., M. Schulte, C. Krato, 2021: Kombination von mechanischer und chemischer Unkrautregulierung in Mais – Schlussfolgerungen aus mehrjährigen Versuchen. JKI-Archiv 467, 361, 362. Deutsche Pflanzenschutztagung, Gesunde Pflanzen in Verantwortung für unsere Welt; 2021.09.21-23, DOI 10.5073/20210721-093221.
- Weltzien, C., 2021: Digitale Transformation als Wegbereiter einer nachhaltigen Landwirtschaft? In KTBL (Hrsg.), Boden gut machen – neue Ackerbausysteme, Online-Tagung 16.-17.3.2021, Tagungsband, 145-154.

CONVISO® SMART Stewardship: internationale Erfahrungen zu erfolgreichem Management herbizidtoleranter Zuckerrüben

CONVISO® SMART Stewardship: international experiences on successful management of herbicide-tolerant sugar beet

Christina Wellhausen^{1*}, Ingke Deimel-Kunkel¹, Julia Wiessner¹, Martin Wegener², Carsten Stibbe¹

¹KWS SAAT SE & Co. KGaA, Grimsehlstr. 31, 37574 Einbeck

²Bayer AG, Alfred-Nobel-Straße 50, 40789 Monheim

*christina.wellhausen@kws.com

DOI: 10.5073/20220124-070745

Zusammenfassung

Das CONVISO® SMART System besteht aus herbizidtoleranten Zuckerrübensorten und dem komplementären Herbizid CONVISO® ONE aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren. Es ermöglicht eine effektive Unkrautregulierung bei hoher Kulturpflanzenverträglichkeit und reduziert die Anwendungshäufigkeit. Der Anbau einer ALS-toleranten Zuckerrübensorte kann jedoch zu einer häufigeren Anwendung von ALS-Herbiziden in der Fruchtfolge führen, was wiederum den Selektionsdruck auf Unkräuter in der Fruchtfolge erhöhen kann. Um Resistenzentwicklungen zu vermeiden und die Langlebigkeit und Wirksamkeit von CONVISO® SMART zu gewährleisten, wird ein systembegleitendes Stewardship etabliert. Im Zentrum des Stewardship stehen die korrekte Anwendung des CONVISO® SMART Systems, die Schosserbekämpfung und die Einhaltung der Grundprinzipien einer effektiven Unkrautbekämpfung und des Resistenzmanagements. Nicht nur in den europäischen Anbauländern, sondern auch in Anbauregionen weltweit wurde die Erfahrung gemacht, dass durch ein umfassendes Informationsangebot und praxisbezogene Trainings ein erhöhtes Bewusstsein der Anwender für das CONVISO® SMART System entsteht. Durch den regelmäßigen Informationsaustausch können Schwachpunkte frühzeitig erkannt und Lösungsmaßnahmen eingeleitet werden. Das CONVISO® Stewardship ist ein Beispiel, wie der Anbau einer herbizidtoleranten Kultur durch Stewardship-Management erfolgreich begleitet werden kann.

Stichwörter: CONVISO® SMART, Herbizide, Resistenzmanagement, Zuckerrübe

Abstract

The CONVISO® SMART system, consisting of herbicide-tolerant sugar beet varieties and the complementary ALS herbicide CONVISO® ONE, allows an effective weed control while offering high selectivity and a reduced number of herbicide applications. Growing an ALS-tolerant variety, however, can lead to an increased use of ALS-herbicides in the crop rotation, which in turn can increase selection pressure for resistant weeds. To avoid the development of herbicide resistance and ensure the longevity and effectiveness of the CONVISO® SMART system, an accompanying stewardship is established. Besides bolter management and the correct use of the CONVISO® SMART system, the stewardship focuses on integrated weed control and resistance management. European and global experiences show that the comprehensive information supply and local consultant trainings lead to a higher awareness of growers for the CONVISO® SMART system. Regular exchange with the local consultants offers the opportunity to recognize any potential weaknesses and initiate solutions at an early stage. The CONVISO® SMART stewardship concept therefore provides an example for successful and sustainable management of an herbicide-tolerant crop.

Keywords: CONVISO® SMART, herbicides, resistance management, sugar beet

Einleitung

CONVISO® SMART wurde als innovatives System zur Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben gemeinsam von Bayer CropScience und der KWS entwickelt. Es besteht aus Zuckerrübensorten, die tolerant gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren (HRAC 2) sind, sowie dem komplementären ALS-Herbizid CONVISO® ONE. Die Entwicklung der herbizidtoleranten Zuckerrübensorten (sogenannter SMART-Sorten) erfolgte durch klassische Züchtung (WEGENER et al., 2015). Das Herbizid CONVISO® ONE enthält die beiden Wirkstoffe Foramsulfuron (50 g/l) und Thienacarbazon-methyl (30 g/l). In der klassischen Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben werden im Regelfall Tankmischungen eingesetzt, die in mehreren Applikationen im Keimblattstadium der Unkräuter erfolgen. Unter ungünstigen Witterungsbedingungen können phytotoxische Schäden an Zuckerrüben auftreten (MAY & WILSON, 2006). Der Einsatz von CONVISO® ONE erfolgt dagegen mit nur 1-2 Anwendungen zu BBCH 12-14 der Unkräuter.

In Kombination mit der spezifischen Toleranz der SMART- Sorten wird so ein breites Wirkungsspektrum bei gleichzeitig hoher Kulturpflanzenverträglichkeit und einer geringeren Anzahl Überfahrten erreicht. Mit den beiden Herbizidstrategien, der Einfachanwendung (1 x 1,0 l/ha) und der Splitting-Anwendung (2 x 0,5 l/ha), wird im Vergleich zu Tankmischungen klassischer Rübenherbizide eine mindestens vergleichbare oder bessere Wirksamkeit gegen zweikeimblättrige Unkräuter erzielt. Höhere Wirksamkeiten sind insbesondere bei Gräsern und Problemunkräutern wie Hundspetersilie (*Aethusa cynapium*) oder Bingelkraut (*Mercurialis annua*) zu beobachten (BALGHEIM et al., 2016; BALGHEIM et al., 2018). Aufgrund einer höheren Wirkungssicherheit wird die Strategie der Splitting-Anwendung standardmäßig empfohlen. Im Vergleich zu klassischen Herbizidstrategien, bei denen in Deutschland zwischen 3 und 4,5 Anwendungen erfolgen (VASEL et al., 2012), ermöglicht die zweimalige Anwendung von CONVISO® ONE sowohl eine Reduzierung der Kosten für Überfahrten als auch eine Absenkung des Behandlungsindex für Herbizide auf 1,37 bis 1,18 (HAUER-JÄKLI et al., 2017; STOCKFISCH & NAUSE, 2018).

Die Markteinführung des CONVISO® SMART Systems erfolgte 2018 in sechs europäischen Ländern. Mittlerweile ist die Technologie in insgesamt 25 Ländern in Europa, Südamerika und Nordafrika verfügbar (Abb. 1). Die gesamte Anbaufläche betrug im Jahr 2021 über 200.000 ha.

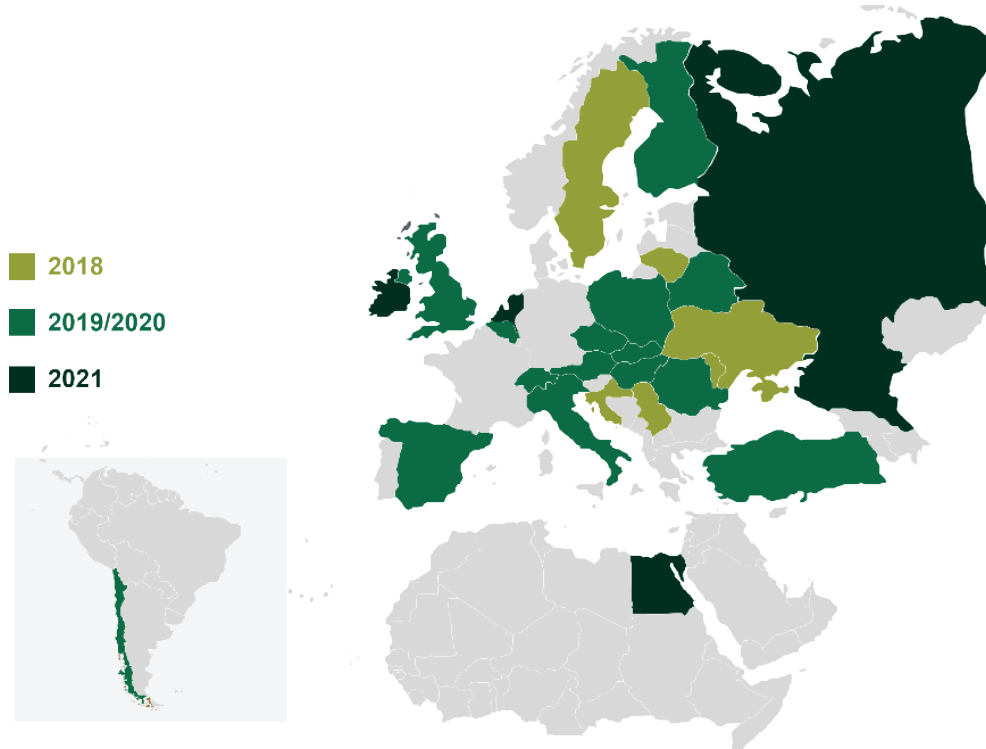


Abbildung 1 Übersicht zur Markteinführung des CONVISO® SMART Systems nach Ländern und Einführungsjahr.

Figure 1 Overview of CONVISO® SMART launches with launch countries and launch year.

Der Anbau herbizidtoleranter Kulturen wie CONVISO® SMART erfordert ein angepasstes Management, insbesondere um Herbizidresistenzen vorzubeugen. Um die Nachhaltigkeit des CONVISO® SMART Systems zu gewährleisten, wurde ein systembegleitendes Stewardship-Konzept entwickelt, das im Folgenden näher erläutert wird.

Stewardship-Konzept

Das Prinzip des Stewardship, insbesondere des Produkt-Stewardship, kann als „verantwortungsvolles Management eines Produktes von dessen Anfängen bis zur endgültigen Anwendung“ definiert werden (EXCELLENCE THROUGH STEWARDSHIP, 2021). Der Schwerpunkt des CONVISO® SMART Stewardship liegt auf der optimalen Anwendung des Systems, die in die folgenden drei Teilbereiche aufgeteilt werden kann:

- Herbizidapplikation und Wirksamkeit
- Resistenzmanagement
- Schosser- und Durchwuchsrüben-Management

Die gesamte Lieferkette bis hin zum Anbauer wird aktiv einbezogen. Die Inhalte des Stewardship werden zum einen in Schulungen vermittelt, in denen nach dem ‚Train-the-trainer‘ Prinzip Beraterinnen und Berater in den Ländern geschult werden, die ihr Wissen wiederum an weitere Kollegen sowie die Zuckerindustrie, Händler und Anbauer weitergeben. Zum anderen stehen den Anbauern umfassende Informationsmaterialien, wie z.B. ein Benutzerhandbuch, Flyer oder Online-Tutorials, zur Verfügung, die regelmäßig erweitert und aktualisiert werden.

Herbizidapplikation und Wirksamkeit

Im CONVISO® SMART System dient *Chenopodium album* als Leitunkraut zur Bestimmung des korrekten Applikationszeitpunktes. Die optimale Wirkung wird in der Splitting-Anwendung zu BBCH 12 und in der Einzelanwendung zu BBCH 14 erreicht (WENDT et al., 2016). Da die Applikation im Vergleich zu klassischen Rübenherbiziden deutlich später erfolgt, ist die Bestimmung des korrekten Applikationszeitpunktes von CONVISO® ONE zentraler Bestandteil der Schulungen und Informationsmaterialien, die für Berater und Anwender zur Verfügung gestellt werden. Ein weiterer Teil des Stewardship ist auch die Beratung zur Verbesserung der Wirksamkeit unter schwierigen Anwendungsbedingungen wie Trockenheit oder Kälte. In den meisten Ländern wird der Zusatz von 0,5 bis 1,5 l/ha Öl zu CONVISO® ONE empfohlen. Dazu können blattaktive klassische Herbizide wie Phenmedipham oder Ethofumesat entweder als Mischungspartner oder in einer Spritzfolge (klassische Tankmischung gefolgt von CONVISO® ONE) eingesetzt werden.

Resistenzmanagement

Die Gruppe der ALS-Herbizide, zu denen auch CONVISO® ONE gehört, unterliegt einem hohen Resistenzrisiko. Bislang sind weltweit 169 Unkrautarten mit einer Resistenz gegen diese Wirkstoffgruppe bekannt (HEAP, 2021). Da die Anwendung von ALS-Herbiziden in Zuckerrüben bislang nur eingeschränkt erfolgte, könnte die Nutzung des CONVISO® SMART Systems zu einem erhöhten Risiko der Selektion ALS-resistenter Unkräuter beitragen (LÖBMANN et al., 2019). Zur Vermeidung von Resistenzentwicklungen ist die Planung des Fruchtfolgeübergreifenden Herbizideinsatzes daher entscheidend (HAUER-JÁKLI et al., 2017). Wie LÖBMANN et al. (2019) mit einem Fruchtfolge-Versuch zum CONVISO® SMART-System aufzeigten, trägt nicht das System an sich zur Ausbreitung von Resistenzen bei, sondern die Häufigkeit der Anwendung von ALS-Herbiziden in der Fruchtfolge. Ziel des CONVISO® Stewardship ist daher eine ganzheitliche Betrachtung der Zuckerrüben-Fruchtfolge, um für die jeweiligen Anbauländer angepasste Empfehlungen zum Resistenzmanagement zu entwickeln. So stehen für die Anwender beispielsweise Materialien zur Verfügung, in denen exemplarische Fruchtfolgen mit konkreten länderspezifischen Empfehlungen zur Herbizidwirkstoff-Rotation dargestellt sind. Als wesentlicher Bestandteil des Schulungskonzepts für

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
CONVISO® SMART werden zudem Seminare zu Resistenzmanagement und integrierter Unkrautbekämpfung durchgeführt.

Schosser- und Durchwuchsrüben-Management

Ein zentraler Vorteil des CONVISO® SMART Systems ist die Wirkung von CONVISO® ONE gegenüber Unkrautrüben klassischer Zuckerrübensorten. Flächen mit einem hohen Besatz an Unkrautrüben können so wieder in die Produktion aufgenommen werden (WEGENER et al., 2015). Ein entscheidender Punkt in der Anwendung des Systems ist jedoch im Umkehrschluss die konsequente Entfernung von Schossern der ALS-toleranten Zuckerrüben, da deren Bekämpfung in Nachfolgekulturen kaum möglich ist. Als Bestandteil des Stewardship ist so beispielsweise in einigen Ländern die Schosserbekämpfung vertraglich zwischen Anbauern und der Zuckerindustrie geregelt, d.h. CONVISO® SMART Anbauer sind zum Entfernen der Schosser aus ihren Beständen verpflichtet. Neben dem Schossermanagement spielt auch die Bekämpfung von Durchwuchsrüben der SMART Zuckerrübensorten eine wichtige Rolle. Diese treten vor allem in Ländern ohne ausreichende Kälteperioden im Winter auf. Herbizidstrategien zur Bekämpfung dieser Durchwuchsrüben, beispielsweise in Wintergetreide, werden zurzeit in Zusammenarbeit von Bayer CropScience und der KWS erarbeitet.

Insgesamt trägt das Stewardship-Konzept mit umfassenden Informationsangeboten und Trainings der Berater vor Ort dazu bei, ein erhöhtes Bewusstsein der Anwender für das CONVISO® SMART System zu schaffen. Dabei handelt es sich um ein dynamisches System, in dem regelmäßig Erfahrungen ausgetauscht und Empfehlungen angepasst werden. So können Schwachstellen frühzeitig erkannt und Lösungsmaßnahmen eingeleitet werden. Das CONVISO® SMART Stewardship bietet somit ein Beispiel für ein nachhaltiges Management einer herbizidtoleranten Kultur.

Literatur

- BALGHEIM, N., M. WEGENER, H. MUMME, C. STIBBE, B. HOLTSCHULTE, 2016: CONVISO® SMART - ein neues System zur erfolgreichen Kontrolle von Ungräsern und Unkräutern in ALS-toleranten Zuckerrüben. Julius-Kühn-Archiv **452**, 327-334, DOI: 10.5073/jka.2016.452.043.
- BALGHEIM, N., M. WEGENER, H. MUMME, 2018: CONVISO Smart – Erste Erfahrungen zum Einsatz. Julius-Kühn-Archiv **458**, 510-515, DOI: 10.5073/jka.2018.458.076.
- EXCELLENCE THROUGH STEWARDSHIP, 2021: Learn about Stewardship. Access: 01. October 2021, URL: <https://www.excellencethroughstewardship.org/stewardship>.
- HAUER-JÁKLI, M., N. NAUSE, K. TRIMPLER, N. STOCKFISCH, B. MÄRLÄNDER, 2017: CONVISO® ONE – Ansätze für eine Systemanalyse der Herbizidstrategie. Sugar Industry **142**, Sonderheft 13. Göttinger Zuckerrübenagung, 91-99.
- HEAP, I., 2021: The International Herbicide-Resistant Weed Database. Access: 03. October 2021, URL: www.weedscience.org.
- LÖBMANN A., O. CHRISTEN, J. PETERSEN, 2019: Development of herbicide resistance in weeds in a crop rotation with acetolactate synthase-tolerant sugar beets under varying selection pressure. Weed Research **59**, 479-489, DOI: 10.1111/wre.12385.
- MAY, M.J., R.G. WILSON, 2006: Weed and weed control. In: *Sugar Beet*. DRAYCOTT, A.P. (Ed.), Blackwell, Oxford, p. 359-386.
- STOCKFISCH, N., N. NAUSE, 2018: Aspekte einer Systemanalyse zur Bewertung des CONVISO® SMART Systems. Julius-Kühn-Archiv **458**, 493-496, DOI: 10.5073/jka.2018.458.073.
- VASEL E.-H., E. LADEWIG, B. MÄRLÄNDER, 2012: Weed composition and herbicide use strategies in sugar beet cultivation in Germany. Journal für Kulturpflanzen **64**, 112–125.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

WEGENER M., N. BALGHEIM, M. KLIE, C. STIBBE, B. HOLTSCHULTE, 2015: CONVISO® SMART- ein innovativer Ansatz der Unkrautkontrolle in Zuckerrüben. Sugar Industry **141**, 517–524.

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**, 436-445.

Wirksamkeit der Bandapplikation von Conviso® One in Zuckerrüben

Efficacy of Conviso One as band application in sugar beet

Daniel Laufer^{1*}, Stephen Baumgarten², Olivia Peiß², Erwin Ladewig¹

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

²Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Zuckerrübenanbaus in Norddeutschland e.V., Helene-Künne-Allee 5, D-38122 Braunschweig

*Laufer@ifz-goettingen.de

DOI: 10.5073/20220124-071058

Zusammenfassung

Das Herbizid Conviso One ist seit August 2020 im Zuckerrübenanbau in Deutschland zugelassen. Die zugelassenen Anwendungen sehen primär Reihenbehandlungen vor, wobei auf Flächen mit Drainage die Aufwandmenge deutlich reduziert werden muss. Dadurch ist von einer verringerten Herbizidwirkung auszugehen, welche möglicherweise durch weitere Herbizidpartner in der Tankmischung kompensiert werden kann. Zur Herbizidwirkung des kombinierten chemisch-mechanischen Verfahrens, den reduzierten Aufwandmengen von Conviso One und der Wirkungsunterstützung weiterer Herbizidpartner liegen bisher nur wenige Erfahrungen vor.

In zwei Feldversuchen im Jahr 2021 wurde das Verfahren geprüft. Der Zusatz von weiteren Herbizidpartnern zu Conviso One unterstützte nicht immer die Wirkung. Bei der Bekämpfung von Weißem Gänsefuß zeigte die Ergänzung des Wirkstoffs Metamitron Vorteile, was möglicherweise auch auf die hohe Bodenfeuchtigkeit des Frühjahrs 2021 zurückzuführen ist. Bei Knöterich-Arten hatte die Applikation der hohen Aufwandmenge von Conviso One (2 x 0,5 L/ha) die beste Wirkung, weitere Herbizidpartner zeigten keine Wirkungssteigerung.

Durch die Ergebnisse der beiden Standorte wird bestätigt, dass die Wirkung sehr stark von den Umweltbedingungen und dem Unkrautauftreten beeinflusst wird. Zur Bewertung des Verfahrens sind weitere Versuche erforderlich.

Stichwörter: Feldversuch, Herbizid

Abstract

Conviso One has been approved as a herbicide for sugar beet in Germany since August 2020. The approval is primarily applicable for band application, whereby the application rate must be significantly reduced on areas with drainage. As a result, a reduced herbicidal effect can be assumed, which can possibly be compensated by further herbicidal partners in the tank mix. So far, there is little experience with the combined chemical-mechanical treatment, the reduced application rates of Conviso One and its combinations with other herbicide partners.

The herbicidal effect of different treatments was investigated in two field trials in Germany in 2021. Additional herbicide partners for Conviso One did not always increase the efficacy. The addition of the active ingredient metamitron showed advantages against *Chenopodium album*, which may partly be due to the high soil moisture in spring 2021. Against *Polygonum convolvulus* and *Polygonum aviculare*, the application of the high rate of Conviso One (2 x 0.5 L/ha) had the best effect, other herbicide partners did not increase efficacy.

The results of the two trials confirm that the effect was very strongly influenced by the environmental conditions and the occurrence of weeds. Further trials are required to evaluate the combined chemical-mechanical treatment.

Keywords: field trial, herbicide

Einleitung

Bedingt durch den Anbau in Reihen, die langsame Jugendentwicklung der Zuckerrübe und die damit verbundene lange Zeit bis zum Reihenschluss hat die Unkrautbekämpfung allgemein sehr großen Einfluss auf die Ertragssicherung und ist essenziell für die Wirtschaftlichkeit des Anbaus von Zuckerrüben. Bei ausbleibender Unkrautkontrolle sind Ertragsverluste von bis zu 90 % oder gar ein Totalausfall durch unwirtschaftliche Erntebedingungen möglich (JURSÍK et al., 2008).

Mit der im Jahr 2020 erfolgten Zulassung von Conviso One stehen in Deutschland zur Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben mit Foramsulfuron und Thienencarbazone-methyl zwei neue Wirkstoffe aus der Gruppe der ALS-Inhibitoren (HRAC 2) zur Verfügung. Die Nutzung des Herbizids ist an den Anbau einer ALS-Inhibitor-toleranten Zuckerrübensorte gebunden, was in Kombination als Conviso-Smart-System bezeichnet wird (BALGHEIM et al., 2016). Die Herbizidwirkung dieses Systems wurde für eine Aufwandmenge von 1 x 1,0 L/ha als Einfachbehandlung und als Splittingbehandlung mit 2 x 0,5 L/ha untersucht und beschrieben (WEGENER et al., 2016; WENDT et al., 2016a; WENDT et al., 2016b; WENDT et al., 2017; GÖTZE et al., 2018). Während Conviso One in den meisten EU-Ländern mit diesen Aufwandmengen zur ganzflächigen Applikation zugelassen ist, sind diese Aufwandmengen in Deutschland nur als Bandapplikation und mit Drainauflage möglich (BVL, 2021). Auf Flächen mit Drainage dürfen nur reduzierte Aufwandmengen des Herbizids angewendet werden, zu denen bisher nur wenige Erfahrungen vorliegen.

In zwei Feldversuchen in Norddeutschland wurde 2021 die Wirksamkeit des kombinierten chemisch-mechanischen Verfahrens untersucht.

Material und Methoden

Die Feldversuche wurden im Landkreis Göttingen in Harste und im Landkreis Helmstedt in Schickelsheim auf zwei Lösslehm-Standorten durchgeführt. Die Aussaat der ALS-Inhibitor resistenten Zuckerrübensorte erfolgte in Harste am 23.04.2021 und in Schickelsheim am 18.04.2021. Während die Verunkrautung in Harste hauptsächlich durch Weißen Gänsefuß geprägt war, trat in Schickelsheim eine Mischverunkrautung durch Weißen Gänsefuß, Echte Kamille, sowie durch Winden- und Vogelknöterich auf, wobei die Knöterich-Arten dominierten. Die Versuche waren vollrandomisiert als lateinisches Rechteck mit vier Wiederholungen in 50 m² (Schickelsheim) bzw. 100 m² (Harste) großen Parzellen angelegt.

Die Applikation der Herbizide erfolgte zu BBCH 12 sowie zu BBCH 16 der Zuckerrübe als Bandbehandlung. Diese Termine wurden am Standort Harste am 20.05.2021 sowie am 04.06.2021 erreicht. Am Standort Schickelsheim erfolgten die Applikationen am 28.05.2021 sowie am 11.06.2021. In Harste wurden die Unkräuter nach dem Bestandesschluss der Zuckerrübe am 19.07.2021 in einem 15 cm breiten Bereich entlang einer Zuckerrübenreihe der 19 m langen Parzelle artenspezifisch gezählt (2,85 m² je Parzelle). Der Gesamtwirkungsgrad der Herbizidvarianten wurde nach ABBOTT (1925) ermittelt. In Schickelsheim wurde der Gesamtwirkungsgrad durch den Vergleich der behandelten Parzellen mit der unbehandelten Kontrolle nach dem Bestandesschluss der Zuckerrübe am 11.08.2021 geschätzt. Zusätzlich wurde bei jedem Standort variantenspezifisch die Biomasse der Restverunkrautung nach Bestandesschluss ermittelt, um die Relationen beider Standorte vergleichen zu können.

Die geprüften Herbizidvarianten orientieren sich an den in Deutschland zugelassenen Aufwandmengen von Conviso One. In den Varianten 2 und 4 wurde Conviso One mit 0,5 bzw. 0,25 l/ha und dem Additiv Mero appliziert (Tab. 1). In den Varianten 3 und 5 wurden neben Conviso One und Mero zusätzlich noch die Herbizide Tramet 500 und Betasana SC appliziert sowie in Variante 6 Goltix Titan.

Am Standort Harste erfolgte in den Varianten 2, 4 und 6 in einer Teilparzelle von 6 m² nur die erste Herbizidapplikation, um Einflüsse der Herbizidkonzentrationen auf die Dauer der Bodenwirkung präziser

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

ermitteln zu können. In diesen Teilparzellen wurde in wöchentlichen Abständen nach der Herbizidapplikation bis Ende Juli die Anzahl der Unkräuter erfasst.

Zwischen den Reihen wurde das Unkraut zweimal, jeweils einige Tage nach der Herbizidapplikation, mechanisch reguliert.

Tabelle 1 Geprüfte Herbizidmischungen mit Wirkstoffen und Aufwandmenge. Die Herbizidapplikation erfolgte zu BBCH 12 und 16 der Zuckerrübe

Table 1 Herbicide treatments with active ingredients and application rate. Application was at BBCH 12 and 16 of the sugar beet

Variante	Produkt	Wirkstoff [g ai/L]	Aufwandmenge je Applikation [L/ha]
1	unbehandelt		-
2	Conviso	Foramsulfuron (50) + Thien carbazon (29)	0,50
	Mero	Rapsölmethylester (810)	0,50
3	Conviso	Foramsulfuron (50) + Thien carbazon (29)	0,50
	Mero	Rapsölmethylester (810)	0,50
	Tramat 500	Ethofumesat (500)	0,25
	Betasana SC	Phenmedipham (160)	1,00
4	Conviso	Foramsulfuron (50) + Thien carbazon (29)	0,25
	Mero	Rapsölmethylester (810)	0,50
5	Conviso	Foramsulfuron (50) + Thien carbazon (29)	0,25
	Mero	Rapsölmethylester (810)	0,50
	Tramat 500	Ethofumesat (500)	0,25
	Betasana SC	Phenmedipham (160)	1,00
6	Conviso	Foramsulfuron (50) + Thien carbazon (29)	0,25
	Mero	Rapsölmethylester (810)	0,50
	Tramat 500	Ethofumesat (500)	0,66
	Goltix Titan	Metamitron (525) + Quinmerac (40)	2,00

Ergebnisse und Diskussion

Die beiden Versuchsstandorte zeigen große Unterschiede im Unkrautauftreten, weswegen eine separate Auswertung und Darstellung erfolgte.

In Harste trat primär Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*) mit einer Dichte von 192 Pflanzen je m² auf (Abb. 1). Zu Bestandesschluss hatte der Weiße Gänsefuß in der unbehandelten Kontrolle einen Unkrautdeckungsgrad von 90 %, wobei weitere Unkräuter einen Unkrautdeckungsgrad von 5 % aufwiesen. Die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Reihen hatte im Mittel aller Varianten einen Wirkungsgrad von 97,9 %. Die Restverunkrautung zwischen den Reihen ist vermutlich auf die eher feuchten Bedingungen zum ersten Hacktermin zurückzuführen, sodass ausgehackte Unkräuter nicht vollständig an der Bodenoberfläche vertrockneten. Die Wirkungsgrade der Varianten 2-5 lagen zwischen 95,4 und 97,0 % (Abb. 1). Die zusätzlichen Herbizidpartner der Varianten 3 und 5 zeigten in diesem Versuch keine bessere Wirkung. Den höchsten Wirkungsgrad hatte Variante 6, welches neben Conviso One noch den primär bodenaktiven Wirkstoff Metamitron enthält. Vermutlich begünstigte hier die hohe Bodenfeuchtigkeit des Frühjahres 2021 die Wirkung.

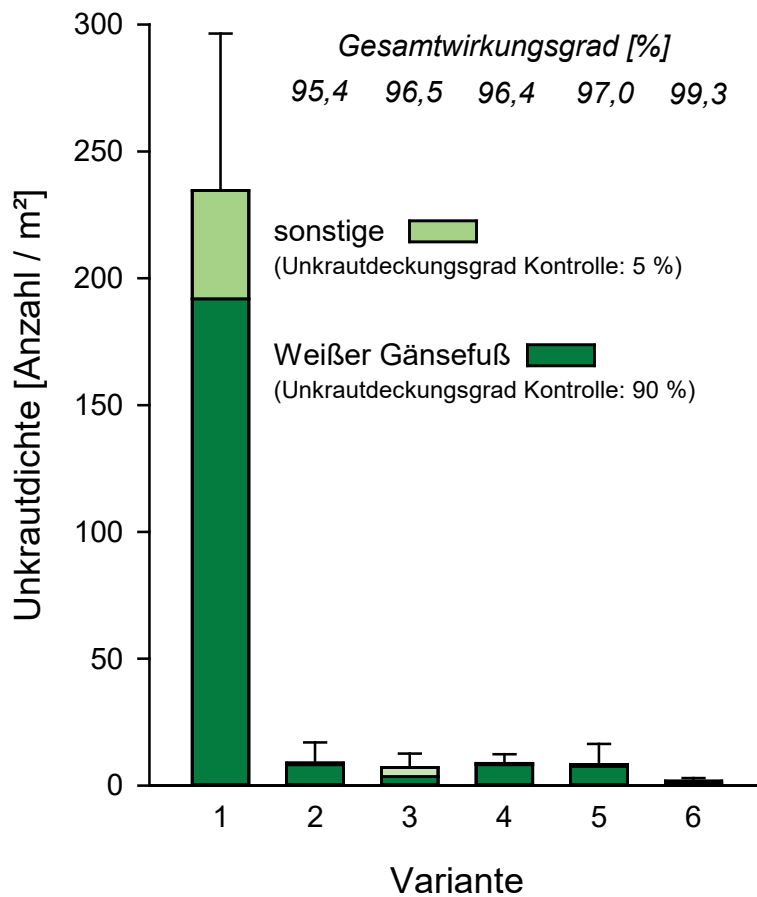


Abbildung 1 Unkrautauftreten sowie Gesamtwirkungsgrad verschiedener Herbizidapplikationen (siehe Tab. 1) nach Bestandesschluss in Zuckerrüben am Standort Harste (Bonitur am 19.07.2021) in Deutschland.

Figure 1 Weed occurrence and total herbicide efficacy of different herbicide treatments (ref. Tab. 1) after row closure of sugar beet on the trial site Harste (assessment date: 19 July 2021) in Germany.

In dem Teilbereich der Parzellen, in denen nur eine einmalige Herbizidapplikation erfolgte, trat in Variante 6 zwei Monate nach der Applikation weniger Weißer Gänsefuß auf als in den Varianten 2 und 4 (Abb. 2).

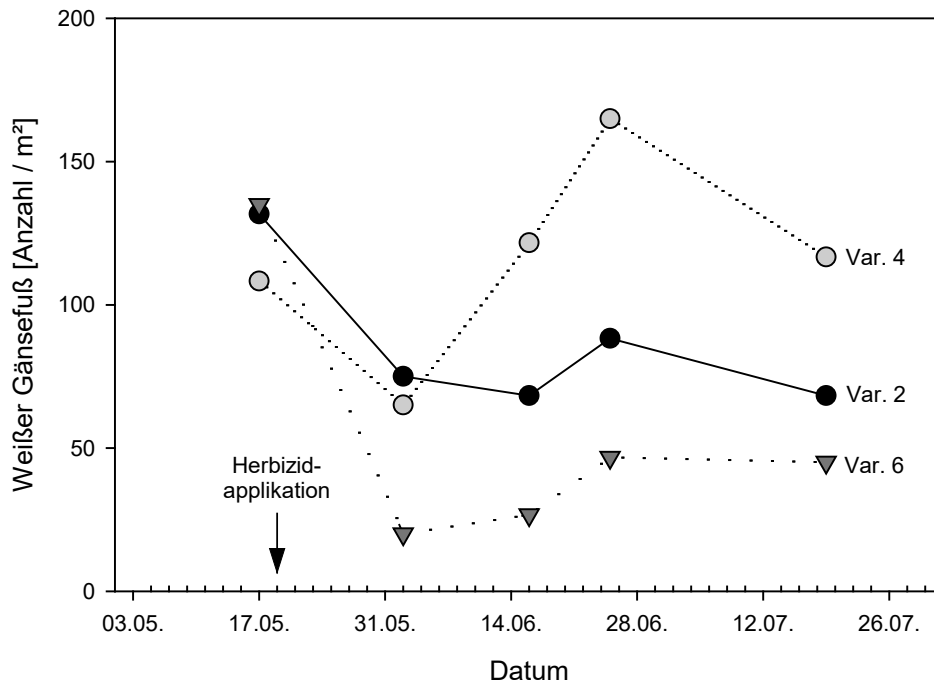


Abbildung 2 Entwicklung der Pflanzenanzahl von Weißem Gänsefuß nach einmaliger Herbizidapplikation in Teilflächen der Varianten 2, 4 und 6 (siehe Tab. 1) am Standort Harste. Deutschland, 2021.

Figure 2 Development of the number of plants of *Chenopodium album* after a single herbicide application in treatments 2, 4 and 6 (Tab. 1) at the trial site Harste. Germany, 2021.

Nach Bestandesschluss der Zuckerrüben war die Unkrautbiomasse in allen Herbizidvarianten geringer als in der unbehandelten Kontrolle, wobei Variante 6 den niedrigsten Wert aufwies (Abb. 3).

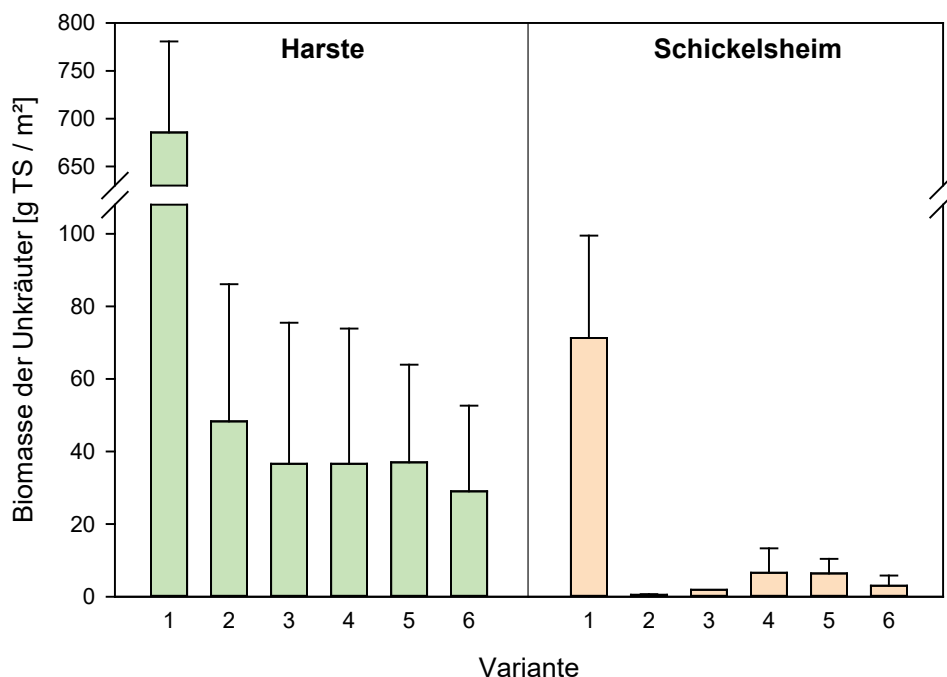


Abbildung 3 Biomasse der Unkräuter in der unbehandelten Kontrolle und nach verschiedenen Herbizidapplikationen (siehe Tab. 1) nach Bestandesschluss der Zuckerrüben an den Standorten Harste (Ernte am 20.07.2021) und Schickelsheim (Ernte am 18.08.2021) in Deutschland.

Figure 3 Biomass of weeds in the untreated control and after different herbicide treatments (Tab. 1) after row closure of sugar beet at the trial sites Harste (harvest date: 20 July 2021) and Schickelsheim (harvest date: 18 August 2021) in Germany.

In Schickelsheim lag eine Mischverunkrautung vor, die zu Bestandesschluss in der unbehandelten Kontrolle einen Deckungsgrad von 29 % aufwies (Abb. 4). Die dominierenden Arten waren Winden-Knöterich (*Polygonum convolvulus*) und Vogel-Knöterich (*Polygonum aviculare*). Die Varianten 2 und 3 mit einer Aufwandmenge von $2 \times 0,5 \text{ L/ha}^{-1}$ Conviso One hatten bei dieser Verunkrautung höhere Wirkungsgrade als die Varianten 4-6 mit $2 \times 0,25 \text{ L/ha}$ Conviso One. Die zusätzlichen Herbizidpartner der Varianten 3, 5 und 6 bewirkten am Standort Schickelsheim keine bessere Kontrolle. Die Biomasse der Unkräuter war bei den Varianten 2 und 3 tendenziell niedriger als in den Varianten 4-6 (Abb. 3). Auch bei WEGENER et al. (2016) wird gegenüber den Knöterich-Arten mit einer Aufwandmenge von $2 \times 0,5 \text{ L/ha}^{-1}$ Conviso One eine hohe Wirkung beschrieben.

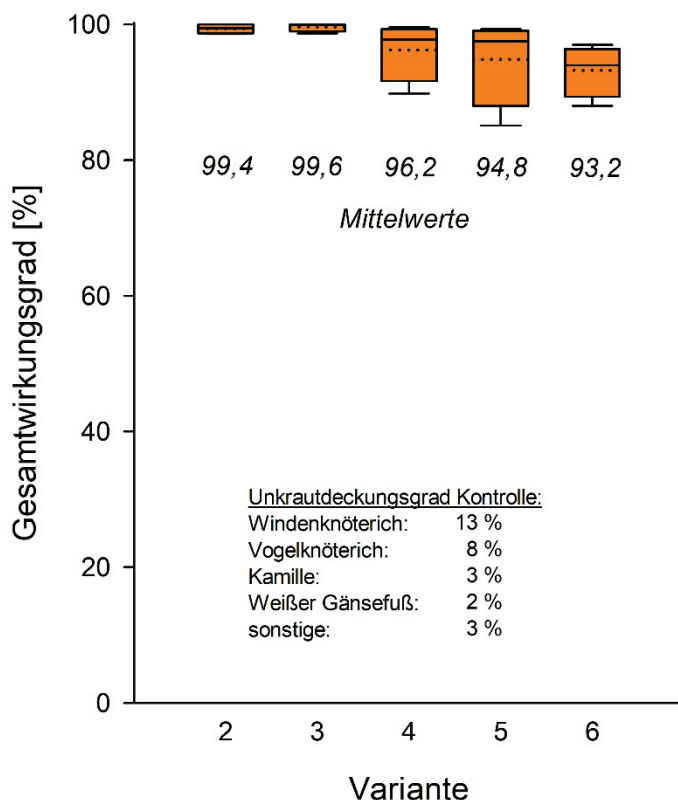


Abbildung 4 Unkrautdeckungsgrad in der unbehandelten Kontrolle sowie Gesamtwirkungsgrad verschiedener Herbizidapplikationen (siehe Tab. 1) nach Bestandesschluss in Zuckerrüben am Standort Schickelsheim (Bonitur am 11.08.2021) in Deutschland.

Figure 4 Weed cover in the untreated control and total herbicide efficacy of different herbicide treatments (ref. Tab. 1) after row closure of sugar beet on the trial site Schickelsheim (assessment date: 11 August 2021) in Germany.

Schlussfolgerung

Die Wirksamkeit der Bandapplikation von Conviso One, insbesondere bei reduzierten Aufwandmengen, ist sehr stark vom Unkrautauftreten und den Umweltbedingungen abhängig. Zur Bewertung des Verfahrens sind weitere Versuche erforderlich.

Die Anwendungsmöglichkeiten, die aus der Zulassung von Conviso One hervorgehen, lassen derzeit aus unterschiedlichen Gründen (z.B. Drainaufgaben, Aufwandmengen, Verbreitung von Hack- und Bandspritztechnik) keine umfangreiche Anwendung in der Praxis erwarten.

Literatur

- ABBOTT, W.S., 1925: A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. econ. Entomol, **18**(2), 265-267. DOI: 10.1093/jee/18.2.265a.
- BALGHEIM, N., M. WEGENER, H. MUMME, C. STIBBE, B. HOLTSCHULTE, 2016: CONVISO® SMART-a new solution to control monocotyledonous and dicotyledonous weeds in ALS-tolerant sugar beets. Julius-Kühn-Archiv **452**, 327-334. DOI: 10.5073/jka.2016.452.043.
- BVL, 2021: Online-Datenbank Pflanzenschutzmittel. URL: <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp> (Abrufdatum 01.10.2021).
- GÖTZE, P., C. KENTER, M.J. WENDT, E. LADEWIG, 2018: Übersicht zu Wirksamkeitsversuchen von Conviso® One in Zuckerrüben. Julius-Kühn-Archiv **458**, 497-499. DOI: 10.5073/jka.2018.458.000.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

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. DOI: 10.17221/2687-PSE.

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, 2016a: Efficacy of different strategies using an ALS-inhibitor herbicide for weed control in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal für Kulturpflanzen* **68** (11), 338-343. DOI: 10.1399/JfK.2016.11.03

WENDT, M.J., M. WEGENER, E. LADEWIG, B. MÄRLÄNDER, 2016b: Efficacy of foramsulfuron + thien carbazone-methyl towards different development stages of weed species in sugar beet cultivation. *Sugar Industry* **141** (7), 436-445.

WENDT, M.J., C. KENTER, E. LADEWIG, M. WEGENER, B. MÄRLÄNDER, 2017: Duration of soil activity of foramsulfuron plus thien carbazone-methyl applied to weed species typical of sugar beet cultivation. *Weed Technology* **31**, 291-300. DOI: 10.1017/wet.2016.18.

Effect of cinmethylin (LUXIMO®) in combination with non-chemical measures against *Alopecurus myosuroides* Huds. in winter cereals

Einfluss von cinmethylin (LUXIMO®) in Kombination mit nicht-chemischen Verfahren gegen Alopecurus myosuroides Huds. in Wintergetreide

Roland Gerhards^{1*}, Miriam Messelhäuser¹, Bernd Sievernich², Alfons Schönhammer²

¹Weed Science Department, University of Hohenheim, 70593 Stuttgart, Germany

²BASF SE, Speyerer Straße 2, 67117 Limburgerhof, Germany

*gerhards@uni-hohenheim.de

DOI: 10.5073/20220124-071432

Abstract

Pre-emergence herbicides in winter annual cereals often need to be combined with other weed control tactics to provide sufficient weed control efficacy for the entire growing season. In the present study, the new pre-emergence herbicide cinmethylin for the control of *Alopecurus myosuroides* Huds. in Europe was tested in four field experiments in winter wheat and winter triticale in Southwestern Germany over a period of three years. Treatments with cinmethylin were combined with stubble treatments and delayed drilling of winter annual cereals in a three-factorial block design. Average densities of *A. myosuroides* in the untreated control plots ranged from 38-1233 plants m⁻². The pre-emergence herbicide Cinmethylin controlled 58-99% of *A. myosuroides* plants until 120 days after sowing. Additive and synergistic effects of cinmethylin and delayed drilling were found for all studies reducing *A. myosuroides* density by more than 90%. Stubble treatments including one and two passes of chisel ploughing, chisel ploughing followed by glyphosate application and conversation stubble tillage with a straw harrow did not result in significant different *A. myosuroides* densities in the following winter cereal crops. Winter wheat and winter triticale grain yields were significantly increased by cinmethylin and delayed drilling. These data underline the benefits of integrated weed management using different weed control tactics.

Keywords: Integrated weed management, pre-emergence herbicide, preventive weed control

Zusammenfassung

Vorauflaufherbizide in Wintergetreide müssen häufig mit anderen Verfahren der Unkrautbekämpfung kombiniert werden, um eine ausreichende Kontrolle der Unkräuter über die gesamte Vegetationsperiode zu erzielen. In der vorliegenden Arbeit wurde das neue Vorauflaufherbizid Cinmethylin zur Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* Huds. in vier Feldversuchen mit Winterweizen und Wintertriticale an Standorten in Südwestdeutschland über drei Jahre getestet. Der Einsatz von Cinmethylin wurde mit Stoppelbehandlungen und Spätsaat von Wintergetreide in dreifaktoriellen Parzellenversuchen kombiniert. Die mittlere Dichte von *A. myosuroides* in den unbehandelten Kontrollen variierte zwischen 38-1233 Pflanzen m⁻². Cinmethylin bekämpfte 58-99 % der *A. myosuroides* Pflanzen bis zu dem Zeitpunkt von 120 Tagen nach der Saat. In Kombination mit Spätsaat stieg der Bekämpfungserfolg auf mehr als 90 % in allen Versuchen. Die Stoppelbehandlungen hatten keinen Einfluss auf die Dichte von *A. myosuroides*. Die Kornerträge von Winterweizen und Wintertriticale der Behandlungen Cinmethylin mit Spätsaat lagen signifikant über denen der unbehandelten Kontrolle. Die Ergebnisse unterstreichen den Nutzen von integrierten Verfahren der Unkrautkontrolle.

Stichwörter: Integrierte Unkrautbekämpfung, Vorauflaufherbizide, vorbeugende Unkrautkontrolle

Introduction

Cinmethylin is a potential new pre-emergence herbicide to control *Alopecurus myosuroides* Huds. and other grass weeds in cereals and oil-seed rape. Cinmethylin had been developed by Shell chemical company in the 1980ies. It was used in Asia to control grass-weeds in rice (DAYAN, 2003) but so far, it has not been applied in Europe. The mode of action of cinmethylin was recently identified by CAMPE et al. (2018). It inhibits the fatty acid thioesterases (FAT) in the plastid and represent a new mode of action for chemical weed control. Already 2 out of 17 *A. myosuroides* populations tested showed natural resistance to cinmethylin (MESSELHÄUSER et al., 2021a) before the selection within the population using cinmethylin has started. Repeated application of herbicides has selected for many resistant populations of *A. myosuroides* in Western Europe to almost all herbicide modes of action registered for *A. myosuroides* control. More populations were resistant to post-emergence herbicides inhibiting the photosystem II- (PS2), acetyl CoA carboxylase (ACCase)- and acetolactate synthase (ALS) than to pre-emergence herbicides (DROBNY et al., 2006; DÉLYE et al., 2007; MENNE et al., 2012; MENNE & HOGREFE, 2012; BAILLY et al., 2012; HEAP, 2014). Therefore, it is expected that resistant populations of *A. myosuroides* to cinmethylin may also be selected after several seasons of LUXIMO® application in winter annual crops.

Alopecurus myosuroides is prone of herbicide resistance because of several reasons. Population densities rapidly increased over the past decades due to a shift of cropping systems to higher proportions of winter annual crops and reduced tillage practices (LUTMAN et al., 2013; GERHARDS et al., 2016). Selection pressure is high because herbicides are often sprayed several times within a rotation (ZELLER et al., 2018). Herbicide resistance can spread within agricultural fields and from field to field due to cross-pollination and seed transport with combine harvesters, mainly if contract harvesters were used. Finally, seeds persist in the soil seed bank over a period of up to 8 years (MOSS, 1990; GERHARDS et al., 2016; MOSS, 2017). Those are reasons why *A. myosuroides* became a very problematic weed in Western European winter cereal production causing approximately 20% grain yield losses at densities of 100 plants per m² (ZELLER et al., 2018; ZELLER et al., 2021).

It is mostly agreed that only integrated weed control strategies including preventive and curative methods of weed control can successfully suppress *A. myosuroides* (LUTMAN et al., 2013; MOSS, 2017). Pre-emergence herbicides are usually not sufficient to provide a critical level of minimum 95% weed control efficacy against *A. myosuroides*, which is necessary to prevent an increase of population densities (MELANDER, 1995; MENEGAT & NILSSON, 2019; MESSELHÄUSER et al., 2021). Among preventive methods, integration of spring crops in winter cereal rotations reduced *A. myosuroides* densities by up to 88%, inversion tillage by 69%, delayed autumn drilling by 50%, selection of competitive crop cultivars and increasing crop density by up to 40% (LUTMAN et al., 2013; ZELLER et al., 2018; ZELLER et al., 2021). Cover cropping, non-selective herbicide application on the stubble and stubble tillage suppressed *A. myosuroides* densities in the fall-to-spring season by more than 90% (SCHAPPERT et al., 2018). Inversion tillage and repeated shallow tillage operations (up to 5 cm depth) after harvesting the previous crop resulted in better *A. myosuroides* suppression than deep stubble tillage of approximately 15 cm depth with a chisel plough. Although chisel ploughing provides better decomposition of crop residues and volunteer seeds, it can induce secondary dormancy of fresh *A. myosuroides* seeds. Shallow stubble tillage operations with a straw harrow prevent secondary dormancy and induce most seeds to germinate (MOSS, 2017; ZELLER et al., 2021). That preventive weed control methods listed above were mostly investigated separately in the previous studies. Few studies have combined preventive and curative methods in multi-factorial experiments (ZELLER et al., 2021). The objectives of this study were to determine the combined effects of stubble treatments, late drilling and the pre-emergence application of cinmethylin on *A. myosuroides* density and winter cereal grain yield. The hypotheses were that i) cinmethylin provided more than 80% weed control efficacy against *A. myosuroides* until the end of the vegetative growth stage (tillering) of winter cereals; ii) that delayed autumn drilling had

an additive or synergistic effect on the efficacy of the pre-emergence cinmethylin application; iii) repeated stubble tillage and a combination of chisel ploughing and non-selective herbicide application on the stubble reduced *A. myosuroides* in the following winter cereal compared to reduced stubble tillage.

Material and methods

Experimental sites

Four field experiments were conducted in winter wheat (2) and winter triticale (2) in Southwestern Germany from autumn 2017 until summer 2020. Three experiments were located at the research station Ihinger Hof (IHO) (48°44'32.5"N 8°55'31.1"E) of the University of Hohenheim and one on a practical farm site in Entringen 48°33'31.1"N 8°57'23.6"E). Climatical conditions were similar at both locations. Temperatures were 1-2 °C higher than the long-term average in all three years. All years were characterized by longer periods of drought in early spring, summer and autumn. In 2017 and 2019, soil was very dry before and shortly after sowing of winter cereals. The soil type at both locations was a parabrown soil containing 41% clay in Entringen and 32% clay at Ihinger Hof. Organic carbon contents ranged from 1.5% at Ihinger Hof to 2.1% in Entringen.

Experimental design

A three factorial randomized complete block design with three repetitions was realized in all four experiments. Each plot had a length of 12 m and a width of 3 m. The first factor was the **stubble treatment** between the harvest of the previous crop and the sowing of the winter cereal. Ploughing is a common stubble tillage practice to incorporate residues of the previous crop. It was applied once in the “reduced” treatment. In one treatment, chisel ploughing was “repeated” four weeks after the first pass to provide better control of emerging weeds and crop volunteers than in the “reduced” treatment. “Conservation” tillage is often applied when problems with soil erosion occurs. It was conducted twice with a straw harrow. In one treatment, chisel ploughing was followed by one application of non-selective herbicides.

The second factor was the **drilling time** of winter cereals including an early date from late September until mid of October and a late date three to six weeks later from the end of October until early December.

The third factor was the **weed control method** in winter cereals including a pre-emergence application of LUXIMO® in the full recommended field rate of 0.66 l ha⁻¹ (495 g a.i. ha⁻¹ cinmethylin) and an untreated control. Cinmethylin was applied five days after sowing with a plot sprayer (Schachtner-Gerätetechnik, Ludwigsburg, Germany), which was calibrated for a volume of 200 l ha⁻¹ and a speed of 3.6 km h⁻¹. Broadleaved weed species were controlled in all plots with synthetic auxins in spring.

Assessments

Density of *A. myosuroides* was determined 45 and 120 DAS. In the figures, data of the second counting are presented. *A. myosuroides* plants were counted in a 0.1 m² frame randomly placed four times in each plot. Grain yield was measured in a 1.5 m x 12 m strip in the center of each plot with a plot harvester (Wintersteiger, Elite 3, Ried im Innkreis, Austria). Grain weights were transformed to a homogenous water content of 14%.

Statistical analysis

For data analysis, the statistical software R (Version 3.6.2, RStudio Team, Boston, MA, USA) was used. Prior to ANOVA, the data were checked for homogeneity of variance and normal distribution of residuals. If necessary, data were square root transformed to homogenize variances and to normalize the distribution. In the figures, back transformed means are shown. In the ANOVA, stubble treatment, sowing date and

herbicide treatment were included as fixed effects. Multiple mean comparison tests were performed using the Tukey HSD-Test at a significance level of $\alpha \leq 0.05$.

Results

Effects of treatments on Alopecurus myosuroides density

At IHO 2018, moderate infestation rate of *A. myosuroides* density with 38 plants m^{-2} were measured in the early sown and untreated plots. Delayed drilling resulted in average *A. myosuroides* density of 11 plants m^{-2} , which corresponds to a 71% reduction. Cinmethylin controlled 97% of *A. myosuroides* plants. At Entringen 2019, the three-way interaction of stubble treatment, sowing date and weed control was significant. Densities in the control plots were very high and ranged from 872 to 1233 plants m^{-2} after early sowing and 464 to 996 plants m^{-2} after late sowing at the second sampling date 120 DAS. Delayed drilling early December reduced *A. myosuroides* density to an average of 11 plants m^{-2} . Cinmethylin application provided an additive effect to late drilling. Densities in all treatments sprayed with cinmethylin were less than 2 plants m^{-2} , which amounted in 98-99% *A. myosuroides* control efficacy (WCE). In the IHO 2019 experiment, only the factor weed control showed significant effects. Delayed autumn drilling slightly reduced *A. myosuroides* densities with an average of 199 plants m^{-2} compared to 241 plants m^{-2} for the early sowing date. At IHO 2020, delayed autumn drilling and cinmethylin application significantly reduced *A. myosuroides* density. Infestation rates in the early sown control plots were considerably high with an average of 282 plants m^{-2} . Delayed drilling reduced *A. myosuroides* density to 101 plants m^{-2} (64% WCE). Densities in treatments sprayed with cinmethylin were 114 plants m^{-2} in the early sown plots and 24 plants m^{-2} after delayed drilling (Fig. 1). WCE of cinmethylin increased from 58% in the early sowing date to 91% after delayed drilling. Therefore, cinmethylin application provided a synergistic effect to late drilling.

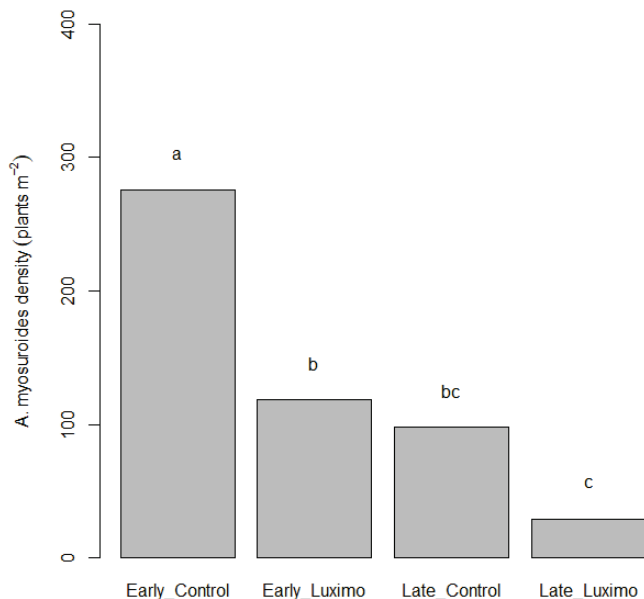


Figure 1 Effects of delayed autumn drilling and LUXIMO® (cinmethylin) treatment on the average *Alopecurus myosuroides* density (plants m^{-2}) at Ihinger Hof (IHO) in winter wheat 2020.

Abbildung 1 Einfluss von Spätsaat und LUXIMO® (cinmethylin) auf die mittlere Dichte (plants m^{-2}) von *Alopecurus myosuroides* am Standort Ihinger Hof (IHO) in Winterweizen 2020.

Effects of treatments on cereal grain yields

In the IHO 2018 experiment, delayed autumn drilling in combination with cinmethylin application significantly increased winter wheat yield compared to early sowing and untreated controls. The

cinmethylin treatment after delayed sowing resulted in a grain yield of 7.1 t ha⁻¹ compared to 6.3 t ha⁻¹ for the early sown treatments and 6.0 t ha⁻¹ for the late drilled control plots. Grain yield in Entringen 2019 was only affected by weed control treatment. The application of cinmethylin increased the average grain yield to 9.4 t ha⁻¹ compared to 7.0 t ha⁻¹ for the untreated control (Fig. 2).

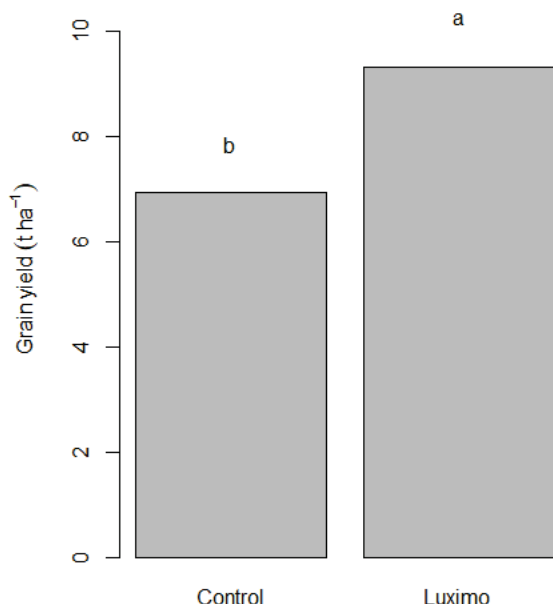


Figure 2 Effect of LUXIMO® (cinmethylin) treatment on the average winter triticale grain yield (t ha⁻¹) at Entringen in 2019.

Abbildung 2 Einfluss von LUXIMO® (cinmethylin) auf den mittleren Kornertrag (t ha⁻¹) von Wintertriticale am Standort Entringen in 2019.

At IHO 2019, no significant effects of stubble treatment, sowing date and weed control on grain yield were observed. The average grain yields amounted 5.5 t ha⁻¹ to 8.5 t ha⁻¹ in the control plots and 8.5 t ha⁻¹ to 10.1 t ha⁻¹ in the LUXIMO® treatments. Yields were slightly higher after delayed sowing compared to the early sowing. Among the stubble treatments, reduced tillage resulted in slightly higher yields compared to the other treatments. Grain yields at IHO in 2020 were influenced by sowing date and weed control. Late drilling achieved 2.5 t ha⁻¹ higher grain yields than early sowing and the application of cinmethylin also increased grain yields by 2.5 t ha⁻¹ compared to the untreated control.

Discussion

The results in this study proofed the first hypothesis that WCE of cinmethylin against *A. myosuroides* exceeded 80%. On average, WCE was 88% ranging from 58-99%. Data of WCE were similar to other pre-emergence herbicides commonly used against *A. myosuroides* in winter cereals, such as flufenacet, pendimethalin, prosulfocarb and diflufenican and combinations of those (MENNE et al., 2012; MENEGAT & NIELSSON, 2019; MESSELHÄUSER et al., 2021). However, WCE of pre-emergence herbicides varied stronger between years and sites than post-emergence herbicides (MESSELHÄUSER et al., 2021). Pre-emergence herbicides showed lower WCE especially under dry conditions and high clay and organic matter contents. Activity of pre-emergence herbicides is often not long enough to provide effective weed until the end of tillering of winter cereals, which can be as long as 150 DAS (KUDSK & KRISTENSEN, 1992). Therefore, pre-emergence herbicides often need to be combined with other weed control tactics.

The second hypothesis that delayed autumn drilling had an additive or synergistic effect on the efficacy of the pre-emergence cinmethylin application was proofed by the data. WCE against *A. myosuroides* was always higher than 90% after the combination of late drilling and cinmethylin application few days after sowing. Combined effects were additive in 2018 and 2019 and synergistic in 2020. This underlines the benefits of integrated weed management using chemical and non-chemical weed control tactics.

References

- CAMPE, R., E. HOLLENBACH., L. KÄMMERER et al., 2018: A new herbicidal site of action: Cinmethylin binds to acyl-ACP thioesterase and inhibits plant fatty acid biosynthesis. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **148**, 116–125.
- DÉLYE, C., Y. MENCHARI, J.-P. GUILLEMI, et al., 2007: Status of black grass (*Alopecurus myosuroides*) resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase inhibitors in France. *Weed Research* **47**, 95–105.
- GERHARDS, R., J. DENTLER, C. GUTJAH, et al., 2016: An approach to investigate the costs of herbicide-resistant *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* **56**, 407–414.
- LUTMAN, P.J.W., S.R. MOSS, S. COOK et al., 2013: A review of the effects of crop agronomy on the management of *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research* **53**, 299–313.
- MELANDER, B., 1995: Impact of drilling date on *Apera spica-venti* L. and *Alopecurus myosuroides* Huds. in winter cereals. *Weed Research* **35**, 157–166.
- MENEGAT, A., A.T.S. NILSSON, 2019: Interaction of Preventive, Cultural, and Direct Methods for Integrated Weed Management in Winter Wheat. *Agronomy* **9**, 564.
- MENNE, H.J., C. HOGREFE, 2012: Impact of multiple resistance mechanisms in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) populations on the of cereal herbicides. *Julius-Kühn-Archiv* **1**, 65–74.
- MENNE, H.J., B. LABER, D. KERLEN et al., 2012: Effectiveness of flufenacet in controlling resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) – comparison of glasshouse and field trial results. *Julius-Kühn-Archiv* **1**, 401–408.
- MESSELHÄUSER, M.H., A.I. LINN, A. MATHES et al., 2021a: Development of an Agar Bioassay Sensitivity Test in *Alopecurus myosuroides* for the Pre-Emergence Herbicides Cinmethylin and Flufenacet. *Agronomy* **11**, 1408.
- MESSELHÄUSER, M.H., M. SAILE, B. SIEVERNICH et al., 2021b: Effect of cinmethylin against *Alopecurus myosuroides* Huds. in winter cereals. *Plant, Soil and Environment* **67**, 46–54.
- MOSS, S.R., 1990: The seed cycle of *Alopecurus myosuroides* in winter cereals: a quantitative analysis. In: Europe an Weed Research Society, Helsinki, Finland, June 1990, 27–35.
- MOSS, S.R., J.H. Clarke, 1994: Guidelines for the prevention and control of herbicide-resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop Protection* **13**, 230–234.
- MOSS, S.R., 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.
- SCHAPPERT, A., M.H. MESSELHÄUSER, M. SAILE, et al., 2018: Weed Suppressive Ability of Cover Crop Mixtures Compared to Repeated Stubble Tillage and Glyphosate Treatments. *Agriculture* **8**, 144.
- ZELLER, A.K., Y.I. KAISER, R. GERHARDS, 2018: Suppressing *Alopecurus myosuroides* Huds. in rotations of winter annual and spring crops. *Agriculture* **8**, 91.
- ZELLER, A.K., Y.I. ZELLER, R. GERHARDS, 2021: A long-term study of crop rotations, herbicide strategies and tillage practices: Effects on *Alopecurus myosuroides* Huds. abundance and contribution margins of the cropping systems. *Crop Protection* **145**, 105613.

Betrieblicher Herbizid-Einsatz zur Kontrolle von *Cirsium arvense* in Winterweizen

*On-farm herbicide use to control *Cirsium arvense* in winter wheat*

Sabine Andert^{1*}, Sarah Rohde¹; Maria Tackenberg²

¹Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur für Phytomedizin, Satower Straße 48, 18051 Rostock

²xarvio™ Digital Farming Solutions, BASF Digital Farming GmbH, Albrecht-Thaer-Str. 34, 48147 Münster

*sabine.andert@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/20220124-071432

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie zielt darauf ab, Anwendungsmuster zur Kontrolle von *Cirsium arvense* in Winterweizen zu erforschen. Zu diesem Zweck wurden feldspezifische Anwendungsdaten landwirtschaftlicher Praxisbetriebe aus zwei Regionen Norddeutschlands (Ostholstein und Vorpommern-Rügen) über den Zeitraum 2010 - 2018 ausgewertet. In der Analyse des Herbizid-Einsatzes wurden alle selektiven Herbizidmaßnahmen mit einer Indikation zur Kontrolle der Ackerkratzdistel in Winterweizen betrachtet.

Auf 76 % der untersuchten Felder wurden Herbizide zur Kontrolle von *C. arvense*, überwiegend in einer Überfahrt, eingesetzt. Die Überfahrt wurden mit 50-75 % der zugelassenen Aufwandmenge des eingesetzten Herbizides durchgeführt. Der Wirkstoff Tribenuron-Methyl (HRAC-Gruppe 2) wurde hauptsächlich zur Kontrolle von *C. arvense* in Winterweizen verwendet. Die vorliegenden Ergebnisse zum Einfluss vorbeugender Maßnahmen auf die Intensität der eingesetzten selektiven Herbizide zeigen keinen eindeutigen Trend.

Selektive Herbizidmaßnahmen in Winterweizen sind verbreitete Praktiken zur Kontrolle von *C. arvense*. Wissensaustausch und Beratung zwischen der agrarfachlichen Praxis, der Official-Beratung und der Forschung ist wünschenswert, um agrarökologische Maßnahmen zu fördern und damit einhergehend den Einsatz chemisch-synthetischer Herbizide zu reduzieren.

Stichwörter: Ackerkratzdistel, Behandlungsindex, Betriebsdaten, Herbizid-Intensität

Abstract

This study aims at investigating use patterns for the control of *Cirsium arvense* in winter wheat. For this purpose, our study analysed field-specific herbicide use data from farms in two regions of northern Germany (Ostholstein and Vorpommern-Rügen) between 2010 and 2018. For the analysis, selective herbicide use data with an approved indication for the control of Canada thistle in winter wheat were used.

In general, 76% of the fields were treated chemically to control *C. arvense* once a year. 50-75% of the approved herbicide dosage rates were applied. The active ingredient tribenuron-methyl (HRAC group 2) was mainly used to control *C. arvense* in winter wheat. We did not find a clear effect of preventive control measures on the intensity of the selective herbicides.

The use of selective herbicides are common practices for the control of *C. arvense* in winter wheat. Knowledge transfer between agricultural practice, official advice and agricultural research is desirable to promote agro-ecological measures, and thus, reduce the use of chemical herbicides in arable farming.

Keywords: Canada thistle, herbicide use intensity, on-farm data, Treatment frequency index

Einleitung

Das Vorkommen der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) wird durch die vegetative Vermehrung mit einem weit reichenden tiefen Wurzelsystem gefördert (NADEAU & VANDEN BORN, 1989; TILEY, 2010).

Verbreitete Praktiken zur Kontrolle der Ackerkratzdistel im konventionellen Anbau sind wendende Bodenbearbeitung (MELANDER et al., 2012), der Einsatz selektiver Herbizide in der Vegetationszeit der Kultur (HARKER & O'DONOVAN, 2013) und nicht-selektive Herbizide in der Zwischenkulturzeit auf der Stoppel (TØRRESEN & SKUTERUD, 2002; BECKIE et al., 2020). Unerwünschte Nebeneffekte auf Nicht-Ziel-Organismen und die Umwelt mahnen jedoch, wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug (MOITZI et al., 2013) und den Einsatz chemisch-synthetischer Herbizide zu reduzieren sowie den nicht-selektiven Wirkstoff Glyphosat zu substituieren (KUDSK & MATHIASSEN, 2020).

Aus der Sicht der Anwender sollten alternative Kontrollmaßnahmen jedoch umsetzbar und praktikabel sein. Aufgabe von Wissenschaft und Beratung ist es, abzuschätzen, zu welchen Vegetationszeitpunkten nicht-chemische Maßnahmen zur Kontrolle von *C. arvense* angewendet werden sollten und welche Maßnahmen einzeln oder in Kombination zukünftig zur Kontrolle von Ackerkratzdisteln genutzt werden können.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, Kenntnisse zu den betrieblichen Anwendungsmustern kulturselektiver Herbizide zur Kontrolle von *C. arvense* zu gewinnen, um zukünftige Reduktionspotentiale abzuschätzen. Zu diesem Zweck wurden feldspezifische Anwendungsdaten landwirtschaftlicher Praxisbetriebe aus Norddeutschland ausgewertet.

Material und Methoden

Datengrundlage

In sechs Betrieben der norddeutschen Regionen Ostholstein (OH) und Vorpommern-Rügen (VR) wurden über den Zeitraum 2010 - 2018 Daten zum Pflanzenschutzmitteleinsatz erfasst. In der vorliegenden Studie werden die Herbizid-Einsätze der Betriebe zur Kontrolle von *C. arvense* in Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) analysiert.

Die natürlichen Produktionsbedingungen in den Regionen OH und VR sind vergleichbar (Tab. 1). Die jährlichen Niederschlagsmengen und hohen mittleren Ackerzahlen zeigen das Vorherrschen ertragsstarker Standorte für die Winterweizenproduktion.

Tabelle 1 Produktionsbedingungen in den Regionen Vorpommern-Rügen (VR) und Ostholstein (OH). Quellen: Deutscher Wetterdienst, Agrarstrukturerhebung 2016 Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein

Table 1 Production characteristics of the study regions Vorpommern-Rügen (VR) and Ostholstein (OH). Sources: Deutscher Wetterdienst, Agrarstrukturerhebung 2016 Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein

	VR	OH
Mittlere Betriebsgröße [ha]	306	103
Mittlere Bodengüte [0 – 100]	61 (27-69)	62 (33-69)
Mittlerer Jahresniederschlag [mm] (2010 - 2018)	652	663
Mittlere Lufttemperatur [°C] (2010 - 2018)	9,1	9,5
Mittlerer Ertrag Winterweizen [dt/ha]	74	98

Datenanalyse

Für den vorliegenden Beitrag wurden aus der Ackerschlagkartei schlagspezifische Angaben zur Vorfrucht (Sommerung/Winterung), Bodenbearbeitung (wendend/nicht-wendend) und Aussaatzeitpunkt (bis 15.09./16.09 - 30.09./01.10. - 15.10./16.10. - 31.10) entnommen.

In der Analyse des Herbizid-Einsatzes wurden alle selektiven Herbizidmaßnahmen mit einer Indikation für *C. arvense* in Winterweizen (BVL, 2021) betrachtet. Nicht-selektive Herbizidmaßnahmen mit dem Wirkstoff

Glyphosat zu Stoppel-, Vorsaats- und Vorerntebehandlungen wurden aus der Analyse ausgeschlossen. Es wurden 160 Schläge mit 214 kulturselektiven Herbizidmaßnahmen analysiert. Zur Darstellung und zum Vergleich der Herbizid-Intensitäten wurden (i) der Indikator Behandlungsindex (BI) (ROßBERG et al., 2002), und (ii) die Anzahl der Überfahrten verwendet. Der Behandlungsindex eines Schlages in einem Erntejahr wird aus allen Behandlungen mit einer Indikation für *C. arvense* in Winterweizen berechnet.

Die phänologische Bestandesentwicklung (MEIER et al., 2009) des Winterweizens wurde mittels Wachstumsmodellen rückwirkend ermittelt. Feldspezifisch werden die Parameter Saatzeit und Sorte sowie interpolierte Wetterdaten des Standortes verwendet, um die phänologische Entwicklung des Winterweizens mittels BBCH-Skalen rückwirkend zu ermitteln. Hierbei werden die für Praktiker relevanten BBCH-Stadien berechnet, um basierend darauf eine Behandlung durchzuführen. In dem generischen Wachstumsmodell spielen vor allem die Sorteneigenschaften eine große Rolle bei der Berechnung der BBCH Stadien. Neben Informationen zur Reifegruppe und dem Blühbeginn werden auch die Entwicklung über Winter und weitere Pflanzenneigungen (z.B. die Neigung zur Auswinterung oder zum Lagern) mit einbezogen.

Statistische Auswertungen

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit der Softwareumgebung R (R CORE TEAM, 2020) und darin mit dem Paket ‚agricolae‘ (DE MENDIBURU & YASEEN, 2020). Für die grafische Darstellung der Ergebnisse wurde das Paket ggplot2 verwendet (WICKHAM, 2016). Der parameterfreie Kruskal-Wallis-Test wurde verwendet, um Unterschiede hinsichtlich des Herbizid-Einsatzes (Behandlungsindex und Überfahrten) zwischen den Regionen statistisch zu prüfen.

Ergebnisse und Diskussion

Betrieblicher Herbizid-Einsatz zur Kontrolle von *C. arvense*

Insgesamt wurden auf 76 % der untersuchten Winterweizenfelder der Praxisbetriebe in OH und VR mit Herbiziden zur Kontrolle von *C. arvense* appliziert. Abbildung 1 stellt die Überfahrten mit Herbiziden zur Kontrolle der Ackerkratzdistel in Winterweizen dar. Auf 82,5 % der Weizenfelder in den Regionen OH und VR wurde eine Herbizidmaßnahme zur Kontrolle von *C. arvense* durchgeführt, 15 % der Felder wurden zweimal zur Kontrolle von *C. arvense* überfahren. Auf 2,5 % der Felder in der Region OH wurden drei Überfahrten zur *C. arvense* Kontrolle durchgeführt.

In den Regionen OH und VR werden einmalige Herbizidmaßnahmen zur Kontrolle von *C. arvense* überwiegend zu BBCH 10-13 oder BBCH 31/32 durchgeführt (Abb. 1a).

Maßnahmenkombinationen mit zwei Überfahrten (Abb. 1b) pro Erntejahr wurden zunächst in BBCH 13-21 und nachfolgend in BBCH 30-29 in Ostholstein und BBCH 29-32 in Vorpommern-Rügen durchgeführt.

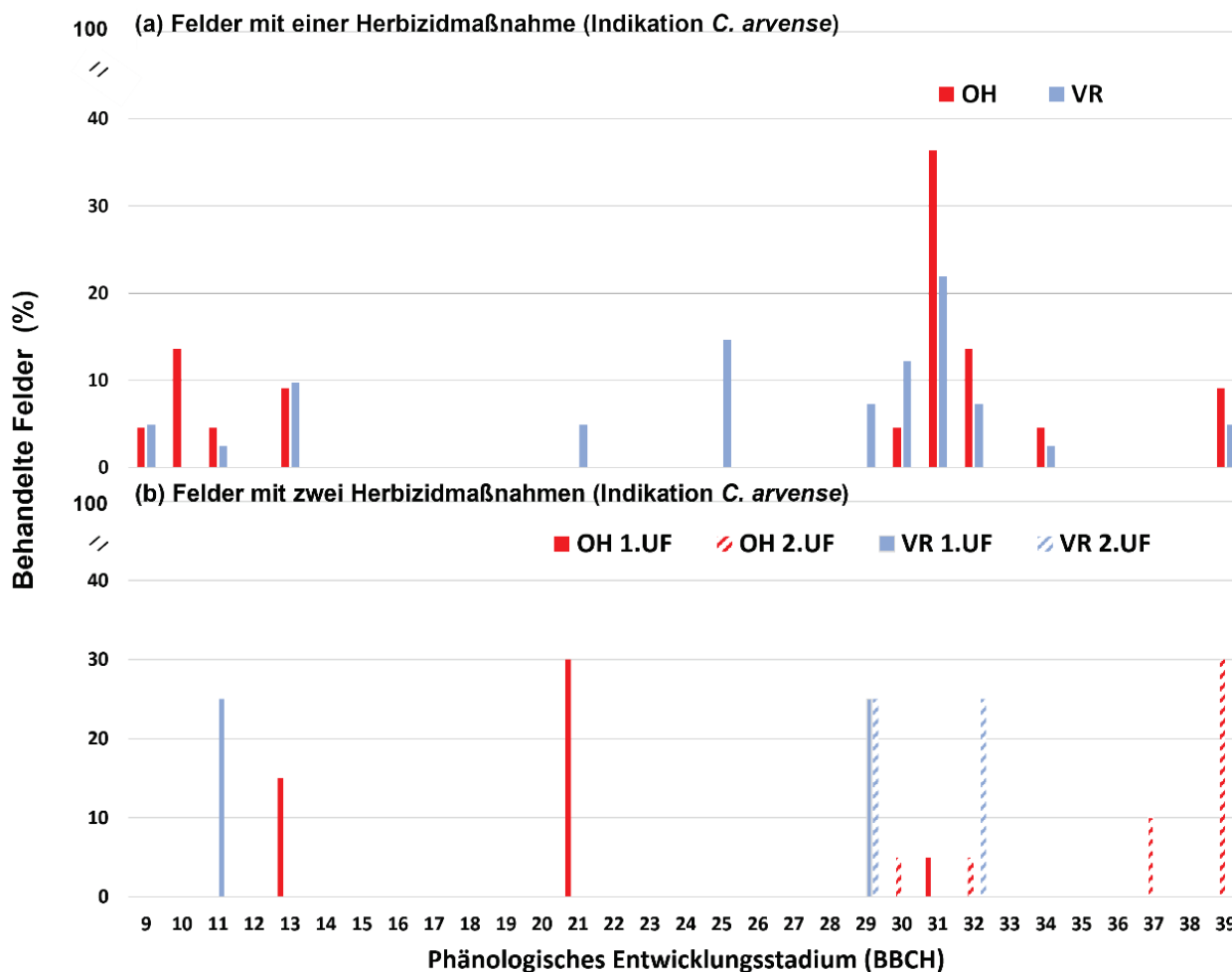


Abbildung 1 Betriebliche Herbizid-Einsätze zur Kontrolle von *C. arvensis* in Abhängigkeit von der phänologischen Entwicklung (BBCH) in den Regionen OH (Ostholstein) und VR (Vorpommern-Rügen). Relativer Anteil (%) der Felder mit einer Herbizid-Überfahrt (Abb. 1a) und zwei Herbizid-Überfahrten (1. UF/2. UF) (Abb. 1b) zur Kontrolle von *C. arvensis* in Winterweizen.

Figure 1 On-farm herbicide use to control *C. arvensis* subject to phenological growth (BBCH) in the study regions OH (Ostholstein) and VR (Vorpommern-Rügen). (1a) Share (%) of single-treated fields, (1b) share (%) of double-treated fields to control *C. arvensis* in winter wheat.

Abbildung 2 stellt die Behandlungsindizes der Maßnahmen zur Kontrolle von *C. arvensis* in Winterweizen dar. Die Häufigkeit der Überfahrten mit Herbiziden beeinflusst die Herbizid-Intensität. Die Herbizid-Intensitäten unterscheiden sich ebenfalls signifikant zwischen den Untersuchungsregionen OH und VR. Im Mittel der Jahre 2010 - 2018 betrug der BI zur Kontrolle von *C. arvensis* auf Feldern mit einer Überfahrt in OH BI=0,5 und in VR BI=0,75, dies entspricht einer Überfahrt mit 50 % der zugelassenen Aufwandmenge in OH und 75 % der zugelassenen Aufwandmenge in VR. Steigt die Anzahl der Überfahrten auf zwei, erhöht sich die Intensität der eingesetzten Herbizide auf BI=1,25 (OH) und BI=1,4 (VR). Regionale Unterschiede in der Behandlungsintensität zur Kontrolle von *C. arvensis* in Winterweizen sind vermutlich durch (i) höhere Beschattungseffekte des Winterweizens in der Region OH und (ii) das Auftreten weiterer Zielarten (Klatschmohn, Kamille-Arten), für die der eingesetzte Wirkstoff ebenfalls eine Indikation besitzt, in der Region VR zu begründen.

In den Regionen OH und VR wird überwiegend der Wirkstoff Tribenuron zur Kontrolle von *C. arvensis* in Winterweizen eingesetzt sowie eine Kombination der Wirkstoffe Clopyralid, Fluroxypyr und Florasulam (Tab. 2).

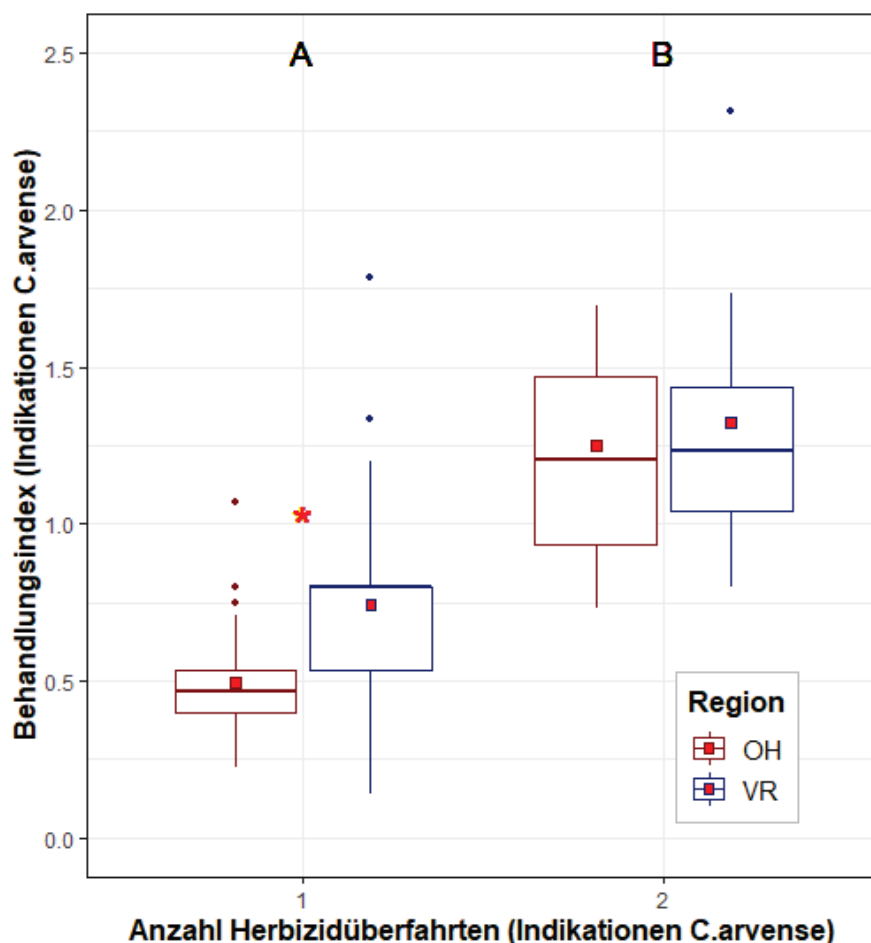


Abbildung 2 Vergleich der Herbizid-Intensität (Behandlungsindex Indikation *C. arvensis*) zwischen der Anzahl der Überfahrten in Winterweizen in den Regionen OH (Ostholstein) und VR (Vorpommern-Rügen). Verschiedene Buchstaben über jedem Boxplot (A, B) symbolisieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen der Anzahl Herbizid-Überfahrten. ‘*’ kennzeichnet signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Regionen.

Figure 2 Herbicide use (Treatment Frequency Index indication *C. arvensis*) comparison between the number of treatments in winter wheat in the study regions OH (Ostholstein) and VR (Vorpommern-Rügen). Different letters (A and B) represent significant differences ($p < 0.05$) between number of treatments. ‘*’ represents significant differences ($p < 0.05$) between study regions.

Tabelle 2 Relativer Anteil der eingesetzten Wirkstoffe (%) zur Kontrolle von *C. arvensis* am Gesamtanteil der eingesetzten Wirkstoffe mit Indikation zur Kontrolle von *C. arvensis* in Winterweizen (BVL, 2021) in den Regionen OH (Ostholstein) und VR (Vorpommern-Rügen)

Table 2 Active ingredients (%) to control *C. arvensis* in the study regions OH (Ostholstein) and VR (Vorpommern-Rügen)

Wirkstoffe/Region	Relativer Anteil der eingesetzten Wirkstoffe (%) am Gesamtanteil der eingesetzten Wirkstoffe mit Indikation zur Kontrolle von <i>C. arvensis</i> in Winterweizen	
	OH	VR
MCPA	7,3	3,0
Tribenuron	58,5	59,4
Mecoprop-P	7,3	-
Metsulfuron + Tribenuron	1,2	8,3
MCPA + Clopyralid + Fluroxypyr	3,7	-
Clopyralid + Fluroxypyr + Florasulam	20,7	29,3

Einfluss vorbeugender Maßnahmen auf die Herbizid-Intensität

Um den Einfluss der vorbeugenden Maßnahmen auf die Herbizid-Intensität darzustellen, fasst Abbildung 3 deren Auswirkungen zur Kontrolle von *C. arvense* zusammen. Sommerungen als Vorfrüchte des Winterweizens reduzieren tendenziell den BI in der Region OH (Abb. 3a). Die Art der Bodenbearbeitung beeinflusst die Herbizid-Intensität in beiden Regionen signifikant. Auf gepflügten Feldern ist der Einsatz selektiver Herbizide zur Kontrolle von *C. arvense* im Betrachtungszeitraum 2010 - 2018 signifikant höher (Abb. 3b). Die Fragmentierung der unterirdischen Wurzeläusläufer kann einerseits dazu führen, dass vermehrt Sprosse aus Knospen gebildet werden (TILEY, 2010; FAVRELIÈRE et al., 2020), andererseits jedoch auch die Reservestoffe der Pflanzen im unterirdischen Wurzelsystem verringert werden (HAKANSSON, 2003). Die vorliegenden Ergebnisse zum Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Herbizid-Intensität zur Kontrolle von *C. arvense* lassen folglich keinen eindeutigen Schluss zur Wirkung der einjährigen Bodenbearbeitung auf das Auftreten von *C. arvense* in der Folgefrucht zu.

Der Behandlungsindex zur Kontrolle von *C. arvense* wird nicht signifikant vom Aussaattermin des Winterweizens beeinflusst (Abb. 3c). In der Region OH führen spätere Saattermine tendenziell zu geringeren Herbizid-Intensitäten, in der Region VR ist kein eindeutiger Trend erkennbar. Die zügige Blatentwicklung des Weizens kann dazu beitragen, das Vorkommen von *C. arvense* zu reduzieren, da die Pflanzen sehr empfindlich gegenüber Lichtkonkurrenz durch Beschattung sind (GRAGLIA et al., 2006; DAVIS et al., 2018). Spätere Saattermine hingegen ermöglichen ein intensives Stoppelmanagement mittels mechanischer Bodenbearbeitung und damit einhergehender Störung des unterirdischen Wurzelsystems.

Um die Effekte vorbeugender Maßnahmen auf die Herbizid-Intensität der Praxisbetriebe eindeutiger zu quantifizieren, sollten zukünftige Auswertungen die Vorfrüchte, Saatzeiten und Bodenbearbeitungsregime in der Anbauhistorie rückwirkend über mehrere Jahre betrachten, um die langfristigen Effekte der Maßnahmen auf das Vorkommen und die räumliche Verbreitung von *C. arvense* zu erfassen und damit eingehend Reduktionspotentiale chemisch-synthetischer Herbizide abzuschätzen.

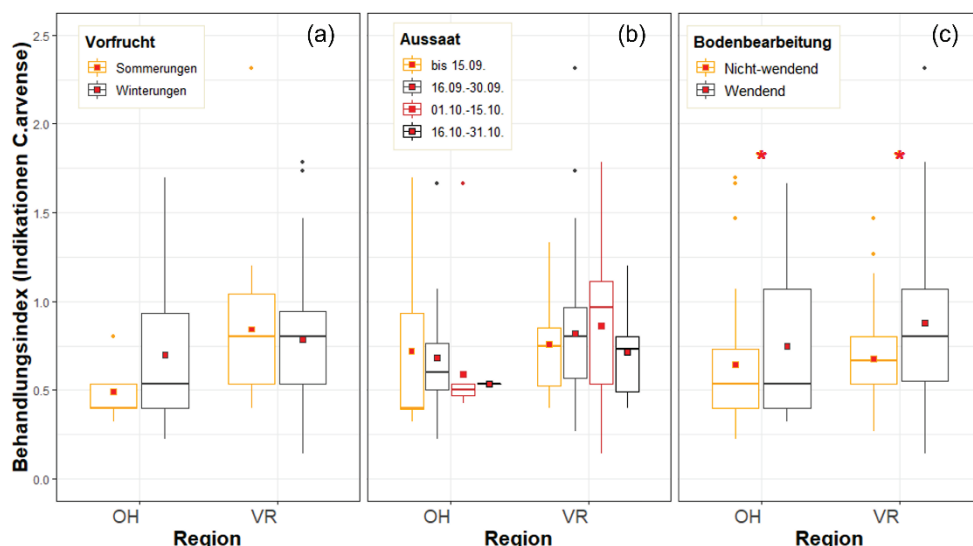


Abbildung 3 Einfluss der Vorfrucht (Winterung/Sommerung) (Abb. 3a), der Art der Bodenbearbeitung (nicht-wendend/wendend) (Abb. 3b) und des Zeitpunktes der Aussaat (bis 15.09./16.09.-30.09./01.10.-15.10./16.10.-31.10) (Abb. 3c) auf den Behandlungsindex in den Regionen OH (Ostholstein) und VR (Vorpommern-Rügen). Das Symbol ‘*’ kennzeichnet signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den geprüften Faktoren.

Figure 3 Effect of pre-crop (winter crops, summer crops) (Fig. 3), tillage (non-plough/plough) (Fig. 3b) and sowing time (until 15/9, 16/9-30/9, 1/10-15/10, 16/10-31/10) on Treatment Frequency Index in the study regions OH (Ostholstein) and VR (Vorpommern-Rügen). The symbol ‘*’ represents significant differences ($p < 0.05$) between the factors.

Danksagung

Das Projekt „Landwirte-Netzwerk – Mehrjahres-Analyse der Pflanzenschutz-Strategien“ wird von xarvio™ Digital Farming Solutions, BASF Digital Farming GmbH gefördert. Besonderer Dank gilt den Landwirten aus der Region Ostholstein und Vorpommern-Rügen, die durch die Bereitstellung Ihrer Betriebsdaten diese Arbeit ermöglicht haben.

Literatur

- BECKIE, H.J., K.C. FLOWER, M.B. ASHWORTH, 2020: Farming without Glyphosate? *Plants* **9**, 96, DOI:10.3390/plants9010096.
- BVL, 2021: Online data base on plant protection products. Access: 11. October 2021, URL: <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp>.
- DAVIS, S., J. MANGOLD, F. MENALLED, N. ORLOFF, Z. MILLER, E. LEHNHOFF, 2018: A Meta-analysis of Canada Thistle (*Cirsium arvense*) Management. *Weed Science* **66** (4), 548–557, DOI:10.1017/wsc.2018.6.
- DE MENDIBURU, F., M. YASEEN, 2020: agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.4.0.
- FAVRELIÈRE, E., A. RONCEUX, J. PERNEL, J.-M. MEYNARD, 2020: Nonchemical control of a perennial weed, *Cirsium arvense*, in arable cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **40** (4), DOI:10.1007/s13593-020-00635-2.
- GRAGLIA, E., B. MELANDER, R.K. JENSEN, 2006: Mechanical and cultural strategies to control *Cirsium arvense* in organic arable cropping systems. *Weed Research* **46** (4), 304–312, DOI:10.1111/j.1365-3180.2006.00514.x.
- HAKANSSON, S., 2003: Weeds and weed management on arable land: An ecological approach. Wallingford, Oxon, UK, Cambridge, MA, CABI Pub, DOI:10.1079/9780851996516.0000.
- HARKER, K.N., J.T. O'DONOVAN, 2013: Recent Weed Control, Weed Management, and Integrated Weed Management. *Weed Technology* **27** (1), 1–11, DOI:10.1614/WT-D-12-00109.1.
- KUDSK, P., S.K. MATHIASSEN, 2020: Pesticide regulation in the European Union and the glyphosate controversy. *Weed Science* **68**, 214–222, DOI:10.1017/wsc.2019.59.
- MEIER, U., H. BLEIHOLDER, L. BUHR, C. FELLER, H. HACK, M. HEß, P.D. LANCASHIRE, U. SCHNOCK, R. STAUß, T. VAN DEN BOOM, E. WEBER, P. ZWERGER, 2009: The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications –. 41-52 Pages / *Journal of Cultivated Plants*, Vol. 61 No. 2 (2009), DOI:10.5073/JFK.2009.02.01.
- MELANDER, B., N. HOLST, I.A. RASMUSSEN, P.K. HANSEN, 2012: Direct control of perennial weeds between crops – Implications for organic farming. *Crop Protection* **40**, 36–42, DOI:10.1016/j.cropro.2012.04.029.
- MOITZI, G., M. HAAS, H. WAGENTRISTL, J. BOXBERGER, A. GRONAUER, 2013: Energy consumption in cultivating and ploughing with traction improvement system and consideration of the rear furrow wheel-load in ploughing. *Soil and Tillage Research* **134**, 56–60, DOI:10.1016/j.still.2013.07.006.
- NADEAU, L., W. VANDEN BORN, 1989: The root system of Canada thistle. *Canadian Journal of Plant Science* **69**, DOI:10.4141/cjps89-142.
- R CORE TEAM, 2020: R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>, R Foundation for Statistical Computing.
- ROßBERG, D., V. GUTSCHE, S. ENZIAN, M. WICK, 2002: Neptun 2000- Survey into application of chemical pesticides in agricultural practice in Germany. Report from BBA 98.
- TILEY, G.E.D., 2010: Biological Flora of the British Isles: *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Journal of Ecology* **98** (4), 938–983, DOI:10.1111/j.1365-2745.2010.01678.x.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- TØRRESEN, K., R. SKUTERUD, 2002: Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. IV. Crop Protection **21** (3), 179–193, DOI:10.1016/S0261-2194(01)00081-3.
- WICKHAM, H., 2016: ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.

Control of hoary cress (*Lepidium draba* L.) in strawberry production

Bekämpfbarkeit von Pfeilkresse (*Lepidium draba* L.) im Erdbeeranbau

Berit Kleuker*, Rebecka Dücker

Georg-August Universität Göttingen, Abt. Pflanzenpathologie und -schutz, Göttingen, Deutschland

*beritkleuker@googlemail.com

DOI: 10.5073/20220124-071921

Abstract

The perennial weed hoary cress (*Lepidium draba* (L.) Desv.) is known as a problem weed in viticulture, however it also occasionally occurs in leaf crops, spring and winter cereals, where it typically establishes at the field margins. The weed has an extensive root system and can only be controlled mechanically by repeated hoeing, while in winter cereals, maize and oilseed rape it can be controlled either by synthetic auxins or inhibitors of the acetolactate synthase (ALS). In various special crops, such as strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.), these herbicides are not registered. Yet, the rhizome-deriving plants, which emerge in early spring, exert strong competitive pressure on the less competitive strawberry plants. In order to investigate the efficacy of the active ingredients registered for weed control in strawberries (status as of 2019), seeds of hoary cress introduced by compost were collected from a strawberry stand, grown into seed- and rhizome-deriving plants and then treated with the maximum registered field dose rate of the herbicides. For comparison, the herbicides were additionally applied to strawberries, field mustard (*Sinapis arvensis* L.), wild radish (*Raphanus raphanistrum* L.), shepherd's purse (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.) and field pennycress (*Thlaspi arvense* L.).

In addition to the registered inhibitors of acetyl-CoA synthase (ACCase), the microtubule inhibitors propyzamide and pendimethalin, as well as napropamide-, clopyralid-, dimethenamid-, and flufenacet-containing herbicides did not result in sufficient efficacy on hoary cress. Field application rates of herbicides containing the active ingredients isoxaben (inhibition of cellulose synthesis) and phenmedipham (photosystem II) resulted in efficacy rates of > 70%. The photosystem II inhibitors metamitron and the protoporphyrinogen oxidase (PPO) inhibitor pyraflufen achieved > 90% efficacy on seed-borne hoary cress. Similarly, high efficacy levels were found for the reference weeds. However, phytotoxic damage may occur on strawberries, therefore an application using spray guards is recommended. These results were additionally confirmed in dose-response experiments. However, all treatments of root-borne hoary cress with none of the herbicides mentioned resulted in insufficient control. Therefore, active ingredients registered in strawberries are only suitable for early control of newly introduced seed-borne hoary cress while rhizome-deriving hoary cress plants can only be effectively controlled with herbicides in the following crop.

Keywords: herbicides, hoary cress, *Lepidium draba*, strawberries

Zusammenfassung

Das ausdauernde Wurzelunkraut Pfeilkresse (*Lepidium draba* (L.) Desv.) gilt als problematische Art im Weinbau und kommt gelegentlich in Blattfrüchten, Sommer- und Wintergetreide vor, dort jedoch v.a. an Feldrändern. Das Unkraut verfügt über ein ausgedehntes Wurzelsystem und kann mechanisch nur durch wiederholtes Hacken bekämpft werden, während es in Wintergetreide, Mais und Raps entweder durch einige synthetische Auxine oder Hemmer der Acetolactatsynthase (ALS) kontrolliert werden kann. In vielen Sonderkulturen, wie im Erdbeeranbau, sind diese Herbizide nicht zugelassen. Jedoch übt v.a. die wurzelbürtige Pfeilkresse, die bereits im zeitigen Frühjahr aufläuft, starken Konkurrenzdruck auf die konkurrenzschwachen Erdbeeren aus. Um die Wirksamkeit in Erdbeeren zugelassener herbizider Wirkstoffe

(Stand 2019) zu untersuchen, wurden in einem Erdbeerbestand Samen von durch Kompost eingeschleppter Pfeilkresse geerntet, zu samen- und wurzelbürtigen Pflanzen herangezogen und anschließend mit der jeweils maximal zugelassenen Feldaufwandmenge verschiedener Herbizide behandelt. Zum Vergleich wurden die Herbizide zusätzlich auf Ackersenf (*Sinapis arvensis* L.), Hederich (*Raphanus raphanistrum* L.), Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.) und Ackerhellerkraut (*Thlaspi arvense* L.) appliziert. Neben den zugelassenen Hemmern der Acetyl-CoA-Synthase (ACCase), führten auch die Mikrotubulihammer Propyzamid und Pendimethalin, sowie Napropamid-, Clopyralid-, Dimethenamid-P- und Flufenacethaltige Herbizide zu keiner ausreichenden Wirkung. Die Feldaufwandmenge von Herbiziden mit den Wirkstoffen Isoxaben (Hemmung der Cellulosesynthese) und Phenmedipham (Photosystem II) führten zu Wirkungsgraden von > 70 %. Die Hemmer des Photosystems II, Metamitron, sowie der Hemmer der Protoporphyrinogen-Oxidase (PPO) Pyraflufen erzielten > 90 % Wirkung auf samenbürtige Pfeilkresse. Ähnlich hohe Wirkungsgrade wurden für die Vergleichsunkräuter festgestellt. Wobei an den Erdbeeren Phytotoxschäden entstehen können, sodass eine Applikation mit Spritzschutz empfehlenswert ist. Diese Ergebnisse konnten zusätzlich in Dosis-Wirkungsversuchen bestätigt werden. Jedoch führte die Behandlung wurzelbürtiger Pfeilkresse bei keinem der genannten Wirkstoffe zu ausreichender Kontrolle, sodass in Erdbeeren registrierte Herbizide lediglich zur zeitigen Bekämpfung neu eingeschleppter, samenbürtiger Pfeilkresse geeignet sind und wurzelbürtige Pfeilkresse ausschließlich in der Folgekultur effektiv mit Herbiziden bekämpft werden kann.

Stichwörter: Erdbeeren, Herbizide, *Lepidium draba*, Pfeilkresse

Introduction

The neophyte hoary cress (*Lepidium draba* (L.) Desv., syn. *Cardaria draba*) is a perennial cruciferous plant and originated as a steppe plant in western Asia. Although it was first described in Germany as early as in 1728, it has only appeared as an arable weed since the second half of the 20th century. It established primarily on base-rich, moderately dry sites with medium to heavy soils (HOLZNER & GLAUNINGER, 2005; PARTZSCH et al., 2006). There, the approximately 20-60 cm tall plant develops an extensive root system that accounts for approximately 76% of the total biomass and largely extends below the bottom of the plow (MILLER et al., 1994; PARTZSCH et al., 2006). In this context, roots on which adventitious shoots occur can form as well as shoots from depths greater than 30 cm. Because of its low growth and consequently its limited ability to compete for light, hoary cress is only slightly to moderately competitive in most arable crops (HOLZNER & GLAUNINGER, 2005). In addition, the species spreads by seed. In many specialty crops, which have low competition, like strawberries, hoary cress, which emerges in early spring, exerts strong competitive pressure. In addition, the weed can allelopathically inhibit a variety of different crops (QASEM, 1994; KIEMNEC & MCINNIS, 2002). However, due to its strong regenerative ability, hoary cress can only be controlled mechanically by repeated hoeing, possibly in combination with herbicides over a long period of time. While acetolactate synthase (ALS) inhibitors are approved for weed control in winter cereals, corn and oilseed rape they cannot be used in strawberries to control hoary cress. The range of herbicides approved in strawberry production is narrow, and in addition to the stage of development of the strawberry, the cropping system, cultivar and soil type must be considered for an herbicide application. For example, soil herbicides are only approved for use in open field cultivation, while pyraflufen-containing products must be applied with a spray guard. If this species has been newly introduced to a field, weed control must be adapted to this troublesome weed. To evaluate the chemical control options for hoary cress, herbicides recommended in 2019 for perennial strawberry production were evaluated for their potential to control hoary cress in comparison to field mustard (*Sinapis arvensis* L.), wild radish (*Raphanus raphanistrum* L.), shepherd's purse (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), and field pennycress (*Thlaspi arvense* L.).

Material and methods

Plant material

For the trial, seeds of hoary cress plants were harvested from a strawberry field in Lower Saxony and from a roadside in Frankfurt, Hessen, in order to obtain sufficiently large quantities for the trials. In addition, seeds of comparative species were acquired. Field mustard was obtained from Herbiseed (Reading, UK) while wild radish, shepherd's purse and field pennycress were obtained from Appels Wilde Samen (Darmstadt, Germany).

Efficacy tests with different herbicides in the greenhouse

The plants were preplanted in seed trays and each five plants were transplanted at the cotyledon stage per 9 cm pot filled with a 3:3:1 mixture of compost, potting soil (Hawita, Vechta, Germany) and sand. In addition to the untreated control three replicate pots were sprayed for each treatment, stage and species. The application was carried out with a laboratory sprayer with an ES 90-04 nozzle (Lechler, Metzingen, Germany) at three bar. Afterwards, the pots were randomized and after a growth period of 21 days the fresh weight of the above ground mass of the plants was determined. In addition to the herbicide screening (Tab. 1), five herbicides with the best efficacies were applied to hoary cress plants for a dose-response trial with the rates displayed in Table 2. A 1:3 dilution series was chosen to cover a wide range of dose rates. The plants were grown, treated and harvested as described above. Furthermore, rhizomes of hoary cress were potted as described above with three pots per treatment. As the first leaves emerged, they were sprayed with the maximum registered field rate displayed in g active ingredient (a.i.) ha⁻¹ (Tab. 1). The plants were treated and harvested as described above. All experiments were repeated.

Table 1 Herbicide application rates used in the active ingredient screening with five different weed species in the cotyledon stage and rootstock-derived hoary cress (*Lepidium draba* (L.) Desv.)

Tabelle 1 Herbizidaufwandmengen im Wirkstoffscreening mit fünf Unkrautarten im Keimblattstadium, sowie wurzelbürtiger Pfeilkresse (*Lepidium draba* (L.) Desv.)

Trade name	Active ingredient	g a.i. ha ⁻¹	Water volume in L ha ⁻¹
Betsana SC	160 g phenmedipham L ⁻¹	960	300
Cadou SC	500 g flufenacet L ⁻¹	150	300
Spectrum	720 g dimethenamid-P L ⁻¹	1008	400
Devrinol FL	450 g napropamide L ⁻¹	1125	600
Fusilade Max	107 g fluazifop + 125 g butyl ester L ⁻¹	137	300
Select 240 EC	240 g clethodim L ⁻¹	180	300
Agil-S	100 g propaquizafop L ⁻¹	75	300
Vivendi 100	100 g clopyralid L ⁻¹	120	300
Flexidor	500 g isoxaben L ⁻¹	100	300
Goltix Gold	700 g metamitron L ⁻¹	1400	300
Quickdown	24.2 g pyraflufen L ⁻¹	19	300
Stomp Aqua	455 g pendimethalin L ⁻¹	1593	300
Kerb Flo	400 g propyzamide L ⁻¹	500	400

Table 2 Herbicide concentrations used for dose-response assays with hoary cress (*Lepidium draba* L.). The field rates are indicated with asterisks

Tabelle 2 Herbizidkonzentrationen für Dosis-Wirkungsversuche mit Pfeilkresse (*Lepidium draba* L.). Die Felddaufwandmengen sind mit Sternchen gekennzeichnet

Trade name	Concentration of a.i. in the formulated product	Dose rates of a.i. in g ha ⁻¹					
Betasana SC	160 g phenmedipham L ⁻¹	-	960.0*	320.0	106.7	35.6	0
Quickdown	24.2 g pyraflufen L ⁻¹	-	19.4*	6.5	2.12	0.7	0
Goltix Gold	700 g metamiltron L ⁻¹	-	1400.0*	466.6	155.5	51.9	0
Spectrum	720 g dimethenamid-P L ⁻¹	3024.0	1008.0*	336.0	112.0	37.3	0
Flexidor	500 g isoxaben L ⁻¹	300.0	100.0*	33.3	11.1	3.7	0

Statistical analysis

All data were analyzed using in R statistical software (version 4.0.0, (R Foundation for Statistical Computing)). Initially, the Shapiro-Wilk test for normality was used. Statistical differences between treatments were then evaluated using the Wilcoxon rank-sum test. Additionally, dose-response analyses including the calculation of 95% confidence intervals were conducted using the three-parameter log-logistic model included in the packages 'drc' (RITZ et al., 2015).

Formula 1 Log-logistic function for dose-response analysis with 0 as lower asymptote.

Formel 1 Log-logistische Funktion für Dosis-Wirkungsanalysen mit 0 als untere Asymptote.

$$f(x) = 0 + \frac{d - 0}{1 + \exp(b(\lg(x) -))}$$

Results and discussion

In this study, the chemical control potential of hoary cress, a problem weed in strawberry production, was investigated in comparison with four reference weeds. The investigations have shown that only the PPO inhibitor pyraflufen and the photosystem II-inhibitor metamiltron were able to reduce the biomass of hoary cress grown from seed with by over 90% (Fig. 1A). Both herbicides can be applied after the harvest of strawberries. In the dose-response trial, only in the case of metamiltron, a control rate of over 90% was achieved. This was indicated by an ED₉₀-value of 77.9% with a standard error of 57.8 of the maximum registered field rate (1090.6 g of active ingredient per ha). In the case of pyraflufen, 141.3% ± 94.0 of the field rate (27.4 g of active ingredient per ha) were necessary for the same rate of biomass reduction. Therefore, these herbicides are absolutely insufficient for practical use. For dimethenamid-P, phenmedipham and isoxaben, which achieved comparatively good results with > 70% fresh weight reduction in the active ingredient screening, with ED₉₀-value of 1738, 673 and 592 were calculated (Fig. 2B). This indicates insufficient weed control, although the effectiveness in the field may differ from the observations in the greenhouse. However, based on the calculated 95% confidence intervals, the differences were statistically significant in the case of pyraflufen and metamiltron compared to dimethenamid-P. Generally, the five herbicides mentioned achieved the best control successes on the reference weeds, whereby the wild radish was somewhat more difficult to control as only with the field application rate of pyraflufen reduce the of the biomass by more than 90% (Fig. 1B-E). Despite low efficacy levels, a partial effect was observed with all herbicides except in the case on treatment of wild radish with napropamide, which is in any case no longer approved. Although, these effects were not statistically

significant in all cases, the results are generally in line with other herbicide studies with cruciferous plants (KLINGENHAGEN, 2014).

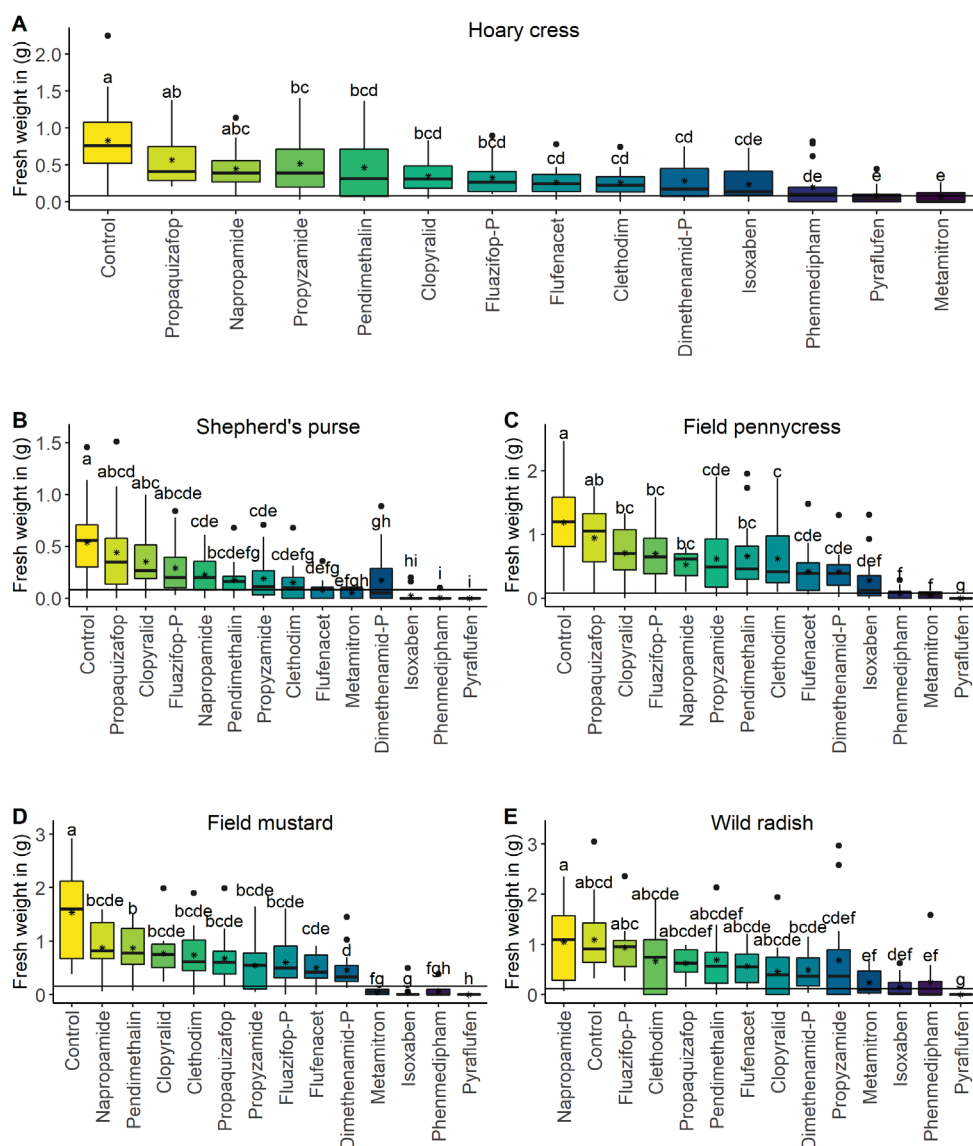


Figure 1 Fresh weight of A) hoary cress (*Lepidium draba* L. Desv.), B) of shepherd's purse (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), C) of field pennycress (*Thlaspi arvense* L.), D) of field mustard (*Sinapis arvensis* L.), and E) of wild radish (*Raphanus raphanistrum* L.) 28 days after treatment with different herbicides. Statistical differences are indicated with different letters ($p < 0.05$) and 90% fresh weight control relative to the untreated control are indicated by a horizontal black line.

Abbildung 1 Frischgewicht von A) Pfeilkresse (*Lepidium draba* L.) B) Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), C) Ackerhellerkraut (*Thlaspi arvense* L.), D) Ackersenf (*Sinapis arvensis* L.), und E) Hederich (*Raphanus raphanistrum* L.) 28 Tage nach der Behandlung mit verschiedenen Herbiziden. Statistische Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben angegeben ($p < 0.05$). Die Kontrolle von 90 % des Frischgewichts im Vergleich ist durch eine horizontale schwarze Linie gekennzeichnet.

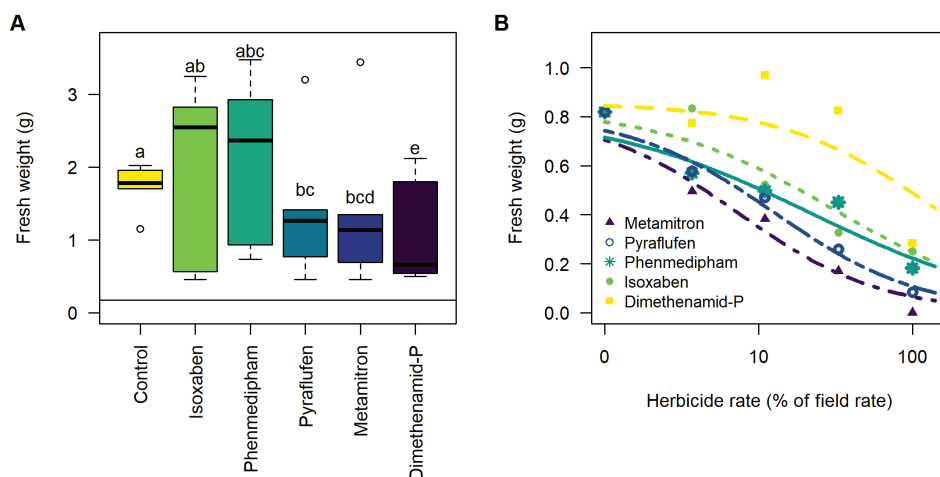


Figure 2 A) Fresh weight of hoary cress (*Lepidium draba* L. Desv.) grown from creeping rootstocks 28 days after treatment with different herbicides. Statistical differences are indicated with different letters ($p < 0.05$) and 90% fresh weight control relative to the untreated control are indicated by a horizontal black line. B) Response of hoary cress to different dose rates of metamitron, pyraflufen, phenmedipham, isoxaben and dimethenamid-P 28 days after treatment.

Abbildung 2 A) Frischgewicht von Pfeilkresse (*Lepidium draba* L. Desv.) auf kriechenden Wurzelstöcken 28 Tage nach der Behandlung mit verschiedenen Herbiziden. Die statistischen Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben angegeben ($p < 0.05$) und die Kontrolle von 90 % des Frischgewichts im Vergleich ist durch eine horizontale schwarze Linie gekennzeichnet. B) Wirkung verschiedener Dosierungen von Metamitron, Pyraflufen, Phenmedipham, Isoxaben und Dimethenamid-P auf Pfeilkresse 28 Tage nach der Behandlung.

In case of the graminicides propaquizafop, fluazifop and clethodim, this partial effect may be due to the fact that many Brassicaceae species express the eukaryotic ACCase, in addition to the prokaryotic ACCase in the chloroplast. Orthologs of the eukaryotic ACCase are the targets of ACCase inhibitors in grasses (KONISHI et al., 1996; SCHULTE et al., 1997). Partial effects of these less effective herbicides could contribute to the control success in a combined approach of mechanical and chemical control when controlling other weeds. In fact the combination of partial effects may be the only way to limit the damage by this perennial weed, as our experiments with hoary cress derived from root material have demonstrated that chemical control of established patches of this weed is not possible as the plants recover quickly (Fig. 1A). In that regard, mowing down the inflorescences in the production year can at least prevent the spread of seeds and covering the seeds with straw may even hinder the germination of this light-dependent germinators. A consequent prevention of seed production may effectively reduce the hoary cress seeds as they mostly decay within five years (PARTZSCH et al., 2006). However, to control hoary cress effectively in the long term, either intensive hoeing and tillage over a long period of time is necessary or the use of herbicides approved in other crops. This includes the use of synthetic auxins like MCPA or 2,4-D and ALS-inhibitors like metsulfuron in winter cereals (KNUTSON & RANSOM, 1998), imazamox in correspondingly tolerant oilseed rape (LAUFER et al., 2014) or glyphosate before the next crop (WATERHOUSE & MAHONEY, 1983). A combined approach of mechanical and chemical control may be particularly effective (JACOBS, 2007). Finally, the investigation of pelargonic acid, which was recently approved in strawberries, could be interesting for the control of problematic weeds in this crop, even if this contact herbicide may be inferior to the systemic active ingredients mentioned for the control of hoary cress.

References

- Holzner, W., J. Glauning, 2005: Ackerunkräuter: Bestimmung - Biologie - Landwirtschaftliche Bedeutung. Graz, Leopold Stocker Verlag.
- Jacobs, J., 2007: Ecology and management of whitetop (*Cardaria draba* (L.) Desv.). US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Kiemnec, G.L., M.L. McInnis, 2002: Hoary cress (*Cardaria draba*) root extract reduces germination and root growth of five plant species. *Weed technology* **16** (1), 231–234.
- Knutson, D., C.V. Ransom, 1998: Hoary cress (*Cardaria* spp.) control in rangeland and pasture. Malheur Experiment Station Annual Report.
- Laufer, C., M. Siebachmeyer, S. Gruber, S. Huang, E.A. Weber, W. Claupein, 2014: Against the current-Clearfield\textregistered oilseed rape in Germany. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 720.
- Miller, R.F., T.J. Svejcar, J.A. Rose, M.L. McInnis, 1994: Plant development, water relations, and carbon allocation of heart-podded hoary cress. *Agronomy Journal* **86** (3), 487–491.
- Partzsch, M., J. Cremer, G. Zimmermann, H. Goltz, 2006: Acker- und Gartenunkräuter: Bestimmungsschlüssel für: Samen und Früchte, Keimpflanzen, blühende Pflanzen. Bergen/Dumme, Agrimedia GmbH.
- Qasem, J.R., 1994: Allelopathic effect of white top (*Lepidium draba*) on wheat and barley. *Allelopathy Journal* **1** (1), 29–40.
- Ritz, C., F. Baty, J.C. Streibig, D. Gerhard, 2015: Dose-response analysis using R. *PloS one* **10** (12), e0146021.
- Waterhouse, D.M., J.E. Mahoney, 1983: Effect of pre-fallowing application of glyphosate on hoary cress (*Cardaria draba* (L.) Desv.). *Australian Weeds* **2** (4), 141–143.

Named Entity Recognition (NER) von Warndienstmeldungen im Gartenbau: Eine empirische Studie zu Design, Entwicklung und Bewertung der statistischen und Deep-Learning benutzerdefinierten NER-Modelle

Named Entity Recognition (NER) of warning messages in gardening: An empirical study of the design, development, and evaluation of statistic and deep-learning user-defined NER models

Xia He-Bleinagel^{1*}, Jascha Daniló Jung², Burkhard Golla¹

¹Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow

²Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Team Datenbanken und Wissenstechnologie, Bartningstraße 49, 64289 Darmstadt

*xia.he@julius-kuehn.de

DOI: 10.5073/20220124-072443

Zusammenfassung

Anhand gesammelter Pflanzenschutzhinweise und Warnmeldungen wurden Named Entity Recognition (NER) Modelle zur automatischen Erkennung und Klassifizierung von relevanten Begriffen des Gartenbaus (Kulturen, Schaderreger, Pflanzenschutzmittel, BBCH Stadium) erstellt. NER ist eine Teilaufgabe der Informationsextraktion, die darauf abzielt, benannte Entitäten, die in unstrukturiertem Text erwähnt werden, zu finden und in vordefinierte Kategorien einzuordnen. 114 Dateien mit 105737 Wörtern, davon 12295 verschiedene Wörter, wurden verwendet. Mit dem Annotationswerkzeug Prodigy wurden insgesamt 9019 Entitäten annotiert. Es wurden drei verschiedene Modelle trainiert, basierend auf spaCy, Flair und CRF. Alle drei Modelle erzielten ähnlich gute Genauigkeiten (gemittelte F-Werte), spaCy erreichte mit $F1=0.8997$ die höchste Genauigkeit über alle vier Klassen. Mit dem hier vorgestellten Projekt werden die Voraussetzungen geschaffen, die Inhalte der Vielzahl von Warndienstmeldungen automatisiert zu erschließen und über gezielte Abfragen und Suchvorgänge zugänglich zu machen. Der Beitrag stellt das methodische Vorgehen und einige Analyseergebnisse beispielhaft dar.

Stichwörter: Maschinelles Lernen, NER, NLP, Prodigy, spaCy, tiefes Lernen

Abstract

We collected a relative small dataset in German language from the warning service of different federal states for Named Entity Recognition (NER) in the Horticulture domain. NER is a subtask of information extraction aimed at finding named entities mentioned in unstructured text and classifying them into predefined categories. It consists 114 pdf files which include 105737 tokens in total and 12295 unique tokens. We used the annotation tool Prodigy to label a total of 9019 entities associated with the 4 semantic classes: Horticulture, Pests, Pesticides, BBCH stage. We built the custom NER models with conditional random field (CRF) statistical model, spaCy model and Flair model which are deep learning neural networks frameworks. All three models have similar performances regarding micro-averaged F1 score, among which spaCy model stands out with $F1=0.8997$ across all four classes. The project presented here creates the prerequisites for automatically extracting the information of the large number of warning service messages and making them accessible via targeted queries and searches. The article presents the methodical procedure and some analysis results as examples.

Keywords: deep learning, machine learning, NER, NLP, Prodigy, spaCy

Einleitung

Verfahren des Maschinellen Lernens erfreuen sich zunehmender Beliebtheit in vielen wirtschaftlichen Bereichen. Auch in der Landwirtschaft können solche Verfahren produktiv eingesetzt werden. Beispielsweise werden Modelle zur automatischen Erkennung von Schädlingen auf Bildern entwickelt (HOYE et al., 2021). In dieser Arbeit wenden wir Verfahren des Maschinellen Lernens auf Textdaten an, um nützliche Informationen zu gewinnen.

Pflanzenschutzhinweise (oder Warndienstmeldungen) stellen die aktuelle phytosanitäre Situation dar und unterstützen die landwirtschaftliche Praxis bei der Entscheidungsfindung von Maßnahmen, etwa der Wahl eines optimalen Bekämpfungstermins sowie beim sach- und umweltgerechten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Auch für retrospektive Auswertungen enthalten sie wertvolle Informationen, die im Kontext weitere historischer Umweltdaten (z.B. Klima) zu neuen Erkenntnissen beitragen können.

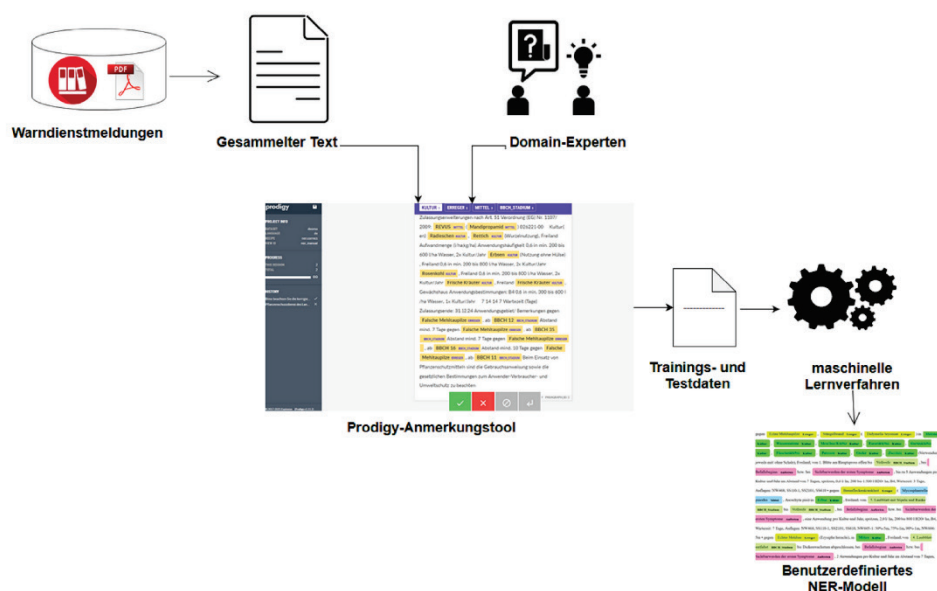
Das Übertragungsformat der Warndienstmeldungen ist deutschlandweit sehr unterschiedlich. In der Regel werden die Hinweise über Webportale (z.B. <https://www.ISIP.de>), per Email, SMS oder Fax dem Landwirt übermittelt. Auch die inhaltliche und strukturelle Ausgestaltung der Warndienstmeldungen kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Gemeinsam ist den Warnhinweisen der Bezug zu einem geographischen Raum (z.B. Beratungsbezirk), einer Kultur, einem Schaderreger und einer Bekämpfungsmaßnahme zu einem bestimmten Zeitpunkt bzw. Stadium der Vegetationsperiode.

Im Rahmen des Projektes HortiSem arbeiten wir daran bestimmte relevante Entitäten - etwa „Kultur“, „Schaderreger“, „Pflanzenschutzmittel“, „BBCH-Stadium“ - mittels Named Entity Recognition in Texten ausfindig zu machen, zu klassifizieren und in einen „Knowledge Graphen“ zu integrieren. Knowledge Graphen bilden dabei die Datengrundlage eines sog. semantischen Netzes (Semantic Web Technologie). Im semantischen Netz werden Entitäten zueinander in Beziehung gesetzt, sodass sie maschinenlesbar sind und die (automatische) rechnergestützte Datenverarbeitung ermöglicht wird. Das semantische Netz soll im Pflanzenschutz Informationssystem (<https://www.pflanzenschutz-information.de/>) für gezielte Abfragen von Benutzern integriert werden.

Material und Methoden

Workflow des Versuchs

Abbildung 1 zeigt unseren Workflow bei der Anwendung des maschinellen Lernen-Verfahren. Die Textdaten aus den pdf-Dateien werden in einem ersten Schritt in eine für Prodigy (MONTANI et al., 2018) geeignete Textform konvertiert. Danach können fachkundige Annotatoren die Texte satzweise annotieren (Vergabe von NER Tags für bestimmte Wendungen und Wörter), um Trainings- und Testdatensätze für das NER-Modell zu erstellen. Zum einen wurde ein klassisches Conditional Random Field (LAFFERTY et al., 2001) Modell erstellt, zum anderen zwei Modelle mit spaCy (HONNIBAL et al., 2017) und Flair (AKBIK et al., 2019), die auf Deep Learning-Verfahren basieren.

**Abbildung 1** Flowchart der Entwicklung eines NER-Modells.**Figure 1** Flowchart of the NER model development.

Datenquelle

Dem Julius-Kühn-Institut liegen mehr als 8000 Warnmeldungen vor, die von 1994 bis heute von den Beratungsdiensten der Länder herausgegeben wurden. Diese beinhalten Informationen über Flächenkulturen, aber auch Gemüse, Früchte- und Zierpflanzen aus 11 Bundesländern. Für die Erstellung der NER-Modelle wurden die Veröffentlichungen aus den Ländern Brandenburg, Baden-Württemberg, Sachsen und Thüringen verwendet. Zwar sind möglichst viele Daten für maschinelles Lernen immer vorteilhaft, jedoch ist die manuelle Annotation sehr zeitaufwändig und damit auch teuer. Für die hier durchgeführte Analyse wurden daher nur die Warnmeldungen des letzten vollständigen Jahres als Trainingsdaten zur Modellerstellung annotiert sowie einige neuere Texte als Testdaten zur Validierung des Modells.

Klassifizierung und Annotation

Es erfolgte die Aufteilung in vier Klassen in Absprache mit fachkundigen Annotatoren.

Tabelle 1 Beispiele der vier NER-Klassen**Table 1** Examples of the four NER classes

NER Tags	Beschreibung	Beispiele
Kultur	Namen der Kultur	Kartoffeln, Gurken
Erreger	Namen von Schädlingen, Pathogene, Unkräuter	Blattläuse, Mehltau, Kamille
Mittel	Pflanzenschutzmittel	Bandur, Cato
BBCH-Stadium	BBCH-Codes, Beschreibungen von morphologischen Entwicklungsstadien von Pflanzen	BBCH 12, Vollblüte

Erstellung und Annotation des Korpus

Prodigy ist ein webbasiertes Annotationswerkzeug für die Erstellung von Trainings- und Testdaten von maschinellen Lernen-Modellen. Es ermöglicht eine schnelle und effiziente Annotation mittels vorgegebener „Rezepte“. Für die ersten Annotationen wurde das „ma-nual.ner“ Rezept verwendet um die vier Klassen in den vorbereiteten Rohdaten zu annotieren. Zusätzlich wurde die „Pattern“-Funktion verwendet, um mögliche Kandidaten von Prodigy vorschlagen zu lassen. Als Pattern wurden dabei Begriffe aus der BVL

Datenbank für Pflanzenschutzmittel verwendet. Ein Pattern sieht beispielsweise wie folgt aus: {"label": "Mittel", "pattern": "Trimangol Flowable"}. Insgesamt wurden 28 088 Pattern für die vier Klassen verwendet.

Für den Trainingsdatensatz wurden 102 pdf-Dateien annotiert, die aus insgesamt 97 315 Token (d.h. Wörtern und Satzzeichen) bestanden. Davon wurden 80 % als Trainingsdaten und die restlichen 20 % als Testdaten verwendet. Der Testdatensatz besteht daher aus 12 Dokumenten für die Auswertung der Modelle.

Tabelle 2 Die Verteilung der Anzahl der annotierten Token in den vier Klassen

Table 2 Distribution of the number of annotated token in the four classes

NER Tags	Train	Test
Kultur	2835	244
Mittel	1994	162
Erreger	3074	285
BBCH-Stadium	408	17
Anzahl der Dokumente	102	12
Gesamtzahl der Token	97315	8422
Gesamtzahl der eindeutigen Token	9913	2382

Maschinelles Lernen Methoden

1) spaCy Framework

Bei spaCy handelt es sich um eine open-source library für Natural Language Processing. Die spaCy library ist für schnelle Berechnung mit Computerprozessoren optimiert. Da spaCy und Prodigy von den gleichen Entwicklern stammen, lassen sich Prodigy Datensätze sehr leicht mit spaCy verarbeiten.

2) Flair Framework

Flair ist ein mächtiges und einfaches Framework für state-of-the-art NLP Anwendungen, entwickelt von der Humboldt Universität Berlin. Die Stärke des Frameworks liegt vorwiegend in der Verwendung von Worteinbettungen. Bei der Worteinbettung werden Wörtern und Symbolen mehrere Vektoren zugeordnet. Flair verfügt nicht nur über – wie sonst üblich – einen Vektor pro Wort, sondern passt die Anzahl der Vektoren abhängig vom Kontext an. Für die Erstellung des Flair Modells wurden darüber hinaus links- und rechtsläufige Embeddings verwendet.

3) CRF Modell

Beim Conditional Random Field (CRF) handelt es sich um ein ungerichtetes, probabilistisches Modell. Es wird zur Segmentierung von Sequenzen verwendet, um aus einer Eingabesequenz X die gewünschte Sequenz Y zu berechnen.

Formel 1 Definition von CRF

Formula 1 Definition of CRF

$$p(y|x) = \frac{1}{Z(x)} \prod_{t=1}^T \exp \left(\sum_{k=1}^K \theta_k f_k(y_t, y_{t-1}, x_t) \right)$$

$Z(x)$ ist die Normalisierungskonstante, θ_k ist eine Gewichtung und $f_k(y_t, y_{t-1}, x_t)$ ist eine Funktion. Die Funktion betrachtet dabei nicht nur den aktuellen Input, sondern auch den Output des vorherigen Durchlaufs. Ein Schlüsselschritt ist die Erzeugung der Funktionsmerkmale. In unserem Versuch wurden Wortidentität, Wortsuffixe, Wortform, Wortart und Informationen über den Kontext berücksichtigt.

Auswertung

Bei NER handelt es sich um ein Klassifizierungsproblem. Die sequentiell vorliegenden Token eines Textes müssen richtig annotiert werden. Um die Ergebnisse der Modelle zu evaluieren und vergleichbar zu machen, werden Präzision, Recall und F1-Wert berechnet. Präzision ist das Verhältnis der korrekt identifizierten positiven Fälle zu allen vorhergesagten positiven Fällen. Recall dagegen ist das Verhältnis der korrekt identifizierten positiven Fälle zu allen tatsächlichen positiven Fällen. Der F1-Wert bezeichnet das harmonische Mittel von Präzision und Recall und beschreibt so die Gesamtgüte des Modells.

Formel 2 Berechnung von Präzision, Recall und F1-Wert (TP = True Positive, FP = False Positive, FN = False Negative)

Formula 2 Calculation of precision, recall and F1 value (TP = True Positive, FP = False Positive, FN = False Negative)

$$precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F1 = 2 \times \frac{precision \times recall}{precision + recall}$$

Ergebnisse

Tabelle 3 zeigt die gemittelten F1-Werte. spaCy erzielte hier mit geringem Abstand den besten Wert von etwa 0.9. Für den verhältnismäßig kleinen Datensatz ist dies ein sehr gutes Ergebnis.

Tabelle 3 Zusammenfassung der gemittelten Ergebnisse aller drei Modelle

Table 3 Summary of the averaged results of all three models

Model	Precision	Recall	F1
Spacy	0.8947	0.9048	0.8997
Flair	0.8524	0.8978	0.8745
CRF	0.905	0.87	0.887

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse nach den vier Klassen aufgeschlüsselt. Für die Klassen „Erreger“ und „Kultur“ erzielte spaCy das beste Ergebnis. Bei der Klasse „Mittel“ erzielte Flair das beste Ergebnis, das CRF erzielte dagegen beim BBCH-Stadium das beste Ergebnis.

Tabelle 4 Zusammenfassung der gemittelten Ergebnisse aller drei Modelle

Table 4 Summary of the averaged results of all three models

Model	Tag	Precision	Recall	F1
Spacy3	Erreger	0.8697	0.9368	0.902
	Kultur	0.9194	0.9344	0.9268
	Mittel	0.9189	0.8395	0.8774
	BBCH-Stadium	0.7895	0.6522	0.7143
Flair	Erreger	0.8182	0.9158	0.8642
	Kultur	0.8539	0.9344	0.8924
	Mittel	0.931	0.8333	0.8795
	BBCH-Stadium	0.8095	0.7391	0.7727
CRF	Erreger	0.905	0.8145	0.8488
	Kultur	0.9783	0.7493	0.8418
	Mittel	0.904	0.8405	0.8693
	BBCH-Stadium	0.8345	0.8713	0.8483

Fazit

In dieser Arbeit wurde ein NER Modell für den Gartenbau entwickelt. Es wurden verschiedene Arten entwickelt und evaluiert. Für den verhältnismäßig kleinen Datensatz haben die Modelle sehr gute Ergebnisse erzielt.

Für die Zukunft sind eine genauere Unterscheidung der Klassen sowie ein größerer Trainingsdatensatz geplant. Zudem sollen die Modelle auf Texte aus anderen Bereichen der Landwirtschaft, etwa dem Ackerbau, und auf die Meldungen anderer Bundesländer oder des Bundes angewandt werden.

Mit Hilfe dieses NER Models werden pflanzenschutzrelevante Information in Zukunft automatisch aus textlichen Quellen gewonnen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projekts „HortiSem“ durchgeführt, welches vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) gefördert wird. Weitere Informationen finden Sie auf <https://hortisem.de/>

Literatur

- AKBIK, A., T. BERGMANN, D.A. BLYTHE, K. RASUL, S. SCHWETER, R. VOLLGRAF, 2019: FLAIR: An Easy-to-Use Framework for State-of-the-Art NLP. Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (Demonstrations), p.54-59.
- HONNIBAL, M., I. MONTANI, 2017: spaCy 2: Natural language understanding with Bloom embeddings, convolutional neural networks and incremental parsing, to appear.
- HOYE T.T., J. ÄRJE, K. BJERGE, O.L.P. HANSEN, A. IOSIFIDIS, F. LEESE, H.M.R. MANN, K. MEISSNER, C. MELVAD, J. RAITOHARJU, 2021: Deep learning and computer vision will transform entomology. PNAS, 118 (2).
- LAFFERTY, J.D., A. MCCALLUM, F.C.N. PEREIRA, 2001: Conditional Random Fields: Probabilistic Models for Segmenting and Labeling Sequence Data. In Proceedings of the Eighteenth International Conference on Machine Learning. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 282–289.
- MONTANI, I., M. HONNIBAL, 2018: Prodigy: A new annotation tool for radically efficient machine teaching, Artificial Intelligence to appear.

Sektion 8: Mechanische Unkrautkontrolle

Session 8: Mechanical weed control

Optimierung der nicht-chemischen Unkrautbekämpfung in flachwachsenden Aroma- und Heilpflanzenkulturen

Optimisation of techniques in weed management in medicinal and aromatic flat growing herbs

Armelle Rochat^{1*}, Sheila Hofer¹, Anja Vieweger¹, Bastien Christ², Xavier Simonnet²

¹ Research Institute for Organic Agriculture (FiBL), 5070 Frick, Switzerland

² Agroscope, 1964 Conthey, Switzerland

*armelle.rochat@fibl.org

DOI: 10.5073/20220124-072758

Zusammenfassung

Eine große Herausforderung im Anbau von mehrjährigen, flach wachsenden Gewürz- und Medizinalpflanzen bildet das Unkrautmanagement. In der Praxis werden diverse Strategien angewendet, welche auf großen und kleinen Anbauflächen eingesetzt werden. Das Schweizer Bundesamt für Landwirtschaft finanziert nun ein neues Forschungsprojekt, worin in der Zusammenarbeit vom FiBL Schweiz und der Agroscope Conthey, sowie einer Gruppe von Kräuterproduzent*innen, die effizientesten Unkrautbekämpfungsmethoden evaluiert werden. Um eine nationale und internationale Übersicht von angewandten Unkrautregulierungsstrategien zu gewinnen, wurde in einem ersten Schritt eine ausgedehnte Literaturrecherche und eine nationale Befragung von 20 Kräuter-Produzent*innen, sowohl zweier Experten im Bereich nicht-chemischer Unkrautbekämpfung durchgeführt.

In der Literaturrecherche wurden 38 Unkrautbekämpfungsmaßnahmen zusammengetragen, welche in vier Kategorien aufgeteilt wurden: traditionelle mechanische Methoden, fortgeschrittene mechanische Methoden, Roboter und nicht mechanisierte Strategien (agronomische Methoden). Die Funktionalität, Arbeitsgeschwindigkeit, Preis, Biotauglichkeit, allgemeine Vor- und Nachteile, Anwendungsbereiche, sowie Fotos und Referenzen wurden pro Methode dokumentiert.

In einem persönlichen Interview wurden alle Unkrautbekämpfungsmaßnahmen im mechanisierten sowie im nicht mechanisierten Kräuteraanbau auf jedem der 20 Betriebe beschrieben. Von den mechanisierten Betrieben (82 % der Befragten) entwickelten die meisten eigene kreative Lösungen, welche kontinuierlich angepasst und verbessert werden. Mehrheitlich werden Geräteträger oder Traktoren mit angekuppelten Maschinen aus der Gemüsebautechnik verwendet. Je nach Bodentyp, Flächengröße und Neigung der Parzellen werden verschiedene Strategien verfolgt. Vor allem die Wahl der Folgekultur und des Kulturstarts im Frühling wurde als entscheidende Strategie für eine gute Unkrautunterdrückung genannt, welche die Handarbeit reduziert und die Erträge verbessert. Danach ist eine regelmäßige und konsequente Hack- oder Striegeltechnik wichtig. Ebenfalls wurde die Wintervorbereitung der mehrjährigen Kulturen als maßgeblich ausgezeichnet. Die verwendeten Techniken variieren stark je nach Produzent*in, deren Erfahrungen und Prioritätensetzung. Die Produzent*innen sind allgemein sehr an alternativen Unkrautregulierungsmaßnahmen und einer Verbesserung ihrer Methoden interessiert.

Durch die Zusammenführung der Informationen aus der Literaturrecherche und den Interviews, sollen in Kollaboration mit den Landwirten im Rahmen eines Roundtables im Dezember 2021 die vielversprechendsten Techniken definiert und für on-Farm Feldversuche im Jahr 2022 und 2023 geplant werden.

Das Ziel ist es, für verschiedene Anbaukulturen im Gewürz- und Medizinalpflanzenanbau

Unkrautregulierungsempfehlungen zu formulieren, welche sich an aktuellen Standards orientieren und zur Resilienz, sowohl Effizienz der Betriebe und der Produktion beitragen.

Stichwörter: Aromapflanzen, Gewürzpflanzen, Heilpflanzen, Kräuteraanbau, Medizinalpflanzen, Unkrautbekämpfung

Abstract

A major challenge in the cultivation of perennial, flat-growing spice and medicinal plants is weed management. In practice, various strategies are applied on large and small cultivated areas. The Swiss Federal Office for Agriculture is now funding a new research project in which FiBL Switzerland, Agroscope Conthey and a group of herb producers are collaborating to evaluate the most efficient weed control methods. In order to obtain a national and international overview of applied weed control strategies, an extensive literature research and a national survey of 20 herb producers, as well as two experts in the field of non-chemical weed control, were carried out in a first step.

The literature review collected 38 weed control measures, which were divided into four categories: traditional mechanical methods, advanced mechanical methods, robots and non-mechanised strategies (agronomic methods). The functionality, working speed, price, bio-suitability, general advantages and disadvantages, areas of application, as well as photos and references were documented for each method.

In a face-to-face interview, all weed control measures in mechanised as well as in non-mechanised herb cultivation on each of the 20 farms were described. Of the mechanised farms (82% of respondents), most developed their own creative solutions, which are continuously adapted and improved. The majority use implement carriers or tractors with hitched machines from vegetable production technology. Depending on soil type, area size and slope of the plots, different strategies are followed. Above all, the choice of the following crop and the start of cultivation in spring was mentioned as a decisive strategy for good weed suppression, which reduces manual work and improves yields. After that, regular and consistent hoeing or harrowing is important. Winter preparation of perennial crops was also singled out as essential. The techniques used vary greatly depending on the producer, their experience and priorities. The producers are generally very interested in alternative weed control measures and in improving their methods.

By combining the information from the literature research and the interviews, the most promising techniques will be defined in collaboration with the farmers at a roundtable in December 2021 and will be planned for on-farm field trials in 2022 and 2023.

The aim is to formulate weed control recommendations for different crops in spice and medicinal plant production that are based on current standards and contribute to resilience, farm and production efficiency.

Keywords: Aromatic plants, herb cultivation, medicinal plants, spice plants, weed control

Einleitung

Aroma und Heilpflanzen in der Landwirtschaft

Der Sektor der Aroma- und Heilpflanzen (AHP) wächst in Europa stetig (z.B. +6 % pro Jahr in Frankreich) mit Absatzmöglichkeiten in den Bereichen Parfümerie, Lebensmittelverarbeitung, Nahrungsergänzungsmittel, (Phyto-) Pharmazie und Kosmetik. In Frankreich, dem größten europäischen Produzenten mit fast 50.000 ha, werden derzeit nur 10 % der Flächen biologisch bewirtschaftet (Bergoënd & Piasentin, 2020). Die Schweizer AHP-Produktion produziert hingegen fast ausschließlich nach den Vorgaben des biologischen Landbaus (AGROSCOPE, 2021). Es ist zu erwarten, dass in naher Zukunft das vorherrschende Regime in der EU, mehrheitlich synthetische Pflanzenschutzmittel zu verwenden, drastisch reduziert werden wird

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online (European Commission, 2021). Somit steigt der Wettbewerbsdruck auf die Schweizer AHP-Produktion, mit deren vergleichsweise hohen Löhnen, stark.

Unkrautregulierung in Aroma und Heilpflanzen

Die biologische Unkrautregulierung in AHP-Kulturen ist die wichtigste technische und wirtschaftliche Herausforderung des Sektors. Sie umfasst 75 % des Arbeitsaufwandes und 35-40 % der Produktionskosten (Fournier, 2021). Die Herausforderungen sind auf die Mehrjährigkeit von Kulturen wie Minze zurückzuführen, welche in Reihen angebaut werden, dann aber das ganze Beet flächendeckend bewachsen. Im Vergleich zu einjährigen oder anderen Reihenkulturen können deshalb bestimmte Techniken, die zum Beispiel im Gemüseanbau verwendet werden, bei AHP-Kulturen oft nicht eingesetzt werden. Aufgrund des schwierigen Managements, nimmt der Unkrautdruck in diesen mehrjährigen Kulturen im Laufe der Jahre kontinuierlich zu (Heuberger & Blum, 2014). Darüber hinaus erfordern die regelmäßigen Komplettschnitte und die sehr hohen Qualitätsanforderungen an das Erntegut, in Bezug auf Unkrautfreiheit (insbesondere Unkräuter, die Pyrrolizidinalkaloide produzieren), die Erhaltung nahezu unkrautfreier Bestände während der Ernte (Produire Bio, 2019). Aus diesen Gründen ist das Jäten von Hand in vielen Fällen die einzige verfügbare Technik zur Unkrautbekämpfung bei AHP-Kulturen (Heuberger & Blum, 2014).

Derzeit herrscht ein sehr individueller Ansatz vor, bei dem jeder Landwirt nach einer persönlichen Lösung im spezifischen Kontext seines Betriebs sucht (Grossrieder, 2020). Die jüngste Entwicklung neuer Technologien, die geringe Verbreitung von vorhandenen Informationen und Erfahrungen, der Mangel an Daten und die große Vielfalt der kultivierten AHP-Arten (~100 Arten (Agroscope, 2021)) erlauben der Praxis derzeit selten, die Entwicklungen und Forschungsergebnisse auf diesem Gebiet zu überblicken (Heuberger & Blum, 2014).

Das Projekt OGAPAM

OGAPAM (*Optimisation de la gestion non chimique des adventices dans les cultures de plantes aromatiques et médicinales* = Optimierung der nicht-chemischen Unkrautbekämpfung in Aroma- und Heilpflanzenkulturen) ist ein vom Schweizer Bundesamt für Landwirtschaft, ArGe Bergkräuter und Bio Suisse finanziertes Projekt. Es wird durch das FiBL (Forschungsinstitut für Biologischen Landbau) und der Agroscope Conthey, zusammen mit einer Gruppe von Produzent*innen ausgeführt. Das Projekt zielt darauf ab, die nicht-chemische Regulierung von Unkräutern in mehrjährigen AHP-Kulturen zu optimieren, um die Produktionskosten zu senken, ohne die Produktqualität zu beeinträchtigen. Das erste Ziel, ist die Sammlung und Dokumentierung von Unkrautbekämpfungsmethoden in der Schweiz und im Ausland, die in AHP-Kulturen, aber auch in anderen Kulturen mit vergleichbaren Eigenschaften und Problemstellungen (Unkrautbekämpfungsbedarf zwischen den Kulturreihen und in großen Beeten) eingesetzt werden. Dies geschieht durch eine umfangreiche Literaturrecherche und durch Einbezug der Erfahrungen der Hersteller und Produzent*innen mittels Interviews. In einem zweiten Schritt wird eine Auswahl der vielversprechendsten agronomischen Praktiken und Materialien, durch einen partizipativen Ansatz mit der Praxis an einem runden Tisch getroffen. Diese Techniken werden dann im Feld zusammen mit Produzent*innen getestet und die Ergebnisse werden innerhalb des Sektors evaluiert und verbreitet.

Zum Zeitpunkt der Unkrauttagung im Februar 2022, wird der erste Projektteil, die Sammlung und Dokumentation von Unkrautbekämpfungsmethoden in der Schweiz und im Ausland bei AHP-Kulturen abgeschlossen sein. Diese Resultate, zusammen mit einer ersten Einschätzung der Anwendbarkeit und Praxistauglichkeit durch eine Gruppe von Produzent*innen, sollen dem Publikum vorgestellt werden.

Material und Methoden

Literaturrecherche

Die Bestandsaufnahme konzentriert sich auf die AHP-Produktion, aber auch auf bestimmte Techniken, die im Gemüsebau und im Ackerbau in der Schweiz und im Ausland eingesetzt werden. Die verschiedenen nicht-chemischen Techniken (Mechanisierung, inkl. Robotik), Anbautechniken (Mulch, etc.) und physikalische Techniken (Warmwasser, Strom, etc.) werden systematisch zusammengestellt und zusammengefasst. Zudem wird auf europäischer Ebene das bereits bestehende Netzwerk zwischen Instituten und Gruppen von AHP-Produzent*innen zu diesem Thema aktiviert (iteipmai, CTFC, CREA-FL, JKI, usw.), um den globalen Überblick über die derzeit verfügbaren Techniken zu vervollständigen.

Interviews

Zusätzlich zur Literaturrecherche, wurden im Frühling 2021 20 Kräuter-Produzent*innen in der Schweiz und zwei Experten zum Thema nicht-chemische Unkrautbekämpfungsmethoden interviewt und in diesem Zusammenhang genannte Maschinen begutachtet. Es wurden alle Methoden sowohl deren Stärken und Schwächen dokumentiert, welche von den Landwirt*innen zur Unterdrückung oder Bekämpfung von Unkraut in Kräuterkulturen verwendet werden. Auch wurden Informationen zum Landwirtschaftsbetrieb, dem vorherrschenden Klima, die Bodenzusammensetzung, Flächengrößen und die zukünftig geplante Umsetzung von Ideen dokumentiert.

Roundtable

In einem Roundtable im Dezember 2021 werden alle interviewten Landwirt*innen und Projektverantwortliche eingeladen, um die Resultate aus der Literaturrecherche und den Interviews zu diskutieren. Es soll in Zusammenarbeit mit den Landwirt*innen definiert werden, welche vielversprechenden Methoden für zukünftige Feldversuche im OGAPAM-Projekt genutzt und in welchem Rahmen diese verglichen und evaluiert werden sollen.

Ergebnisse

Literaturrecherche

Folgende 38 Unkrautbekämpfungsmethoden wurden in der Literaturrecherche dokumentiert. Sie wurden in die Kategorien traditionelle und fortschrittliche mechanische Methoden, Roboter und agronomische Methoden unterteilt. Aufgrund des großen Umfangs wird in diesem Manuskript von den zugehörigen Merkmalen, Funktionsweise, Preis, Geschwindigkeit, Anwendungsbereich inkl. Grenzen, Vor- und Nachteilen, Bilder und Referenzen abgesehen. Diese werden direkt an der Unkrauttagung vorgestellt und können bei Bedarf angefordert werden.

Traditionelle mechanische Methoden

- Hackstriegel
- Treffler
- Torsionsfeder
- Rotorhacke
- Rollstriegel
- Fingerhacke
- Kleine Dammmaschine
- Unkrautbürste
- Mehrreihige Bodenfräse
- Querstriegel

Fortgeschrittene mechanische Methoden

- Abflammer
- Fingerhacke und Abflammer
- Elektrophysikalische Unkrautbekämpfung (ZASSO)
- Elektrophysikalische Unkrautbekämpfung (crop.zone)
- Wasserdampf Behandlung
- Heisswasser Behandlung (Eco Weedkiller)
- Heisswasser Behandlung (Dertzen Weedbuster)
- Heisswasser Behandlung (Weedkiller DIBO)
- Präzision Kaltwasser-Behandlung
- Infrarot-Behandlung
- Visions-Jäten
- Schaum-Strahl
- Flüssiger Mulch

Roboter

- Drohnen-basiertes Jäten
- OZ Jätroboter
- Contadino
- RoboWeeder
- Jätrobi

Agronomische Methoden

- Schmalere Reihen
- Bändchengewebe
- Abbaubare Bodenbedeckungen
- Fruchtfolge
- Sortenwahl
- Zwischenfrucht
- Mischkulturen
- Hygienemaßnahmen
- Klassisches Biocontrol

Interviews

Die 20 in der Schweiz durchgeführten Interviews, haben gezeigt, dass 18 % der Produzent*innen auf einer <1 ha Fläche, oftmals ohne mechanische Unterstützung Gewürz- und Medizinalpflanzen anbauen. Die restlichen 82 % pflegen ihre Flächen mehrheitlich mechanisiert.

Der Bereich Kräuter als Diversifizierung ist für viele kleine Bergbetriebe interessant, die sonst nicht von der Landwirtschaft leben könnten. Für 6 der interviewten Betriebe ist der Kräuteraanbau der einzige Betriebszweig und es wird eine große Vielfalt an ein- und mehrjährigen Kräutern angebaut. Auf 3 Betrieben werden die Kräuter auch vor Ort verarbeitet und direktvermarktet.

Die gewöhnlichen und speziellen Unkrautbekämpfungsstrategien der befragten Produzent*innen wurden dokumentiert. Mechanisierte Betriebe sind bei den Hacktechniken in der Regel äußerst kreativ. Sie passen diese Methoden kontinuierlich an und verbessern sie laufend. Allgemein werden Geräteträger aus der Gemüsebautechnik oder Traktoren am häufigsten angewendet. Die Wahl der Nachkultur und der Zeitpunkt des Kulturstarts im Frühling ist entscheidend für eine gute Unkrautunterdrückung, was die Handarbeit entsprechend reduziert und die Erträge verbessert. Bei der Pflanzung ist es interessant zu sehen, dass die Landwirte eher 8-10 Pflanzen pro m² setzen, statt die empfohlenen 48.

Wichtig ist die Unkrautbekämpfung bei mehrjährigen Kulturen Anfang des zweiten Jahrs. Ebenfalls ist die Wintervorbereitung der mehrjährigen Kulturen maßgeblich. Zwischen den Schnitten wird so regelmäßig

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online wie möglich gehackt, gestriegelt und von Hand gejätet. Das Hauptproblem liegt bei den flachwachsenden Kräutern wie Minze, die je nach Jahr bis zu 30 Stunden Handarbeit pro 100 m² erfordern. Die befragten Produzent*innen gaben an, dass ab etwa 10 Stunden Arbeitszeit pro 100 m² der Minzenanbau wirtschaftlich nicht mehr sonderlich interessant sei. Die dazu verwendeten Techniken variieren je nach Produzent*in und deren Erfahrungen, sowohl Prioritäten, stark. Die Produzent*innen sind allgemein sehr an alternativen Unkrautregulierungsmaßnahmen interessiert.

Wenige Kräuterproduzent*innen sind mit Ihren Unkrautmanagementstrategien in der Minze zufrieden. V.a. die, die auf Bändchengewebe anbauen (im Gewebe von Hand gepflanzt) aber auch die mechanisierten Betriebe, die auf eher leichten bis mittelschweren Böden arbeiten. Bei den restlichen Landwirten sind v.a. auch die Wetterverhältnisse entscheidend für den Ertrag und somit die Zufriedenheit mit der Kultur.

Roundtable

Die Resultate aus dem Roundtable wurden noch nicht erhoben, da dieser erst im Dezember 2021 stattfindet. Sie werden jedoch direkt in den Beitrag an der Unkrauttagung integriert.

Die Landwirte werden anhand ihrer Erfahrungen die gesammelten Methoden bewerten und priorisieren, welche sie in den kommenden zwei Versuchsjahren unter verschiedenen Gegebenheiten testen wollen.

Literatur

AGROSCOPE, 2021: Anbau von Aroma- und Medizinalpflanzen. Agroscope.admin. Letzter Zugriff: 07. 10 2021, URL: <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/pflanzenbau/gewuerz-medizinalpflanzen/liste-plantes-aromatiques-medicinales.html>.

BERGOËND, A., J. PIASENTIN, 2020: Medicinal plants, aromatic herbs and fragrance plants in France: a small but thriving sector with a strong traditional base and a dynamic research network. Angers, ISHS.

EUROPEAN COMMISSION, 19. 05 2021: Luxemburg: Office of the European Union.

FOURNIER, F., 01. 03 2021: Interview mit der Valplantes Genossenschaft zum Thema Unkrautbekämpfung im Kräuteraanbau. (A. Rochat, Interviewer).

GROSSRIEDER, B., 2020: Von der Kunst des Kräuteraanbaus. Bioaktuell, 8-9.

HEUBERGER, H., H. BLUM, 2014: Status-Quo-Analyse zur Unkrautregulierung im ökologischen Arznei- und Gewürzpflanzenanbau in Bayern - Abschlussbericht. Bayern: LfL Pflanzenbau.

PRODUIRE BIO., 2019: Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales bio.

Auswirkungen von Grundboden- und wiederholter flacher Frühjahrsbearbeitung auf die Dichte und Artenzusammensetzung der Segetalflora im Melisseanbau (*Melissa officinalis*)

*Combined effects of primary and spring tillage on weed density and composition in sown lemon balm (*Melissa officinalis*)*

Charlotte Junker*, Daniel Neuhoﬀ, Martin Berg, Thomas Döring

Universität Bonn, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Agrarökologie und Organischer Landbau

*cjunker@uni-bonn.de

DOI: 10.5073/20220124-073051

Zusammenfassung

Durch die steigende Nachfrage nach nicht-chemischen Ansätzen zur Unkrautregulierung gewinnen mechanische Verfahren an Bedeutung. Für spätgesäte, konkurrenzschwache Kulturen wie Melisse (*Melissa officinalis*) wird empfohlen, mittels präventiver Bodenbearbeitung, etwa durch vorgezogene Saatbettbereitung („Falsches Saatbett“), Unkrautsamen im Boden wiederholt zur Keimung anzuregen und damit die Diasporenbank vor der Aussaat zu reduzieren. In einem zweifaktoriellen Versuch wurde der Zeitpunkt des Pflugeinsatzes (Herbst- oder Frühjahrsfurche) in Kombination mit vier Intensitäten einer flachen Frühjahrsbearbeitung mittels Kreiselegge herbologisch untersucht. Der Versuch wurde 2019/20 an einem ökologisch und einem konventionell bewirtschafteten Standort im Rheinland angelegt. Vor jedem Bodenbearbeitungsgang wurden Unkrautbonituren durchgeführt. Zusätzlich wurde die Diasporenbank im Oberboden (0-7 cm) an drei Terminen erfasst. Am ökologisch bewirtschafteten Standort war die Unkrautdichte drei Wochen nach Aussaat nach Herbstfurche in den drei- und vierfach gekreiselten Faktorkombinationen signifikant geringer im Vergleich zur Frühjahrsfurche ($p = 0,023$; $p = 0,018$). Arten mit leichtem Samengewicht ($\leq 0,5$ mg) wie *Aphanes arvensis*, *Matricaria chamomilla*, *Papaver rhoeas*, *Veronica agrestis* und *Viola arvensis* hatten in den viermal gekreiselten Varianten einen tendenziell höheren Anteil ($41,1 \% \pm 23,6 \%$) im Vergleich zu einer einmaligen Saatbettbereitung ($15,6 \% \pm 20,8 \%$). Diese wies tendenziell eine höhere Dichte an Arten mit höherem Samengewicht (> 1 mg) wie *Ranunculus repens* oder *Chenopodium album* auf ($49,3 \% \pm 28,2 \%$). Dies lässt vermuten, dass die Keimung kleinerer Samen bei feineren Bodenaggregaten begünstigt wird. Am konventionell bewirtschafteten Standort wurden bei geringem Samenpotential im Oberboden (< 200 je m^2) keine Effekte der Bodenbearbeitung auf Unkrautdichte und Artenzusammensetzung festgestellt. Die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres zeigen, dass eine wiederholte flache Frühjahrsbearbeitung an einem Standort mit hohem Samenpotential (> 6000 Samen m^{-2}) nicht zu einer Minderung der Unkrautdichte, jedoch zu einer Selektion eines bestimmten Artenspektrums führen kann.

Stichwörter: Arznei- und Gewürzpflanzen, Falsches Saatbett, Grundbodenbearbeitung, Präventive Unkrautregulierung

Abstract

Due to the restriction of chemical weed control in organic farming, there is a need for efficient alternative practices. Especially in medicinal and aromatic plants which often are small-seeded, slowly developing and therefore non-competitive, efficient, early-stage mechanical in-row weeding treatments are currently not available. Therefore, preventive measures as primary tillage or the stale seed bed are recommended. In a two-factorial trial, the combined effects of timing of ploughing (autumn versus spring) and four intensities of a shallow treatment in spring were tested. The trials were implemented in 2019/20 at one organic and

one conventional farm in the Rhineland region. Before each tillage operation, weed density and composition were determined and the seed bank was evaluated at three dates. Three weeks after sowing, with three and four spring tillage passes, weed density at the organic site was significantly lower after autumn-ploughing compared to spring-ploughing ($p = 0.023$; $p = 0.018$). Further, after four passes with a rotary harrow, the emergence of light-seeded species (≤ 0.5 mg) such as *Aphanes arvensis*, *Matricaria chamomilla*, *Papaver rhoeas*, *Veronica* spp. and *Viola arvensis*, tended to have a higher proportion ($41.1\% \pm 23.6\%$), as compared to a single pass ($15.6\% \pm 20.8\%$). After one pass, there was a tendency towards more species ($49.3\% \pm 28.1\%$) with a higher seed weight (> 1 mg) like *Ranunculus repens* or *Chenopodium album*, possibly because the germination of small seeded species may be favored through a finer aggregate structure. At the conventional farm site, no effect on weed composition was found, which might be due to the very low number of weeds (< 200 seeds m^{-2}) in the topsoil.

Keywords: medicinal- and aromatic plants, preventive weed control, primary tillage, stale seed bed

Einleitung

Auf Grund der Gefahr der Beimengung humantoxischer Unkräuter werden im Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen hohe Anforderungen an die Reinheit des Ernteguts gestellt (STEINHOFF, 2020). Für Melisse als Modellkultur für eine konkurrenzschwache Feinsämerei stehen derzeit noch keine effizienten mechanischen Verfahren zur Unkrautregulierung in frühen Entwicklungsstadien in der Reihe zur Verfügung. Als Folge sind der manuelle Handjäteaufwand und somit die Produktionskosten hoch. Eine Möglichkeit, die Unkrautdichte vor der Aussaat zu mindern, stellen präventive Bodenbearbeitungsverfahren dar. Beispiele hierfür sind der gezielte Pflugeinsatz und das Falsche Saatbett.

Beim Pflügen werden durch die wendende Bodenbewegung Unkrautsamen in tiefere Bodenschichten verlagert, die dort eine sekundäre Dormanz entwickeln. Gleichzeitig werden Samen aus tiefen Schichten an die Bodenoberfläche befördert, welche dort Umweltbedingungen unmittelbar ausgesetzt sind, wodurch deren sekundäre Dormanz überwunden werden kann (FOLEY, 2001).

Durch ein Falsches Saatbett sollen nicht-dormante Samen im Oberboden im Zuge einer vorgezogenen flachen Bodenbearbeitung zur Keimung angeregt werden. Hierdurch soll die Diasporenbank reduziert und die Unkrautdichte in der Folgekultur gemindert werden. Der Ansatz bietet vielseitige Steuerungsmöglichkeiten, wie die Art der Maschine, die Intensität der Überfahrten, die Arbeitstiefe, den Zeitpunkt der Maßnahmen, die Dauer zwischen zwei Maßnahmen sowie die Kombination mit Bewässerung oder Vlies. BENVENUTI et al. (2021) zeigten, dass bis zu einer Tiefe von 10 cm die Diasporenbank durch ein Falsches Saatbett stark reduziert werden kann. Arten mit kleinen Samen erwiesen sich als am wenigsten durch das Falsche Saatbett regulierbar.

Im Rahmen eines zweifaktoriellen Versuches wurden die kombinierten Effekte von Grundbodenbearbeitung und Falschem Saatbett 2019/20 an zwei Standorten im Rheinland untersucht. Folgende Arbeitshypothesen wurden erstellt:

- Je mehr Unkräuter vor der Aussaat zur Keimung angeregt werden, desto niedriger ist die Unkrautdichte in der Kultur.
- Je intensiver der Boden im Frühjahr bearbeitet wird, desto mehr Unkräuter beginnen zu keimen.
- Mehr Unkräuter keimen nach einer Frühjahrsfurche im Vergleich zur Herbstfurche.
- Die Arbeitsgänge bewirken eine Selektion der Artenzusammensetzung.

Material und Methoden

Standort

Der Versuch wurde 2019/20 an zwei Versuchsstandorten der Uni Bonn, dem konventionell bewirtschafteten Campus Klein Altendorf (CKA) bei Meckenheim (6° 59', 32 E & 50° 37', 51 N), einem tiefgründigem Lössstandort, sowie an dem ökologisch bewirtschafteten Campus Wiesengut (WG) in Hennef (7° 17' E & 50° 48' N), welcher durch lehmig-schluffig bis sandig-schluffige Auensedimente charakterisiert ist, durchgeführt. Am WG erfolgte die Versuchsanlage im Herbst nach Winterroggen, am CKA nach Winterweizen.

Versuchsdesign

Der Versuch wurde als zweifaktorielle Spaltanlage in dreifacher Wiederholung angelegt. Großparzellenfaktor war die Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten (Herbst 2019 bzw. Frühjahr 2020). Kleinparzellenfaktor war die Intensität der Frühjahrsbodenbearbeitung mit vier Faktorstufen (ein-, zwei-, drei- und vierfache Saatbettbereitung mittels Kreiselegge). Die Parzellengröße betrug 30 m².

Versuchsdurchführung

Der Pflugeinsatz im Herbst 2019 erfolgte am CKA Mitte August mit einem 3-Schar-Pflug, am WG Ende Juli mit einem 4-Schar-Pflug (Tab. 1). Die anderen Großparzellen wurden mit einem Grubber bearbeitet. Anfang September erfolgte die Aussaat der Zwischenfrucht Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*), welche Mitte Februar 2020 an beiden Standorten gemulcht wurde. Im März wurde der Versuchsfaktor Frühjahrsfurche angelegt. Die anderen Parzellen (Faktor Herbstfurche) wurden flach gegrubbert. Ende März erfolgte die erste Überfahrt mittels Kreiselegge (Arbeitstiefe = 7 cm). Die Dauer zwischen den Überfahrten richtete sich danach, ob Unkräuter zur Keimung angeregt wurden. Da das Frühjahr 2020 in eine Trockenperiode fiel, wurde am Standort WG dreimal (20.04., 14.05., 20.05.) und am Standort CKA zweimal (16.04., 21.04.) mittels einer Handbrause (5 l m⁻²) bewässert. Anschließend wurde die Fläche mit Folie (WG) bzw. Vlies (CKA) abgedeckt. Unmittelbar vor der Aussaat wurden alle Parzellen abgeflammt.

Tabelle 1 Überblick über die Zeitpunkte der Bodenbearbeitung

Table 1 Overview of the timing of soil cultivation

Standort	Pflugeinsatz		Kreiselegge				Aussaat
	Herbst	Frühling	1.	2.	3.	4.	
WG	26.07.19	25.03.20	26.03.	27.04.	14.05.	28.05.	10.06
CKA	14.08.19	27.03.20	30.03.	15.05.	27.05.	23.06.	30.06

Erfassung der Segetalflora

Vor jedem Bearbeitungsgang wurde die Artenzusammensetzung, der Deckungsgrad (in Prozent), die Höhe sowie das mittlere BBCH Stadium an vier festen Punkten pro Parzelle mittels Göttinger Schätzrahmen (0,5 x 0,5 m) erfasst.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm RStudio (Version 1.2.1335). Eine ANOVA wurde mithilfe eines linearen gemischten Modells durchgeführt, welche die Blockeffekte des Split-plot Designs berücksichtigte. Die Varianzhomogenität wurde vorab mit dem Levene-Test und die Normalverteilung der Residuen mit QQ-Plots geprüft. Wenn die Voraussetzungen erfüllt wurden und in der ANOVA ein signifikanter Unterschied ($\alpha = 0.05$) vorlag, wurden multiple Mittelwertvergleiche (Least-Squares Means, p

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
< 0.05) durchgeführt. Informationen über die Samengewichte wurden aus der Datenbank von BÄRBERI et al. (2018) entnommen und durch die BioFlor Datenbank (KLOTZ, 2002) ergänzt.

Ergebnisse und Diskussion

Effekte auf die Anzahl aufgelaufener Unkräuter bis zur Aussaat

Am Standort WG wurden in den viermalig gekreiselten Varianten signifikant weniger Unkräuter zur Keimung angeregt als in der zweifach gekreiselten Variante. Am Standort CKA keimten durch wiederholte Bearbeitung tendenziell mehr Pflanzen (Tab. 2). Hier war die Unkrautdicke mit vier Pflanzen m⁻² zu gering für eine aussagefähige Interpretation. Somit wurde die Hypothese, dass durch eine Intensivierung der Überfahrten im Frühjahr mehr Pflanzen zur Keimung angeregt werden, nicht bestätigt. Ein möglicher Erklärungsgrund hierfür ist, dass der Versuchszeitraum in eine starke Trockenperiode fiel. Dies ist im Einklang mit der Studie von BENVENUTI und MACCHIA (2006) welche zeigte, dass ausschließlich bei der Kombination aus Bewässerung und Bodenbearbeitung die Diasporenbank im Oberboden fast um die Hälfte reduziert wurde, wohingegen Bodenbearbeitung allein nur eine Minderung um 5% erzielte.

Tabelle 2 Einfluss von Grundbodenbearbeitung und Falschem Saatbett auf die relative Anzahl aufgelaufener Unkräuter vor der Aussaat am Standort Campus Wiesengut (WG) und Campus Klein-Altendorf (CKA). Werte als relative Abundanz zu Herbstfurche (A) oder einmaliger Saatbettbereitung (B) jeweils = 100 %

Table 2 Influence of primary tillage and false seedbed on the relative number of emerged weeds prior to seeding at the Campus Wiesengut (WG) and Campus Klein-Altendorf (CKA) sites. Values as relative abundance to fall furrow (A) or single seedbed preparation (B) each = 100%

	A	Pflugeinsatz		B	Intensität der Frühjahrsbodenbearbeitung			
		Herbst	Frühling		1	2	3	4
WG		100	110		100 ^{ab}	112 ^a	83 ^{ab}	76 ^b
CKA		100	85		100	100	254	285

Effekte auf die Unkrautdicke nach der Aussaat

Am WG war drei Wochen nach der Melisseaussaat die Unkrautdicke in den Faktorkombinationen Herbstfurche und dreimaliges ($p = 0.023$) sowie viermaliges ($p = 0.018$) Kreisel signifikant geringer als in den Kombinationen mit Frühjahrsfurche. Dieses Ergebnis unterstützt die Hypothese, dass nach einer Frühjahrsfurche mehr Unkräuter keimen als nach einer Herbstfurche. Ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der vor Aussaat zur Keimung angeregten Pflanzen und Pflanzendichte nach der Aussaat konnte nicht eindeutig nachgewiesen werden (Tab. 3).

Tabelle 3 Einfluss von Grundbodenbearbeitung und Falschem Saatbett auf die relative Unkrautdicke drei Wochen nach der Melisseaussaat am Standort Campus Wiesengut (WG) und Campus Klein-Altendorf (CKA). Werte als relative Abundanz zu Herbstfurche (A) oder einmaliger Saatbettbereitung (B) jeweils = 100 %. *Signifikanzen wegen Wechselwirkung A x B nicht angegeben

Table 3 Influence of primary tillage and false seedbed on relative weed density three weeks after lemon balm seeding at the Campus Wiesengut (WG) and Campus Klein-Altendorf (CKA) sites. Values as relative abundance to fall furrow (A) or single seedbed (B) each = 100%. *Significances not presented due to interaction A x B

	A	Pflugeinsatz		B	Intensität der Frühjahrsbodenbearbeitung			
		Herbst	Frühling		1	2	3	4
WG		100	132		100	95	103	110
CKA		100	68		100	121	113	33

Effekte auf die Artenzusammensetzung

Der Vergleich der Artenzusammensetzung der Segetalflora drei Wochen nach der Melisseaussaat am Standort WG zwischen einfacher und vierfacher Saatbettbereitung zeigte, dass durch eine wiederholte flache Frühjahrsbearbeitung die gesamte Artenzahl sowie die relative Häufigkeit einzelner Arten tendenziell stieg (Abb. 1). Bei einfacher Bearbeitung entsprachen die fünf Leitarten 84%, wohingegen bei vierfacher Bearbeitung diese nur 62% darstellten.

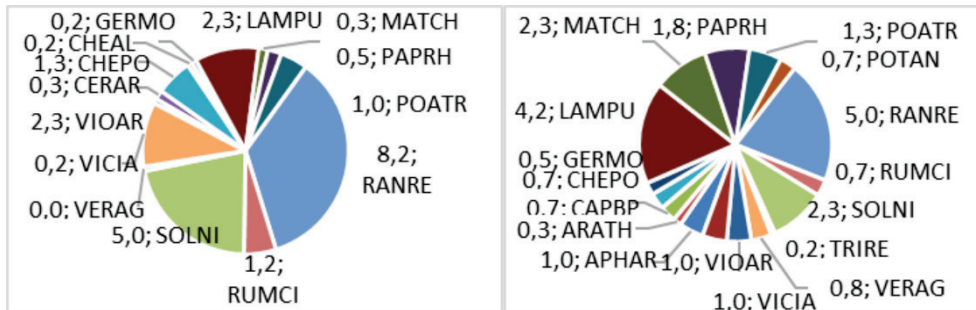


Abbildung 1 Artenzusammensetzung der Segetalflora und mittleres Aufkommen einzelner Arten pro m² drei Wochen nach der Melisseaussaat bei einfacher (links) und vierfacher (rechts) Saatbettbereitung mittels Kreiselegge am Standort Campus Wiesengut.

Figure 1 Weed species composition and mean density per species per m² three weeks after sowing lemon balm after one (left) and four (right) spring tillage passes at the location Campus Wiesengut.

Zusammenhang Samengewicht und Intensität der Bearbeitung

Am ökologischen Standort bewirkte die Intensivierung der flachen Frühjahrsbodenbearbeitung, dass der prozentuale Anteil an Arten mit einem niedrigen Samengewicht tendenziell zunahm. Entsprechend konnte eine signifikante Abnahme des mittleren Samengewichts zwischen ein- ($p = 0.04$) und vierfacher sowie zwischen zwei- ($p = 0.017$) und vierfacher Bearbeitung festgestellt werden. Dieses Ergebnis ist im Einklang mit der These von BENVENUTI und MAZZONCINI (2021), dass Arten mit kleinerem Samengewicht in Anbausystemen mit reduzierter Bodenbearbeitung auf Grund der hypoxischen Konditionen eine sekundäre Dormanz entwickeln. Durch Bodenbewegung und daraus resultierenden veränderten Licht- und Sauerstoffbedingungen kann diese gebrochen werden, wodurch Arten mit kleinem Samengewicht insbesondere gefördert werden.

Literatur

- BÀRBERI, 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** (2), 76–88, DOI:10.1111/wre.12283.
- BENVENUTI, S., M. MACCHIA, 2006: Seedbank reduction after different stale seedbed techniques in organic agricultural systems. *Italian Journal of Agronomy* **1** (1), 11, DOI:10.4081/ija.2006.11.
- BENVENUTI, S., M. MAZZONCINI, 2021: “Active” Weed Seed Bank: Soil Texture and Seed Weight as Key Factors of Burial-Depth Inhibition. *Agronomy* **11** (2), 210, DOI:10.3390/agronomy11020210.
- BENVENUTI, S., M. SELVI, S. MERCATI, G. CARDINALI, V. MERCATI, M. MAZZONCINI, 2021: Stale seedbed preparation for sustainable weed seed bank management in organic cropping systems. *Scientia Horticulturae* **289**, 110453, DOI:10.1016/j.scienta.2021.110453.
- FOLEY, M.E., 2001: Seed Dormancy: An Update on Terminology, Physiological Genetics, and Quantitative Trait Loci Regulating Germinability. *Weed Science* **49** (3), 305–317, DOI:10.1614/0043-1745(2001)049[0305:SDAUOT]2.0.CO;2.
- KLOTZ, S. (Hrsg.), 2002: BIOLFLOR - eine Datenbank mit biologisch-ökologischen Merkmalen zur Flora von Deutschland. Jg. **38**, Münster, BfN-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag

Betriebliche Erfahrungen zur mechanischen Unkrautkontrolle in Winterraps

Farmers' perspectives of mechanical weed control in winter oilseed rape

Erik Arendholz¹, Andrea Ziesemer², Sabine Andert^{1*}

¹Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur für Phytomedizin, Satower Straße 48, 18051 Rostock

²Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Betriebswirtschaft, Dorfplatz 1, 18276 Gülzow-Prüzen

*sabine.andert@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/20220124-073252

Zusammenfassung

Mechanische Unkrautbekämpfung ist eine Alternative zum chemischen Herbizid-Einsatz in Winterraps. Der vorliegende Beitrag stellt Erfahrungen landwirtschaftlicher Praxisbetriebe zur mechanischen Unkrautkontrolle dar. Die Daten stammen aus einer im Sommer 2020 – Frühjahr 2021 durchgeführten und auf Fragebögen basierenden Erhebung. Landwirtschaftliche Betriebe aus Deutschland (75 %), Österreich (13 %), der Schweiz (6 %) und Frankreich (6 %) haben an der Umfrage teilgenommen.

Unkräuter und Ungräser werden durch die teilnehmenden Betriebe mechanisch in Winterraps im Herbst in den phänologischen Entwicklungsstadien BBCH 10 - 21 und im Frühjahr in den BBCH-Stadien 28 - 35 kontrolliert. Die Hälfte der befragten Betriebe spart durch den Einsatz mechanischer Unkrautkontrolle 30-70 % chemischer Herbizide ein - die Reduktion des Herbizid-Einsatzes wurde unter allen Befragten als wichtigster Grund für die Einführung der mechanischen Unkrautkontrolle angegeben. Auslaufende Zulassungen chemischer Herbizide sowie die Reduktion der Herbizidkosten sind ebenfalls entscheidende Gründe für die mechanische Unkrautkontrolle der Teilnehmer. Dikotyle Arten (*C. bursa-pastoris*, *G. aparine*) lassen sich nach den Einschätzungen der Praxisbetriebe gut bis sehr gut mechanisch kontrollieren. Mechanische Kontrolle der monokotylen Arten (*A. myosuroides*, *A. spica-venti*, Ausfallgetreide) sowie der Dikotylen *Rumex sp.*, *T. arvense* und *S. media* wird durch die teilnehmenden Landwirte als weniger effizient eingeschätzt.

Stichwörter: Alternative Unkrautkontrolle, *Brassica napus* L., Fragebogenerhebung, Zukünftiges Unkrautmanagement

Abstract

Mechanical in-crop weed control is an alternative to chemical herbicide use in winter oilseed rape. This study aims to focus on farmers' perspectives of mechanical weed control in winter oilseed rape. An online farmer survey was conducted in summer 2021 - spring 2021. Farmer's participants are German (75%), Austrian (13%), Swiss (6%) and French (6%).

The farmer respondents predicted to control monocot and dicot weeds by using mechanical in-crop weed control in autumn (BBCH 10 – 21) and spring (BBCH 28 – 35). Of the respondents, 50% anticipated saving 30-70% of chemical herbicides by using mechanical weed control - the reduction of herbicide use was given as the most important reason for the introduction of mechanical weed control among all respondents. Besides, the reduction of overall herbicide use, concerns about the future authorization of plant protection products and the reduction of herbicides costs are important factors for farmers' mechanical in-crop weed control. From farmers' perspectives, dicot species (*C. bursa-pastoris*, *G. aparine*) can be controlled mechanically in-crop well. Farmers considered monocotyledonous species (*A. myosuroides*, *A. spica-venti*, volunteer cereals) and the dicotyledons *Rumex sp.*, *T. arvense* and *S. media* to be less controllable by mechanical in-crop weed control

Keywords: Alternative weed control, *Brassica napus* L., future weed management, questionnaire

Einleitung

Die Unkrautkontrolle erfolgt im Winterraps (*Brassica napus* L.) sehr verbreitet durch den Einsatz chemischer Herbizide. (PRIMOT et al., 2006; LUTMAN et al., 2008). Die chemische Unkrautkontrolle im Winterraps stellt sich jedoch aufgrund der Zunahme schwer zu kontrollierender Unkräuter, zunehmender Resistenzenentwicklungen einiger wichtiger Ungräser gegenüber Herbiziden (ACCASE-Hemmer) (HEAP, 2021) und der resultierenden eingeschränkten Auswahl an verfügbaren Wirkstoffen besonders herausfordernd dar. Darüber hinaus erfordern die potenziell negativen Umweltwirkungen von Herbizidrückständen, wie Metazachlor (KARLSSON et al., 2020) und Clomazone (WERNER et al., 2020), alternative Unkrautbekämpfungsmöglichkeiten.

Betriebliche Innovationsbestrebungen, verstärkt durch gesellschaftliche Forderungen hinsichtlich der Stärkung des integrierten Pflanzenschutzes sowie der Reduktion unerwünschter Umwelteffekte, bewirken im intensiven Winterrapsanbau aktuell Veränderungen in der Unkrautkontrolle. Eine steigende Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe beabsichtigt zukünftig mechanische Unkrautkontrolle in der Kulturzeit im Winterraps zu etablieren (ANDERT et al., 2021).

Der vorliegende Beitrag stellt das Unkrautregime landwirtschaftlicher Praxisbetriebe dar, die aktuell bereits mechanische Unkrautkontrolle in Winterraps durchführen. Es wird den Fragen nachgegangen, in welcher Art und zu welchen Zeitpunkten mechanische Unkrautkontrolle in Winterraps durchgeführt wird und welche Auswirkungen dies auf die weitere Unkrautkontrolle hat. Weiterhin werden die betrieblichen Gründe sowie weitere Nebeneffekte der mechanischen Unkrautkontrolle analysiert.

Material und Methoden

Die Daten aus der vorliegenden Studie stammen aus einer im Sommer 2020 – Frühjahr 2021 durchgeführten und auf Fragebögen basierenden Erhebung zur mechanischen Unkrautkontrolle in Winterraps. Die Online-Umfrage wurde mit dem Programm EvaSys (Electric Paper Evaluationssysteme GmbH) erstellt. Für eine breite Streuung des Fragebogens wurden verschiedene Wege genutzt. Der Zugangslink der Umfrage wurde an regionale und überregionale landwirtschaftliche Fachzeitschriften und E-Mail-Verteiler von Landwirtschaftskammern, Pflanzenschutzdiensten, Betriebsberatungen und Bauernverbänden gesendet. Weiterhin wurde die Umfrage unter Herstellern mechanischer Pflegegeräte und Saatgutzüchtern von Winterraps gestreut. Zudem wurden die Referenzbetriebe der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern per E-Mail angeschrieben. Insgesamt haben 22 Betriebe an der Umfrage teilgenommen. Nach einer Datenbereinigung standen 16 ausgefüllte Fragebögen für weitere Auswertungen zur Verfügung.

Der Fragebogen beinhaltete vier Frageeinheiten mit insgesamt 19 Fragen zu verschiedenen Aspekten der mechanischen Unkrautkontrolle in Winterraps (Internetlink zur Umfrage: <https://evasys.uni-rostock.de/evasys/online.php?p=Winterraps2020>). Neben offenen und metrischen Frageformen wurden fachliche Einschätzungen der Befragten zu wichtigen Aspekten mithilfe einer Likertskalierung abgefragt. In der ersten Fragenkategorie wurden Fragen (F1-F6) zu beschreibenden Betriebsmerkmalen gestellt. Die zweite Kategorie umfasste Fragen (F7-F11) zu allgemeinen Angaben der mechanischen Unkrautkontrolle der teilnehmenden Betriebe. Die dritte Fragenkategorie stellte die mechanische Unkrautkontrolle in Winterraps in den Mittelpunkt (F12-F17). Abschließend wurden die teilnehmenden Betriebe um Einschätzungen der Wirkungen und Grenzen der mechanischen Unkrautbekämpfung gebeten (F18-F19).

Ergebnisse

Informationen zu den teilnehmenden Betrieben

Landwirtschaftliche Betriebe aus Deutschland (75 %), Österreich (13 %), der Schweiz (6 %) und Frankreich (6 %) haben an der Umfrage teilgenommen. 50 % der teilnehmenden Landwirte betreiben reinen Ackerbau, ein kleinerer Anteil (31 %) bewirtschaftet Gemischt- und Veredlungsbetriebe (19 %). Die mittlere Flächengröße der Betriebe beträgt 380ha. Von den Teilnehmern bewirtschaften 31 % eine Fläche < 100 ha, 56 % bewirtschaften 100-1000 ha und 13 % der teilnehmenden Betriebe bewirtschaften eine Fläche > 1000 ha. Die mittlere Ackerzahl der teilnehmenden Betriebe beträgt 51 (Spannweite 35-85).

Stand der mechanischen Unkrautkontrolle der teilnehmenden Betriebe

Das Verfahren der mechanischen Unkrautkontrolle im Winterraps wird unter den teilnehmenden Betrieben überwiegend seit 2018 durchgeführt (77 %). Ein kleinerer Teil der Betriebe führte im Zeitraum 2015-18 die mechanische Unkrautkontrolle ein. 8 % der Teilnehmer arbeiten in Winterraps mit mechanischer Unkrautkontrolle länger als fünf Jahre (Einführung mechanischer Unkrautkontrolle im Zeitraum 2002-2014). 63 % der teilnehmenden Betriebe sät Winterraps im Aussaatverfahren der Einzelkornsaat aus, die anderen 37 % der Betriebe in konventioneller Drillsaat. Unkräuter und Ungräser werden in Winterraps von den Teilnehmern im Herbst in den phänologischen Entwicklungsstadien BBCH 10 - 21 und im Frühjahr in den BBCH-Stadien 28 - 35 kontrolliert. Mechanische Unkrautkontrolle wird mittels Hacke (62 %) und Striegel (15 %), einzeln und kombiniert (23 %), durchgeführt. Als Hackaggregate werden Gänsefußschare (85 %) und Winkelmesser (23 %) genutzt, teilweise in Kombination mit Fingerhacken (38 %), um Unkräuter in der Reihe zu reduzieren.

Neben dem Einsatz im Winterraps wird eine Unkrautkontrolle durch die teilnehmenden Betriebe auch in Zuckerrüben, Mais, Erbsen, Getreide, Soja und Sonderkulturen mechanisch durchgeführt. Ein Drittel der teilnehmenden Landwirte nutzt die mechanische Unkrautkontrolle ausschließlich in Winterraps. Infolge der Verwendung mechanischer Unkrautkontrolle in Winterraps gaben 30 % der teilnehmenden Betriebe eine Herbizidersparnis zwischen 10-30 % an. 50 % der befragten Landwirte sparen 30-70 % der Herbizide ein. Auf jeweils 10 % der befragten Betriebe ist der Herbizid-Einsatz um 70-90 % und >90 % reduziert worden. Weitere Unkrautkontrollmaßnahmen der teilnehmenden Betriebe in Winterraps sind überwiegend der Einsatz selektiver Herbizide in der Kulturzeit (73 %). Weiterhin wird mechanische Unkrautkontrolle in Kombination mit einer Bandspritze verwendet (27 %), ein geringerer Teil der Landwirte nutzt nicht-selektive Herbizide zu Stoppel- und Vorsaatapplikationen (18 %) und Untersaaten (9 %).

Gründe der Einführung und Etablierung mechanischer Unkrautkontrolle in Winterraps

Die Gründe der Einführung und Etablierung mechanischer Unkrautkontrolle in Winterraps werden in Abbildung1 dargestellt. Die Hälfte der teilnehmenden Betriebe gibt als Hauptgrund der mechanischen Unkrautkontrolle die Reduktion chemischer Herbizide an. Auslaufende Zulassungen chemischer Herbizide sowie die Reduktion der Herbizidkosten sind ebenfalls entscheidende Gründe für die mechanische Unkrautkontrolle der Teilnehmer. Ein Drittel der befragten Landwirte gibt an, dass eine erhöhte Akzeptanz der Bevölkerung, Förderung der Biodiversität, Umwelt- und Naturschutzaspekte sowie bestehende Resistenzprobleme Gründe für die betriebliche mechanische Unkrautkontrolle sind.

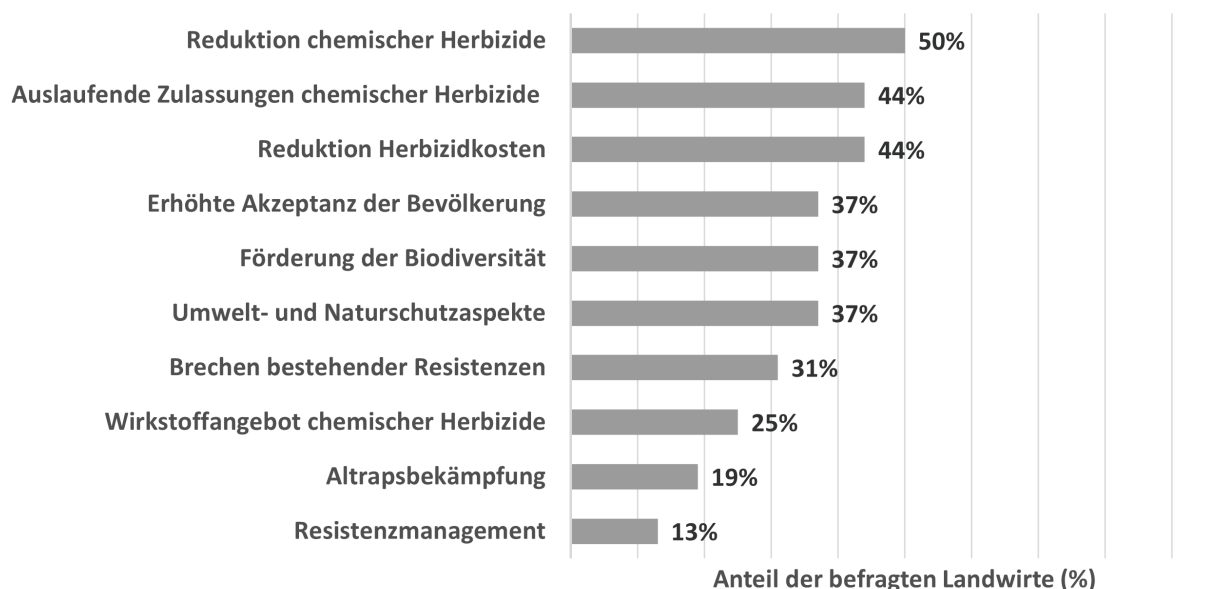


Abbildung 1 Gründe für die Einführung und Etablierung der mechanischen Unkrautkontrolle in Winterraps der teilnehmenden Betriebe. n=13 Landwirte.

Figure 1 Farmers' motives for mechanical in-crop weed control in winter oilseed rape. n=13 farmers.

Wirkungen mechanischer Unkrautkontrolle

Abbildung 2 stellt die Einschätzungen der befragten Landwirte zu den Wirkungen der mechanischen Unkrautkontrolle dar. Es wurde die Wirkung der mechanischen Unkrautkontrolle auf bedeutende Arten im Winterrapsanbau (HANZLIK und GEROWITT, 2016) erfragt. Dikotyle Arten, wie *C. bursa-pastoris* und *G. aparine* lassen sich nach den Einschätzungen der befragten Landwirte gut bis sehr gut mechanisch kontrollieren. Die monokotylen Arten *A. myosuroides*, *A. spica-venti*, Ausfallgetreide sowie die Dikotylen *Rumex* sp., *V. arvensis* und *S. media* werden als schlecht bekämpfbar eingeschätzt (Abb. 2).

75 % der Landwirte haben angegeben, dass die Witterung einen großen Einfluss auf das Hacken sowie bestimmte Bodeneigenschaften (50 %) hat. Ein weiterer Nachteil ist die erhöhte Arbeitszeit durch die mechanischen Pflegemaßnahmen (31 %). Eine kleine Rolle spielen erhöhte Maschinenkosten (19 %). Zudem haben jeweils 6 % der Landwirte angegeben, dass die Zahl der tierischen Schädlinge durch den vergrößerten Reihenabstand des Winterrapses zunimmt, die Geräte zur mechanischen Unkrautkontrolle bei hohem Organik-Anteil im Oberboden eingeschränkt arbeiten, die Technik zur mechanischen Unkrautkontrolle weiteres Entwicklungspotential hat und das Mobilfunknetz RTK (Real Time Kinematik) weiter ausgebaut werden sollte, um den uneingeschränkten Arbeitsradius und die absolute Genauigkeit der mechanischen Unkrautkontrolle zu optimieren.

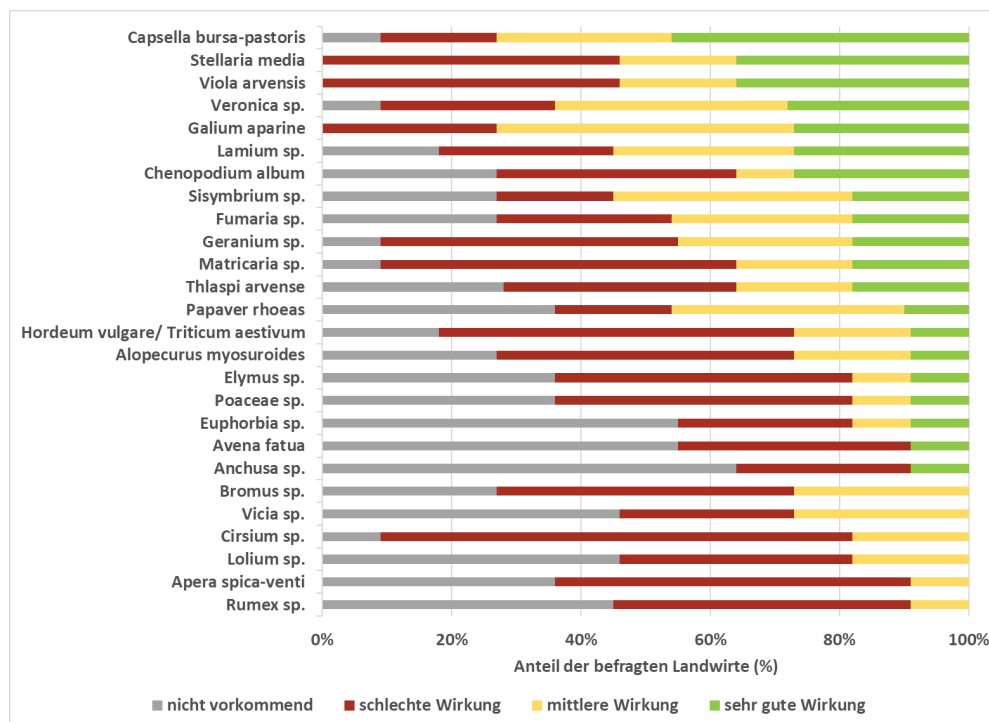


Abbildung 2 Einschätzungen der teilnehmenden Betriebe zur Wirksamkeit mechanischer Unkrautkontrolle auf häufig vorkommende mono- und dikotyle Arten in Winterraps. n=11 Landwirte.

Figure 2 Farmers' perspectives of the efficiency of mechanical in-crop weed control on major monocotyledonous and dicotyledonous species weeds in winter oilseed rape. n=11 farmers.

Weitere Effekte der mechanischen Unkrautkontrolle in Winterraps

Abbildung3 stellt die Einschätzungen der teilnehmenden Landwirte zu positiven Nebeneffekten der mechanischen Unkrautkontrolle in Winterraps dar. Der überwiegende Teil der Betriebe gibt eine erhöhte Stickstoffmobilisierung im Boden und das Aufbrechen verschlammter Bodenoberflächen als positiven Effekt der mechanischen Unkrautkontrolle an. Darüber hinaus wird die zügigere Jugendentwicklung der Pflanzen, das Wassersparen durch Aufbrechen der Kapillarität sowie eine allgemeine Ertragssteigerung von mehr als einem Drittel der befragten Landwirte positiv an der mechanischen Unkrautkontrolle geschätzt.

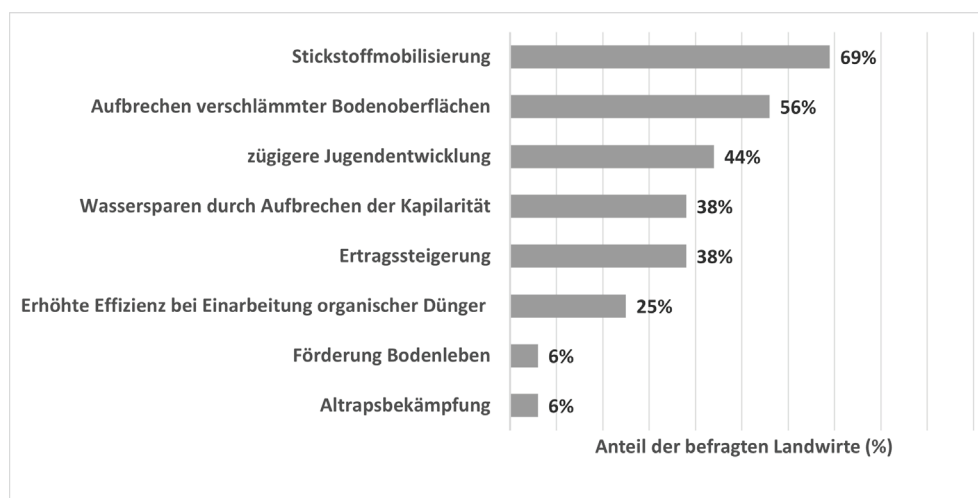


Abbildung 3 Einschätzungen der teilnehmenden Betriebe zu positiven Nebeneffekten der mechanischen Unkrautkontrolle. n=13 Landwirte.

Figure 3 Farmers' perspectives of benefits of mechanical in-crop weed control. n=13 farmers.

Diskussion

Vor dem Hintergrund des Anwendungsverbotes des Wirkstoffes Metazachlor in Wasserschutzgebieten und Einzugsgebieten von Trinkwasser-Gewinnungsanlagen (BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 2018) und den anwendungsbezogenen Anwendungsbestimmungen des Wirkstoffes Clomazone, ist der Fokus der Unkrautkontrolle im Winterraps weiter steigend auf alternative Unkrautkontrollmaßnahmen gerichtet. Mechanische Unkrautbekämpfung stellt eine Alternative zur chemischen Bekämpfung in Winterraps dar (KIERZEK et al., 2008; NILSSON et al., 2014; LUTMAN, 2018; MARCINKEVIČIENĖ et al., 2020).

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick zum Status Quo der mechanischen Unkrautkontrolle auf Praxisbetrieben und stellt die Einschätzungen der teilnehmenden Praxisbetriebe zu den Effekten der mechanischen Unkrautkontrolle in Winterraps dar. Die teilnehmenden Landwirte führen die mechanische Unkrautkontrolle überwiegend mittels Hacke in der Blattentwicklung des Winterraps durch, dieser Zeitraum im Herbst eignet sich für effiziente Unkrautkontrollmaßnahmen (KIERZEK et al., 2008). Die Einschätzungen der teilnehmenden Betriebe hinsichtlich der Unterschiede in der Wirkung der mechanischen Unkrautkontrolle auf verschiedene Unkraut-/Ungrasarten (Abb. 3) verdeutlicht allerdings, dass hinsichtlich einer Unkrautkontrolle ohne chemischen Herbizid-Einsatz im Winterraps weiterer Forschungsbedarf besteht. Insbesondere monokotyle Arten und Wurzelunkräuter sind nach Einschätzungen der Befragten nur bedingt mechanisch in der Kulturzeit des Winterrapses kontrollierbar. Neben der primären Unkrautkontrolle schätzen ca. 50 % der teilnehmenden Landwirte ein, dass die mechanische Unkrautkontrolle die Durchlüftung des Oberbodens und dadurch schnellere Mineralisierung der Nährstoffe (Stickstoffmobilisierung) und das Aufbrechen von Verschlammungen begünstigt. Beide Aspekte fördern die Jugendentwicklung der Pflanzen – ein interessanter Aspekt hinsichtlich aktueller Herausforderungen im Praxisanbau. Durch das Anwendungsverbot Neonicotinoid-haltiger Beizen (Verordnung (EU) Nr. 485/2013 der Europäischen Kommission) und die Änderungen des Düngemanagements infolge der Düngeverordnung 2017/2020 fehlen im Praxisanbau zum gegenwärtigen Zeitpunkt wichtige Instrumente zur Bestandesetablierung des Winterrapses im Herbst. Aus diesem Grund sollten Rahmenbedingungen geschaffen werden, die entsprechenden Veränderungen in der Technikausstattung und im Knowhow der Betriebe zu ermöglichen, um die Umsetzung mechanischer Unkrautkontrolle auch einzelbetrieblich ökonomisch umsetzbar zu machen.

Danksagung

Für die Unterstützung der Umfrage danken wir den beteiligten Fachzeitschriften, Landwirtschaftskammern, Pflanzenschutzdiensten, Betriebsberatungen, Bauernverbänden und Landmaschinenherstellern.

Ausdrücklicher Dank gilt den Landwirtschaftlichen Betrieben, die an der Umfrage teilgenommen haben.

Literatur

- BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 2018: Anwendungsbeschränkungen für bestimmte Pflanzenschutzmittel zum Schutz von Grundwasservorkommen, die zur Trinkwassergewinnung herangezogen werden (Ausführung der Anwendungsbestimmung NG301-1) (BVL 18/02/02).
- HANZLIK, K., B. GEROWITT, 2016: Methods to conduct and analyse weed surveys in arable farming: a review. *Agronomy for Sustainable Development* **36** (1), DOI:10.1007/s13593-015-0345-7.
- HEAP, I., 2021: The international herbicide-resistant weed database. Zugriff: 5. Oktober 2021, URL: <http://www.weedscience.org>.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- KARLSSON, A.S., M. LESCH, L. WEIHERMÜLLER, B. THIELE, U. DISKO, D. HOFMANN, H. VERECKEN, S. SPIELVOGEL, 2020: Pesticide contamination of the upper Elbe River and an adjacent floodplain area. *Journal of Soils and Sediments* **20**, 2067–2081, DOI:10.1007/s11368-020-02571-w.
- KIERZEK, R., G. GLOWACKI, S. KACZMAREK, 2008: Mechanical methods of weed control in winter oilseed rape. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* **53**, 138–140.
- LUTMAN, P.J.W., 2018: Sustainable Weed Control in Oilseed Rape. Boca Raton, DOI:10.1201/9781315155913.
- LUTMAN, P.J.W., J. SWEET, K. BERRY, J. LAW, R. PAYNE, E. SIMPSON, K. WALKER, P. WIGHTMAN, 2008: Weed control in conventional and herbicide tolerant winter oilseed rape (*Brassica napus*) grown in rotations with winter cereals in the UK. *Weed Research* **48** (5), 408–419, DOI:10.1111/j.1365-3180.2008.00643.x.
- MARCINKEVIČIENĖ, A., M. KEIDAN, R. PUPALIENĖ, R. VELIČKA, Z. KRIAUČIŪNIENĖ, L. MARIJA BUTKEVIČIENĖ, R. KOSTECKAS, 2020: Nonchemical Weed Control in Winter Oilseed Rape Crop in the Organic Farming System. In: *Organic Agriculture*. KUMAR DAS, S. (Hrsg.), IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.89775.
- NILSSON, A., A. LUNDKVIST, T. VERWIJST, M. GILBERTSSON, P.-A. ALGERBO, D. HANSSON, A. ANDERSSON, P. STÅHL, D.M. STENBERG, 2014: Integrated control of annual weeds by inter-row hoeing and intra-row herbicide treatment in spring oilseed rape, *Julius-Kühn-Archiv* **442**, 746-750, DOI:10.5073/jka.2014.443.094.
- PRIMOT, S., M. VALANTIN-MORISON, D. MAKOWSKI, 2006: Predicting the risk of weed infestation in winter oilseed rape crops. *Weed Research* **46** (1), 22–33, DOI:10.1111/j.1365-3180.2006.00489.x.
- WERNER, B., L. KÖHLER, G. WARNECKE-BUSCH, D.M. WOLBER, 2020: Strategien zum Herbizideinsatz in Winterraps in wassersensiblen Gebieten. *Julius-Kühn-Archiv* **464**, Tagungsband 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 3. - 5. März 2020, Braunschweig, 441–448, DOI:10.5073/JKA.2020.464.067.

Systeme zur mechanischen und mechanisch-chemischen Unkrautregulierung Winterraps (*Brassica napus* subsp. *napus*) - Versuche in Niedersachsen

*Mechanical and mechanical-chemical weed control in rape (*Brassica napus* subsp. *napus*) - trials in Lower Saxony*

Goßwinth Warnecke-Busch^{1*}, Markus Mücke²

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

²Landwirtschaftskammer Niedersachsen, FB Ökolandbau, Wunstorfer Landstraße 9, 30453 Hannover

* warnecke-busch@lwk-niedersachsen.de

DOI: 10.5073/20220124-073557

Zusammenfassung

In Niedersachsen nimmt der Einsatz mechanischer Verfahren seit einigen Jahren zu. Die Unkrautregulierung im Ökolandbau ist mit reihenunabhängiger Technik wie dem Zinkenstriegel oder der Sternrollhacke ein gängiges Verfahren, da diese Technik auf den Betrieben vorhanden ist. Sie hält jedoch auch auf den konventionell arbeitenden Betrieben Einzug. Seit dem Jahr 2020 untersucht, inwieweit auch der Raps in unterschiedlichen Entwicklungsstadien (BBCH 10 bis 16) auf den Einsatz mit dem Zinkenstriegel reagiert.

Die mechanische und mechanisch-chemische Unkrautregulierung mit Scharhacken in Verbindung mit können eine leistungsfähige Unkrautregulierung ermöglichen, wenn sie effektiv ins konventionelle System eingebunden werden. Dieses wird seit 2020 bei der LWK Niedersachsen untersucht. Neben der Bandspritztechnik ist auch der zusätzliche Einsatz von Fingerhacke und Häufelschaar zur Unkrautregulierung innerhalb der Kulturpflanzenreihe untersucht worden.

Stichwörter: Bandspritzung, Hackmaschine, mechanische Unkrautbekämpfung, mechanisch-chemische Unkrautbekämpfung, Striegel

Abstract

In Lower Saxony, the use of mechanical processes has increased in recent years. Weed control in organic farming is a common method with row-independent technology such as the tine harrow or the star hoe, as this technology is available on the farms. However, it is also finding its way into conventionally working farms. Since 2020, we have been investigating the extent to which oilseed rape in different stages of development (BBCH 10 to 16) also reacts to being used with the tine harrow.

The mechanical and mechanical-chemical weed control with coulter hoes in connection with can enable a powerful weed control if they are effectively integrated into the conventional system. This has been investigated at the Lower Saxony LWK since 2020. In addition to the tape spraying technique, the additional use of finger hoes and ridging plough to regulate weeds within the crop row has also been investigated.

Keywords: comb harrow, hoe, mechanical weed control, mechanical and mechanical-chemical weed control

Einleitung

In Niedersachsen nehmen Resistenzen gegen Herbizide bei Gräsern einkeimblättrige und vereinzelt auch bei zweikeimblättrigen Unkräutern deutlich zu, sodass auch im konventionellen Anbau über die Integration mechanischer Verfahren nachgedacht werden muss. Weiterhin fallen immer mehr Wirkstoffe zulassungsbedingt wegerhalten immer mehr Wirkstoffe keine erneute Zulassung oder ein Verzicht bzw. eine Reduktion wird in Wasserschutzgebieten vertraglich geregelt.

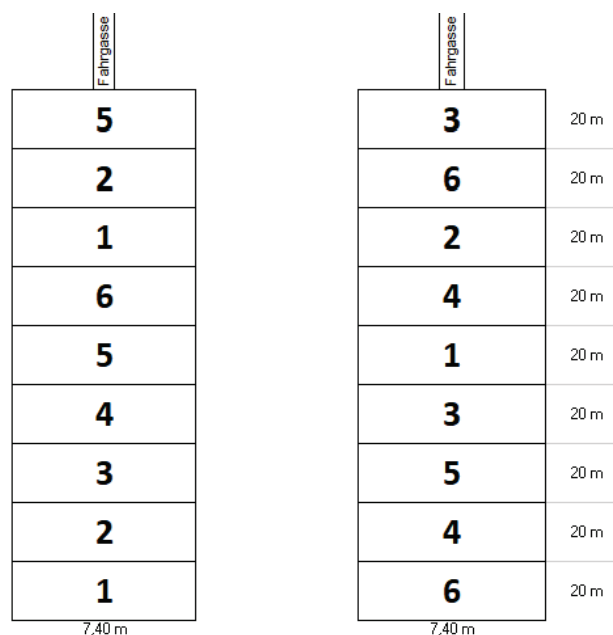
Im Ökolandbau dürfen unter anderem vorbeugende, mechanische oder thermische Unkrautregulierungsverfahren eingesetzt werden. Allerdings spielte der Öko-Rapsanbau bislang nur eine geringe Rolle. Aufgrund einer deutlich zunehmenden Nachfrage von Verarbeitern steigen immer mehr Ökobetriebe in den Rapsanbau ein. Hier stellt sich die Frage welche mechanischen Unkrautregulierungsverfahren im Öko-Winterrapsanbau möglich sind.

Eine Möglichkeit der Reduktion von Herbiziden im konventionellen Rapsanbau bietet die mechanische und mechanisch-chemische Unkrautregulierung mit Scharhacken in Verbindung mit Bandspritzeinrichtung. Moderne, kameragesteuerte Scharhacken mit Bandspritzeinrichtung können eine leistungsfähige Unkrautkontrolle ermöglichen, wenn sie effektiv ins konventionelle System eingebunden werden. Dieses wird seit 2020 bei der LWK Niedersachsen untersucht. Neben der Bandspritztechnik ist auch der Einsatz von Fingerhacke und Häufelscharen zur mechanischen Unkrautkontrolle innerhalb der Kulturpflanzenreihe untersucht worden. 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 auf den Betrieben vorhanden ist.

Material und Methoden

Striegelversuch

Der Versuch wurde in Niedersachsen auf Löß-Lehmstandorten (Ackerzahl 80) in der Region Hildesheim auf einer Praxisfläche eines Landwirtes angelegt. Die Reihenweite des ausgesäten Rapses betrug 45 cm. Der Versuch zum Einsatz des Striegels wurde mit einem Treffler Präzisions-Zinkenstriegel TS mit 7,7 m Abreitsbreite durchgeführt. Der Striegelversuch wurde als randomisierter Versuch mit drei Wiederholungen angelegt. In jeder Wiederholung gab es jeweils 4 Zählstellen, an denen die Anzahl Rapspflanzen je laufender Meter gezählt wurden. Gestriegelt wurde dabei in Särichtung mit zwei unterschiedlichen Einstellungen und Fahrgeschwindigkeiten. 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. Um den Einsatzpunkt des Striegels zu testen, wurde der Versuch jeweils zu 3 Terminen mit dem Striegel bearbeitet (Abb. 1): Im Keimblattstadium (BBCH 10), im Zweiblattstadium (BBCH 12), und im Vierblattstadium (BBCH 14). Nach Bonitur der Varianten 5 und 6 (Striegeln im Vierblattstadium) wurden diese Parzellen auch im Sechsbblattstadium (BBCH 16) gestriegelt.



Lfd. Nummer	Variante	Einstellung
1	BBCH 10 vom Raps	normal
2	BBCH 10 vom Raps	extrem
3	BBCH 12 vom Raps	normal
4	BBCH 12 vom Raps	extrem
5	BBCH 14 vom Raps	normal
6	BBCH 14 vom Raps	extrem

Abbildung 1 Versuchsaufbau zur mechanischen und mechanisch-chemischen Unkrautregulierung im Raps.

Figure 1 Experimental setup of mechanical weed control in oilseed rape.

Im Versuchsjahr 2020 (Abb. 2) betrug die Parzellenbreite der Längsparzellen 7,40 m und die Parzellenlänge 25 m. Die unbehandelten Kontrollen lagen in allen Jahren 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.

Hackversuch

Versuche zur mechanischen und mechanisch-chemischen Unkrautregulierung wurden mit einer 6-reihigen Hackmaschinen der Firma Schmotzer Typ KPP mit Verschieberahmen und angebauter Bandspritzeinrichtung durchgeführt. Das Gerät ist am Heck des Schleppers angebaut und wird manuell von einer zweiten Person manuell gelenkt. 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 (80 02E) applizieren. Das Spritzband hat eine Breite von ca. 12 – 20 cm, je nach Entwicklungsstand der Kulturpflanze. Ein Vorratsbehälter für die Spritzflüssigkeit ist auf der Hackmaschine angebracht. Im Reihenzwischenraum arbeiten jeweils drei 16 cm Gänsefuß-Hackschaare zur Unkrautregulierung. Jede Kulturpflanzenreihe wird mittels zwei, jeweils rechts und links entlang der Reihen laufender Zahnschutzrollen vor Erd- und Klutenwurf geschützt.

Die Versuche zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung in Raps wurden mit jeweils 5 Varianten durchgeführt. Die Varianten 1-4 sind in Abb. 2 aufgeführt. Hinzu kommt noch eine unbehandelte Kontrolle.

Die Parzellengröße kann an die Bearbeitungsbreite auf der Praxisfläche angepasst werden. Die Breite einer jeden Parzelle der Varianten 1 bis 4 beträgt 9 m und die Parzellenlänge waren 25 m. Der Großversuch wurde mit 2 echten Wiederholungen angelegt. Zwischen den Wiederholungen befand sich jeweils ein 10 m

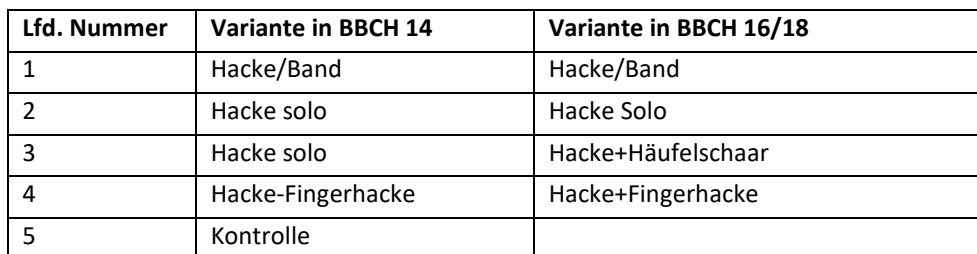


Figure 2 Experimental setup of mechanical and mechanical-chemical weed control in oilseed rape.

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 bestimmt. Eine Beerntung der Versuche fand nicht statt.

Ergebnisse Striegelversuch

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse striegeln mit „normaler Einstellung“ aus dem Versuchsjahr 2020 und Abb. 4 die „extreme Striegeleinstellung“. In beiden Einstellungen lagen die Verluste auf vergleichsweise hohem Niveau. Im Keimblattstadium (BBCH 10) hatte der Raps noch keinen sehr großen Wurzelballen ausgebildet und ist offensichtlich gut heraus zu striegeln.

Bei den aggressiver eingestellten Striegelvarianten „Striegel extrem“ (Abb. 4) konnten besonders bei den frühen Terminen (BBCH 10) mit 64 % Verlust der Rapspflanzen deutlich höhere Rapsverluste als in den Varianten „Striegel normal“ beobachtet werden. Hier betrug der Verlust der Rapspflanzen nur 32 %

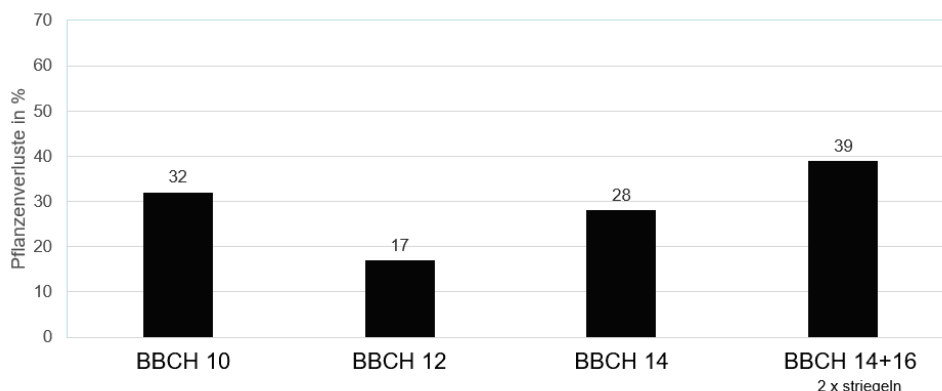


Abbildung 3 Ergebnisse der mechanischen Unkrautregulierung in Raps normale Einstellung des Striegels.

Figure 3 Results of the experiments in oilseed rape on mechanical weed control normal setting of the harrow.

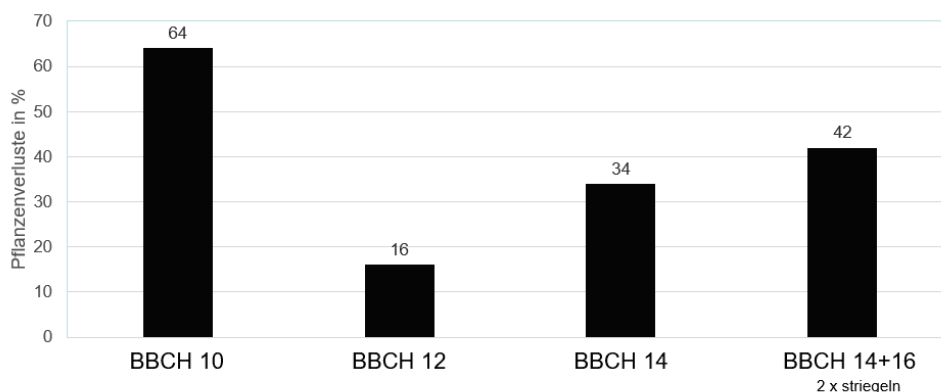


Abbildung 4 Ergebnisse der mechanischen Unkrautregulierung in Raps extreme Einstellung des Striegels.

Figure 4 Results of the experiments in rape on mechanical weed control extreme setting of the harrow.

Ergebnisse Hackversuch

Im Versuchsteil zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung in Raps wurden eine mechanisch-chemische Variante und drei Vergleichsvarianten mit Hacke plus mechanischer Unkrautregulierung der Unkräuter in der Kulturpflanzenreihe gegenübergestellt (Abb.5).

Der Versuch zeigte (Abb. 5), dass die konventionelle Variante mit zweifachem Bandspritzeneinsatz ohne Verunkrautung geblieben ist. Die Bandspritzdüsen befinden sich bei dem eingesetzten Gerät immer vor den Hackscharen. So werden die Blätter der behandelten Pflanzen erst mit dem Spritzmittelfilm behandelt und erst danach durch aufgewirbelten Bodestaub der Hackaggregate bedeckt. Das beeinträchtigt die Wirkung der Herbizide nicht, führt aber, nach Vorversuchen im Gewächshaus, zu einer um circa 2-4 Tage verzögerten Wirkung.

Die Variante 2 (Hacke solo) wies erwartungsgemäß eine hohe Verunkrautung in der Kulturpflanzenreihe auf, da diese nicht behandelt wurde. In Variante 3 konnten, nach Solohacken des Reihenzwischenraumes in BBCH 14 des Rapses, Häufelschaare in BBCH 16 des Rapses eingesetzt werden. Leider war der Verschüttungseffekt auf breites großgewachsenes Bingelkraut in der Kulturpflanzenreihe unzureichend. Am Ende wurde der Unkrautdeckungsgrad in dieser Variante mit 6 % bonitiert. Mit nur 2 % Unkrautdeckungsgrad in der Kulturpflanzenreihe schnitt der Zweimalige Einsatz der Fingerhacke in Variante

4 ab. Der Reihenzwischenraum wurde in allen Varianten durch die eingesetzten Hackaggregate optimal unkrautfrei gehalten.

In dem Hackversuch gab es keine Kulturpflanzenverluste. Die Fahrgeschwindigkeiten lagen bei 5 bis 7 km/h.

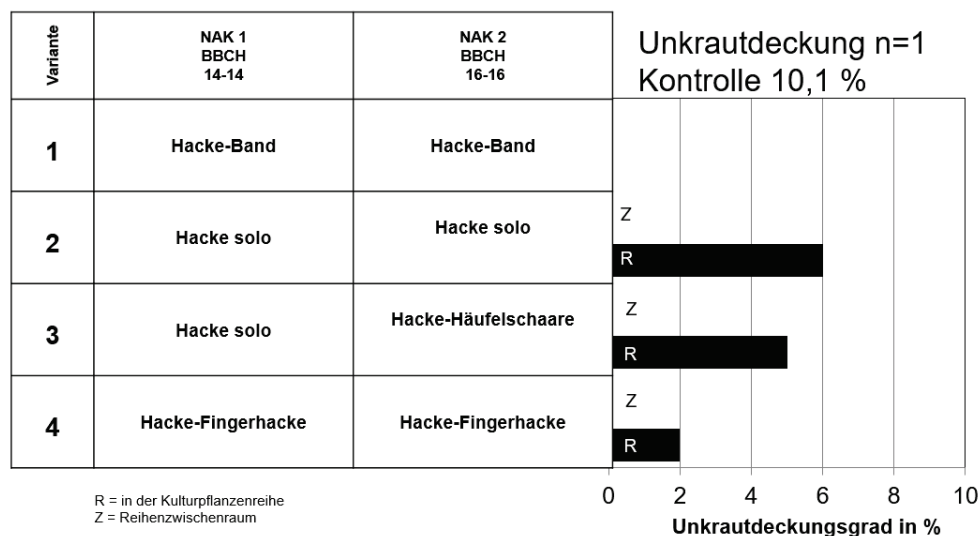


Abbildung 5 Ergebnisse der Versuche zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung mit Hackmaschinen plus Zusatzwerkzeuge in Raps

Figure 5 Results of the experiments on mechanical-chemical weed control with cultivators including additional tools in Rape.

Diskussion

Ein Striegeleinsatz in Raps kann ab dem BBCH 12 in die Unkrautregulierungsstrategie mit eingeplant werden. Wichtig ist, dass der Striegel kulturschonend eingestellt wird.

Am wirksamsten ist der Striegeleinsatz, wenn sich die Ungräser und Unkräuter im frühen Fädchen- bis Keimblattstadium befinden (BBCH 08-10). 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 schütffähig 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. 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 Scharhacke 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 erhöhen sich

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online wegen größerer Unkräuter die Aufwandmengen oder es müssen Splittingmaßnahmen durchgeführt werden, die zusätzliche Kosten verursachen.

Fazit

Der Zinkenstriegel kann und sollte in die Unkrautregulierungsstrategie, insbesondere im ökologischen Rapsanbau integriert werden. Dies sollte aber vorsichtig geschehen, da die Kulturpflanzenverluste im ersten Versuchsjahr höher waren als erwartet.

Mechanische und mechanisch-chemische Unkrautregulierung in konventionellen Rapsanbau 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 verschlammten Böden haben Striegel und Hacke jedoch deutliche Vorteile.

Eine Kostenersparnis für die Einbindung der mechanisch-chemischen Unkrautbekämpfung fällt eher spärlich aus, aber im Hinblick auf Herbizideinsparungen von 45 % wird die mechanische Unkrautregulierung zukünftig in der konventionellen Landwirtschaft vermehrt zu finden sein.

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.

PARISH, S., 1990: A Review of Non-Chemical Weed Control Techniques. Biological Agriculture & Horticulture **7**, 117-137 doi.org/10.1080/01448765.1990.9754540

Systeme zur Unkrautregulierung mit Hacke und Bandspritze in Zuckerrüben (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*) - Versuche in Niedersachsen

*Mechanical-chemical weed control in sugar beets (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*) with hoes in conjunction with a band spraying equipment - trials in Lower Saxony*

Goßswinth Warnecke-Busch*

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

*warnecke-busch@lwk-niedersachsen.de

DOI: 10.5073/20220124-073815

Zusammenfassung

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. Dieses wird seit dem Jahr 2016 bei der Landwirtschaftskammer Niedersachsen untersucht. Das „Kombigerät“ ist eine Kompromisslösung, denn Einsatzzeitpunkt und Staubentwicklung schmälern die Herbizidwirkung. Ein neuer Ansatz ist das „absetzige Verfahren“. Flächenspritzen als Bandspritze umgebaut behandeln die Kulturpflanzenreihe und der Reihenzwischenraum wird mit der Scharhacke gehackt. Die Bandspritzung mit einer Flächenspritze erfordert Genauigkeit beim Drillen und bei der Applikation. Die Abstände der Rübenreihen und der Düsen müssen aneinander angepasst werden.

Stichwörter: Bandspritzung, Hackmaschine, mechanische Unkrautbekämpfung, mechanisch-chemische Unkrautbekämpfung, Striegel

Abstract

One option for the reduction of herbicides in conventional sugar beet cultivation is weed control by mechanical and mechanical-chemical methods with camera-controlled hoes in conjunction with a band spraying equipment. Modern camera-controlled hoes with band spraying system can be an efficient weed control if they are effectively integrated into the conventional system. This has been examined by the Chamber of Agriculture Lower Saxony since 2016. The "combination machine" is a compromise solution, because the time of use and dust generation reduce the herbicidal effect. A new approach is the "drop-off procedure". Band spraying application with field-sprayers requires precision during drilling and application. The distances between the rows of beets and the nozzles must be adapted to one another.

Keywords: comb harrow, hoe, mechanical weed control, mechanical and mechanical-chemical weed control

Einleitung

In Niedersachsen nehmen Herbizidresistenzen bei Gräsern und auch bei Unkräutern deutlich zu, sodass auch im konventionellen Anbau über die Integration mechanischer Verfahren nachgedacht werden muss. *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* zeigen auf vielen Standorten bereits multiple Resistenzen gegen mehrere Wirkstoffgruppen (ALS- und ACCase-Hemmer). Darüber hinaus wurden bereits in den Jahren 2009 und 2010 in einem europäischen Monitoring 450 Proben von *Chenopodium album* auf die Punktmutation Ser264→Gly (HRAC-Gruppe C der Photosynthese-Hemmer) untersucht (KALFA, 2010). 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

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online in Wasserschutzgebieten vertraglich geregelt. Vor diesem Hintergrund werden seit 2016 Versuche zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben bei der Landwirtschaftskammer Niedersachsen durchgeführt.

Material und Methoden

Hackversuche

Versuche zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung wurden mit zwei 12-reihigen Hackmaschinen im Jahr 2016 und 2020-2021 sowie 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 am Heck des Schleppers angebaut und kameragesteuert. Die verwendeten Kameras (Claas Optitronic) sind in der Lage, ein bis zwei Kulturpflanzenreihen zu erkennen und die Maschinen über einen Verschieberahmen direkt zu steuern. Die Kameras erfassen die Kulturpflanzen ca. ab BBCH 12-14. Das System ist über einen Monitor direkt vom Fahrersitz aus bedienbar.

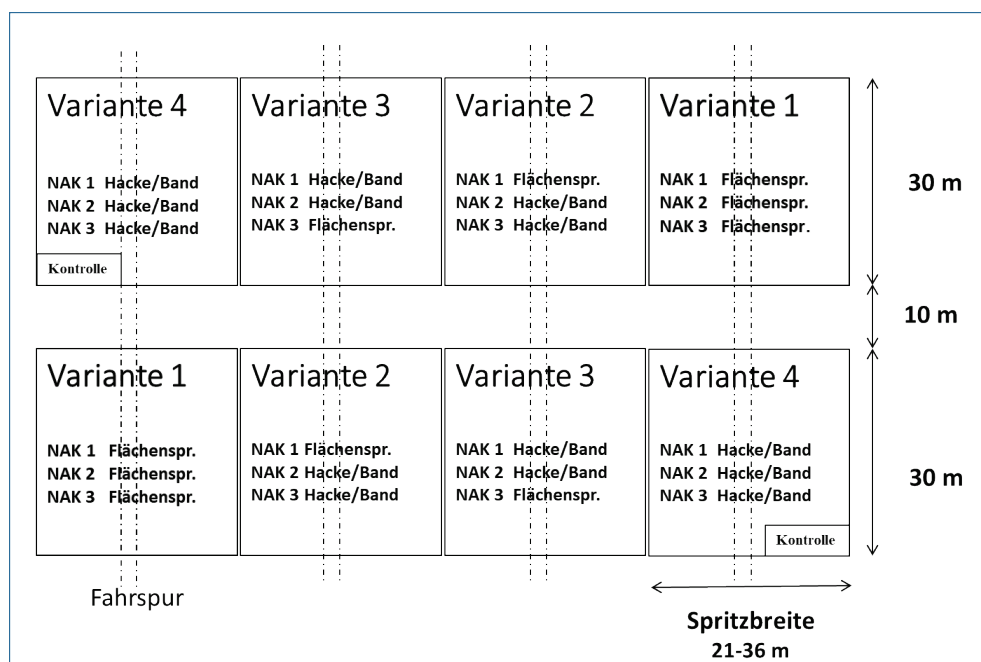


Abbildung 1 Versuchsaufbau zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben in den Jahren 2016 und 2019.

Figure 1 Plan of the experiments on mechanical-chemical weed control in sugar beet.

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 80 02 E (Schmotzer) oder zu beiden Seiten mit jeweils zwei asymmetrischen Düsen (Thyregod) applizieren. Das Spritzband ist an die Breite der Kulturpflanzenreihe angepasst und 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.

Die Versuche zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben wurden auf Praxisstandorten in Niedersachsen mit jeweils fünf Varianten durchgeführt. Die Varianten 1-4 sind in Abbildung 1 + 2 aufgeführt. Hinzu kommt noch eine unbehandelte Kontrolle.

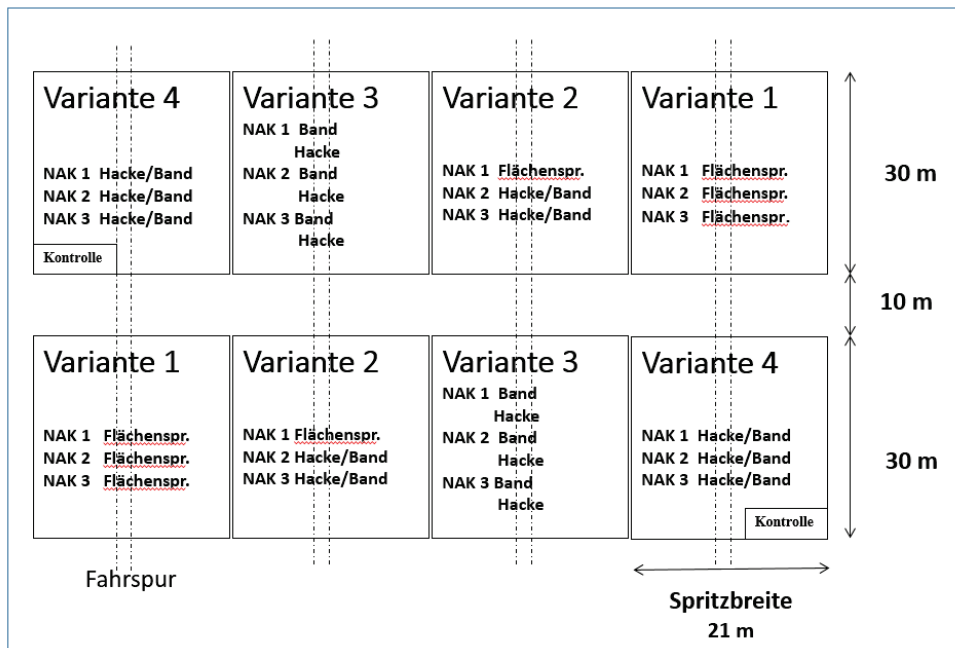


Abbildung 2 Versuchsaufbau zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben in den Jahren 2020 und 2021.

Figure 2 Plan of the experiments on mechanical-chemical weed control in sugar beet 2020 and 2021.

Da die Versuche mit praxisüblichen Großgeräten durchgeführt wurden, musste die Parzellengröße entsprechend angepasst werden (Abb. 1 + 2). 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 zwei 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 reguliert 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. Im Versuchsjahr 2020 und 2021 (Abb. 2) wurde eine absetzige Variante eingefügt. Die Varianten 1, 2 und 4 sind aus den vorigen Versuchsjahren beibehalten worden. In der Variante 3 sind Hacken und Bandspritzen auseinandergezogen worden. Die Hackmaßnahmen wurden mit der oben beschriebenen 12-reihigen Schmotzer Hacke-Bandspritze durchgeführt. Das Bandspritzen

wurde mit einem umgebauten 6 m breiten Rau Spritzgestänge durchgeführt. Das Gestänge war in der Fronthydraulik des Schleppers angebaut und mit Bandspritzdüsen 80 02 E versehen. Die Düsen wurden im Düsenstock auf eine Bandbreite von 20 cm verschränkt bei Düsenabstand von 45 cm voneinander und 10 bis 60 cm zur Zielfläche. Die Längssteuerung erfolgte manuell. 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

In dem Versuch zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben wurden eine konventionelle Variante und drei Vergleichsvarianten mit Hacke plus Bandspritzeinrichtung gegenübergestellt (Abb. 3).

Die drei Versuche aus dem Jahr 2016 (Abb. 3) 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 bleibt 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.

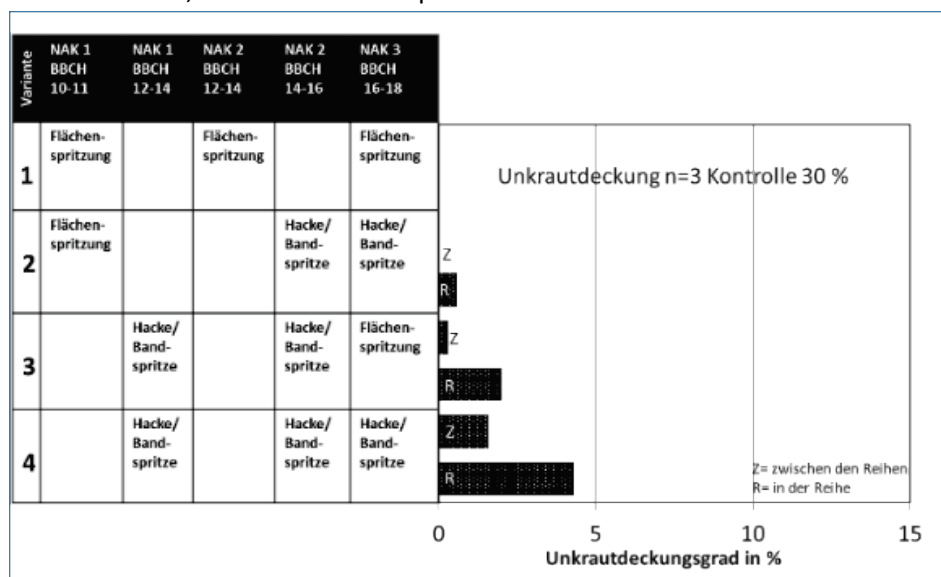


Abbildung 3 Ergebnisse der Versuche zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung mit Hackmaschinen plus Bandspritzeinrichtung in Zuckerrüben 2016.

Figure 3 Results of the experiments on mechanical-chemical weed control with cultivators including band sprayer in sugar beets 2016.

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.

Unser Versuch aus 2019 war auf einem Standort mit extrem hohem Unkrautdruck angelegt. 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. 4). 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.

Die Kulturpflanzenreihen der jeweiligen Varianten 2-4 (Abb. 4) wiesen eine deutlich schlechtere Unkrautregulierung auf. 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.

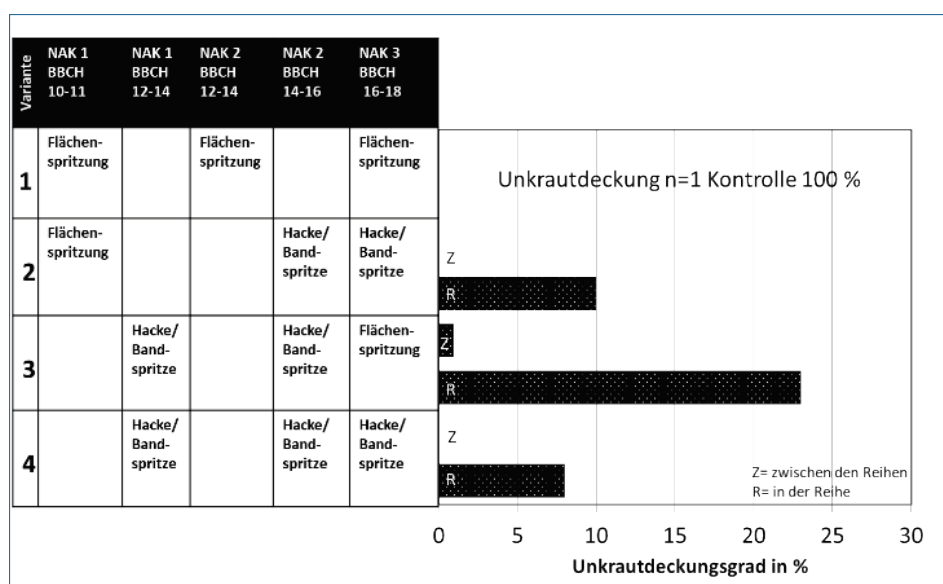


Abbildung 4 Ergebnisse der Versuche zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung mit Hackmaschinen plus Bandspritzeinrichtung in Zuckerrüben 2019.

Figure 4 Results of the experiments on mechanical-chemical weed control with cultivators including band sprayer in sugar beets 2019.

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.

In den Versuchsjahren 2020-21 wurden in Variante 3 (Abb. 2 + 5) ein neuer Ansatz, ist das „absetzige Verfahren“, untersucht. Die zur Bandspritze umgebaute Flächenspritze behandeln die Kulturpflanzenreihe

zu einem Zeitpunkt, der für die Unkrautbekämpfung optimal angesehen wird, früher als die Hackmaschine in den Bestand gefahren eingesetzt wird und auch zu optimaleren Tageszeiten. Der Reihenzwischenraum kann dann mit der Scharhacke gehackt werden, wenn sich der Boden optimal dazu eignet. Hierfür kann das Unkraut größer sein als zum Spritztermin.

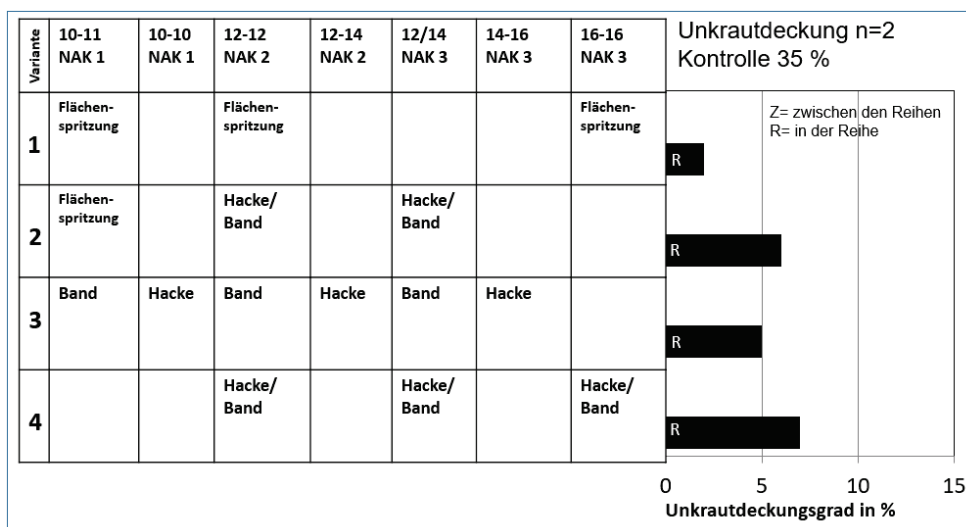


Abbildung 5 Ergebnisse der Versuche zur mechanisch-chemischen Unkrautregulierung mit Hackmaschinen plus Bandspritzeinrichtung in Zuckerrüben 2020 und 2021.

Figure 5 Results of the experiments on mechanical-chemical weed control with cultivators including band sprayer in sugar beets 2020 and 2021.

Diskussion

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 Neuaufbau von Unkräutern im gehackten Reihenzwischenraum verhinderte. In nassen Jahren mit viel Niederschlag, wie im Versuchsjahr 2021 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 20 cm Bandbreite auf 45 %. Die Gesamtkostenersparnis des mechanisch-chemischen Systems schrumpft in den letzten Jahren aufgrund der steigenden Maschinenkosten.

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. Optimale Spritztermine liegen in den frühen Morgenstunden oder spät am Abend, die Hackarbeiten werden besser ab dem Nachmittag durchgeführt. Um die Flächenleistung bei der Bandbehandlung dann zu steigern,

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
werden Systeme entwickelt, um ein Flächenspritzgerät - beispielsweise mit einer Gestänge- bzw. Arbeitsbreite von 27m für eine Bandbehandlung zu nutzen.

- Hacke-Band Beispiel

1 NAK BBCH 14	2. NAK BBCH 16	3.NAK BBCH 18
Belvedere Duo 1,25	Belvedere Duo 1,25	Belvedere Duo 1,25
<u>Metafol</u> 1,0	<u>Goltix</u> Titan 2,0	<u>Goltix</u> 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 Duo	30,40	114,00
4,0 l/ha	<u>Goltix</u> Titan	38,40	153,60
1,0 l/ha	<u>Metafol</u>	39,40	39,40
0,06 g/ha	Debut 0,6 + Trend 0,25	163,5/120g	81,75
0,5 l/ha	Hasten	11,70	5,85
	SUMME		394,60 €/ha

Tatsächliche Herbizidkosten bei Bandbreite 20 cm: 175,37 € + Maschinenkosten 3 x 70,- €/ha

KOSTEN GESAMT: 385,37 €

Stand Mai 2021

Abbildung 6 Kosten für die mechanisch-chemische Unkrautregulierung mit Hackmaschine plus Bandspritzeinrichtung in Zuckerrüben 2021.

Figure 6 Costs for mechanical-chemical weed control with cultivators including band sprayer in sugar beets 2021.

Voraussetzung dafür ist ein absolut ruhig geführtes (aktiv gesteuertes) Gestänge mit Abstandssensoren und RTK geführtem Lenksystem an der Feldspritze. Einige Hersteller bieten die Möglichkeit der Anpassung der Düsen (Abstände am Gestänge) an unterschiedliche Reihenweiten. Hinzukommen Düsen mit Spritzwinkeln von 30 bis 40 °, die auch Schmale Bandbreiten realisieren. Vorteil dieses absetzigen Systems ist, dass die Feldspritze oft auf den Betrieben vorhanden ist und zum optimalen Termin appliziert werden kann, auch wenn die Bodenverhältnisse noch keinen Hackdurchgang zulassen würden. Bei zu großer Nässe wächst herausgezogenes, nicht abgeschnittenes Unkraut aufgrund an den Wurzeln anhaftender Erde leicht wieder an. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, lässt sich mit diesem Verfahren auch in nassen Jahren die Unkrautwirkung in der Kulturpflanzenreihe des absetzigen Verfahrens im Vergleich zur Hacke-Bandspritze um ca. 30 % reduzieren.

Fazit

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 verschlammten Böden haben Striegel und Hacke jedoch deutliche Vorteile. Ohne den Striegeleinsatz im BBCH 00 - 12) kann die mechanisch-chemische Unkrautregulierung (vgl. Variante 2) eine sinnvolle Ergänzung im konventionellen System der Unkrautregulierung darstellen.

Eine Kostenersparnis für die Einbindung der mechanisch-chemischen Unkrautbekämpfung fällt eher spärlich aus, aber im Hinblick auf Herbizideinsparungen von 45 % wird die mechanische Unkrautbekämpfung zukünftig in der konventionellen Landwirtschaft vermehrt zu finden sein.

Literatur

EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANISATION (EPPO): EPPO-Richtlinie PP1/93(3) Weeds in cereals.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- 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.
- PARISH, S., 1990: A Review of Non-Chemical Weed Control Techniques. Biological Agriculture & Horticulture **7**, 117-137 doi.org/10.1080/01448765.1990.9754540

Systeme zur Unkrautregulierung mit dem Striegel in Zuckerrüben (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*) - Versuche in Niedersachsen

Mechanical weed control in sugar beets with comb harrow (Beta vulgaris subsp. vulgaris) - trials in Lower Saxony

Goßwinth Warnecke-Busch^{1*}, Markus Mücke²

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

²Landwirtschaftskammer Niedersachsen, FB Ökolandbau, Wunstorfer Landstraße 9, 30453 Hannover

*warnecke-busch@lwk-niedersachsen.de

DOI: 10.5073/jka.20xx.xxx.xxx (Formatvorlage Address_DOI – wird redaktionsseitig bearbeitet)

Zusammenfassung

Die Unternehmen Nord- und Südzucker bieten seit einigen Jahren auch den Bio-Zuckerrübenanbau an. 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.

Stichwörter: Mechanische Unkrautbekämpfung, Striegel

Abstract

Organic sugar beets have been offered for contract cultivation from Nord- und Südzucker since 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.

Keywords: Comb harrow, mechanical weed control

Einleitung

Die Rentabilität des Bio-Zuckerrübenanbaus hängt im Wesentlichen von dem Erfolg der Unkrautregulierung ab. Im Ökolandbau müssen ausschließlich vorbeugende und 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 dieses Beitrags ist, in wie weit die Zuckerrüben in unterschiedlichen Entwicklungsstadien (BBCH 10 bis 14) auf den Zinkenstriegel mit Pflanzenverlusten reagieren.

Material und Methoden

Die Versuche wurden in Niedersachsen auf Löß-Lehmstandorten (Ackerzahl 80) in der Region Hannover-Wolfenbüttel auf Praxisflächen von Landwirten angelegt und weitestgehend 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 Treffler Präzisions-Zinkenstriegel TS 320 (Arbeitsbreite 3 m) und im Versuchsjahr 2019 bis 2021 (Abb. 2 und 3) mit einem Treffler Präzisions-Zinkenstriegel TS 620 (Arbeitsbreite 7,4 m) durchgeführt. Die Striegelversuche sind 2017 und 2018 als Streifenversuch mit zwei echten und acht unechten Wiederholungen und im Jahr 2019 bis 2021 als randomisierter Versuch mit vierfacher Wiederholung angelegt worden. Der Striegel wurde dabei in Särichtung mit zwei unterschiedlichen Einstellungen und Fahrgeschwindigkeiten eingesetzt.

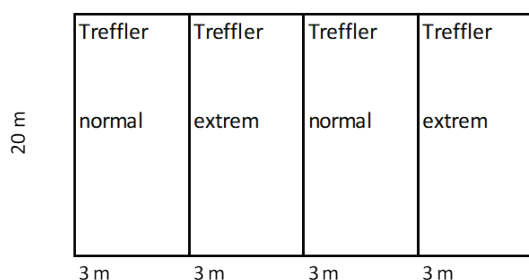


Abbildung 1 Versuchsaufbau zur mechanischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben in den Jahren 2017 und 2018.

Figure 1 Experimental setup of mechanical weed control in 2017 und 2018.

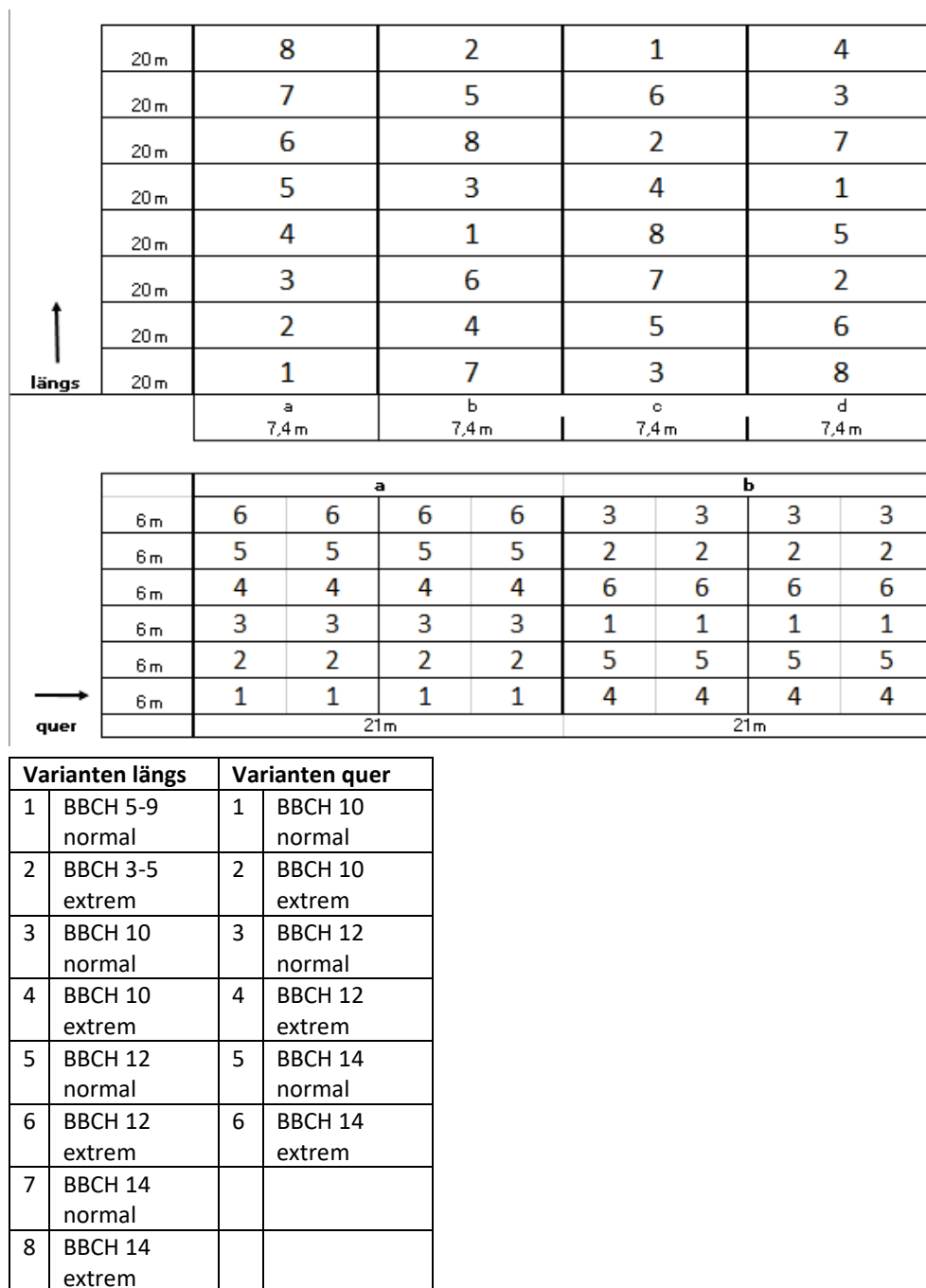
Ab dem Versuchsjahr 2018 kam der Zinkenstriegel zusätzlich quer zur Särichtung zum Einsatz. Um die Wirkung des Striegels auf die Kulturpflanzenverluste zu testen, wurden die Versuche jeweils zu drei bzw. vier Terminen mit dem Striegel bearbeitet (Abb. 2): Blindstriegeln (BBCH 03-05), Keimblattstadium (BBCH 10), Zweiblattstadium (BBCH 12), Vierblattstadium (BBCH 14) und in den Jahren 2016 und 2017 auch im Sechsbblattstadium (BBCH 16).

		a				b			
		24 m				24 m			
quer →	6 m	6	6	6	6	4	4	4	4
	6 m	5	5	5	5	2	2	2	2
	6 m	4	4	4	4	6	6	6	6
	6 m	3	3	3	3	1	1	1	1
	6 m	2	2	2	2	5	5	5	5
	6 m	1	1	1	1	3	3	3	3
		Wendebereich							
↑ längs		a		b		c		d	
	20 m	4	5	8	7	1	2	6	5
	20 m	3	6	2	1	7	4	2	8
	20 m	2	7	5	4	8	6	3	1
	20 m	1	8	3	6	5	3	7	4
		6 m	6 m	6 m	6 m	6 m	6 m	6 m	6 m

Varianten längs		Varianten quer	
1	BBCH 5-9 normal	1	BBCH 10 normal
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 12 normal	5	BBCH 14 normal
6	BBCH 12 extrem	6	BBCH 14 extrem
7	BBCH 14 normal		
8	BBCH 14 extrem		

Abbildung 2 Versuchsaufbau zur mechanischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben im Jahr 2019.

Figure 2 Experimental setup of mechanical weed control in 2019.

**Abbildung 3** Versuchsaufbau zur mechanischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben im Jahr 2020-21.**Figure 3** Experimental setup of mechanical weed control in 2020-21.

Da beim Präzisions-Zinkenstriegel der Firma Treffler die Aggressivität der Zinken einzeln sehr 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.

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 Quersparzellen 6 m breit und 24 m lang (Abb. 2). In den Versuchsjahren 2020 und 2021 (Abb. 3) betrug die Parzellenbreite der Längsparzellen 7,40 und die Parzellenlänge 20 m. Die Quersparzellen waren 7,40 breit und 21 m lang. Die unbehandelten Kontrollen lagen in allen Jahren 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.

Ergebnisse

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse des Blindstriegels in den Jahren 2017, 2019 und 2021. In beiden Striegeleinstellung lagen die Verluste in allen Versuchsjahren auf niedrigem Niveau nur die intensive Striegelvariante im Jahr 2019 fiel mit 29 Prozent sehr hoch aus. Die fünfjährigen Versuchsergebnisse im Nachauflauf (Abb. 5 - 8) zum Striegeleinsatz in Zuckerrüben zeigen, dass im frühen Keimblattstadium (BBCH 10) 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 Särrichtung (Abb. 7 und 8) ab. Es zeigte sich aber, dass auch hier die Zuckerrübe ab dem BBCH 12 eine gute Striegelverträglichkeit aufweist.

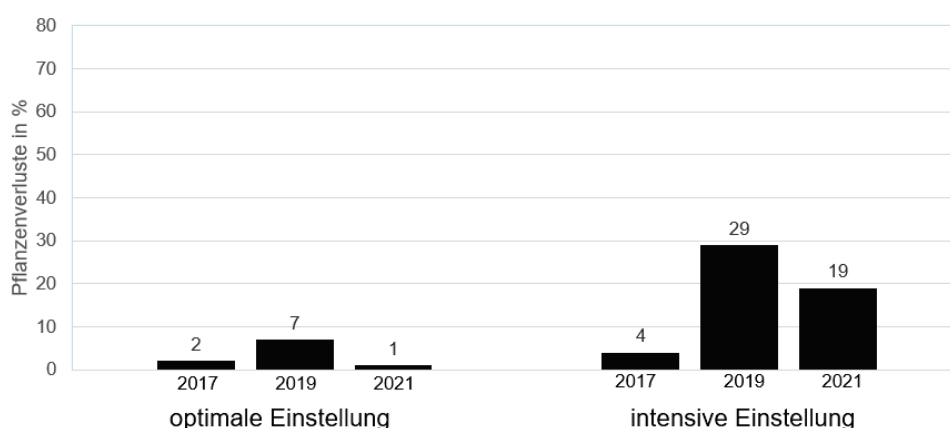


Abbildung 4 Ergebnisse der mechanischen Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben 2017-2021 Blindstriegeln.

Figure 4 Results of the experiments on mechanical weed control in sugar beet transverse 2017-2021.

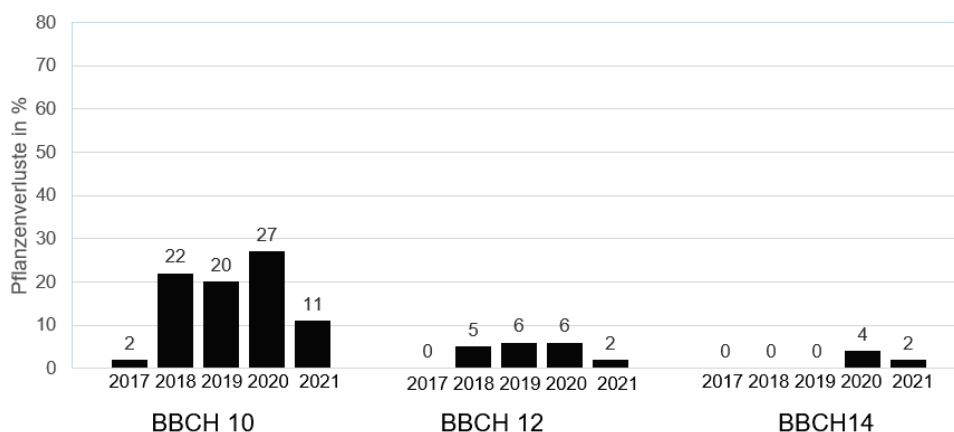


Abbildung 5 Ergebnisse der mechanischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben normale Einstellung 2017-2021.

Figure 5 Results of the experiments on mechanical weed control in sugar beet normal setting 2017-2021.

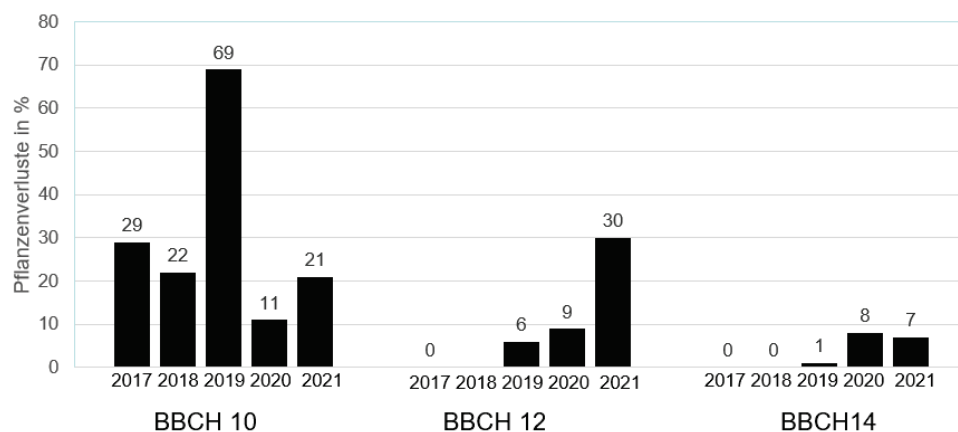


Abbildung 6 Ergebnisse der mechanischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben extreme Einstellung 2017-2021.

Figure 6 Results of the experiments on mechanical weed control in sugar beet extreme setting 2017-2021.

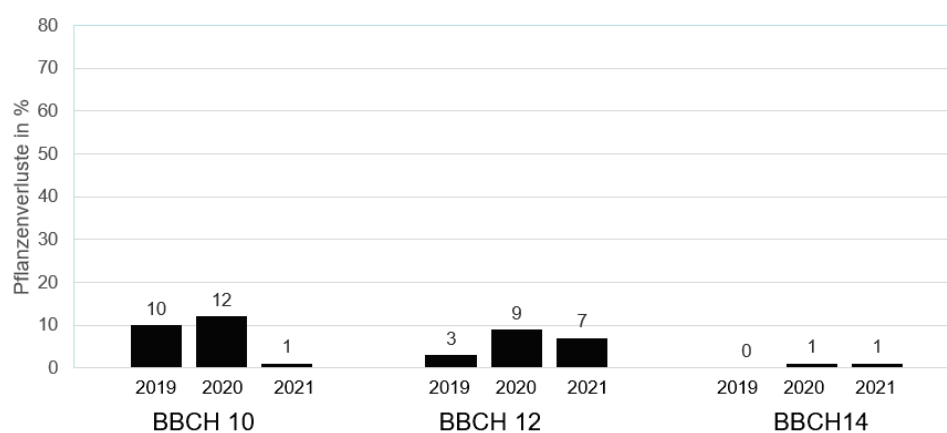


Abbildung 7 Ergebnisse der mechanischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben quer zur Fahrtrichtung normale Einstellung 2019-2021.

Figure 7 Results of the experiments on mechanical weed control in sugar beet transverse to direction of travel normal setting 2019-2021.

Bei den aggressiver eingestellten Striegelvarianten „Striegel extrem“ (Abb. 6 und 8) konnten besonders bei den frühen Terminen (BBCH 10) deutlich höhere Zuckerrübenverluste als in den Varianten „Striegel normal“ beobachtet werden.

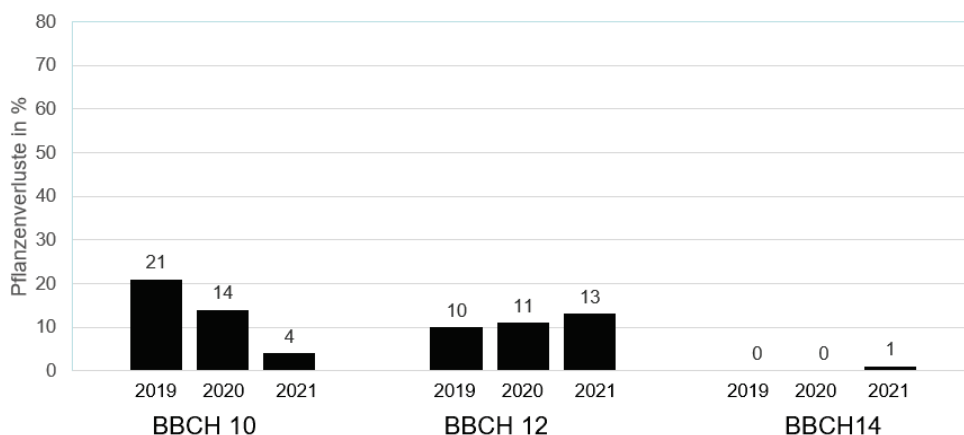


Abbildung 8 Ergebnisse der mechanischen Unkrautregulierung in Zuckerrüben quer zur Fahrtrichtung extreme Einstellung 2019-2021.

Figure 8 Results of the experiments on mechanical weed control in sugar beet transverse to direction of travel extreme setting 2019-2021.

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. 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 (BBCH 05-10) 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.

Fazit

Der Zinkenstriegel kann und sollte in die Unkrautregulierungsstrategie, insbesondere im ökologischen Zuckerrübenanbau integriert werden. Ein Einsatz im konventionellen Zuckerrübenanbau ist aber ebenso umsetzbar. Sowohl in als auch quer zur Särchtung 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.

Literatur

EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANISATION (EPPO): EPPO-Richtlinie PP1/93(3) Weeds in cereals.

MÜCKE, M., C. KREIKENBOHM, F. ROHLFING, 2019: Leitfaden Striegeleinsatz im ökologischen Getreidebau. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Hannover.

Sektion 9: Alternativen im Unkrautmanagement

Session 9: Alternative measures for weed control

Zwischenfrüchte als Ersatz für Glyphosat?

Catch crops as replacement for Glyphosat?

Günter Klingenhausen^{1*}, Stephan Grundmann², Martin Siekerkotte³, Natascha Droste⁴, Martin Grünewald⁴, Hermann Hanhart¹, Matthias Koch⁵, Michael Gersmann⁵

¹ Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Pflanzenschutzdienst, Münster

² Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Wasserkooperation, Lübbecke

³ Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Wasserkooperation, Essen

⁴ Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Pflanzenschutzberatung, Unna

⁵ Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Modellbetriebe, Warendorf/Brakel

* guenter.klingenhausen@lwk.nrw.de

DOI: 10.5073/20220124-074422

Zusammenfassung

In den Jahren 2018-2020 wurden auf verschiedenen Betrieben in Nordrhein-Westfalen zu verschiedenen Terminen unterschiedliche Zwischenfrüchte mit unterschiedlicher Saattechnik und mit unterschiedlichen Arten der Bodenbearbeitung gesät. Dies geschah nach Wintergetreide und vor den folgenden Sommerungen: Sommergerste (*Hordeum vulgare*), Zuckerrüben (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* convar.) und Mais (*Zea mays*).

Ziel war es, die verschiedenen Verfahren zu vergleichen und ihre Eignung im Hinblick auf Etablierungssicherheit, Unkrautunterdrückung und Absterbeverhalten zu untersuchen.

Wurde die Zwischenfruchtsaat zwei Wochen vor der Ernte in die Getreidebestände eingestreut, führte dies nur in einem von acht Versuchen zu einem guten Ergebnis. Ein gutes Ergebnis meint, dass die Zwischenfrucht andere Pflanzen ausreichend unterdrücken konnte. In den übrigen Versuchen lief die Zwischenfrucht nicht oder nur partiell auf.

Wurde die Zwischenfrucht direkt nach der Saat in den Boden geschlitzt stieg die Erfolgsquote. In 50 % der Fälle entwickelte sich über den größten Teil der Parzellen ein gleichmäßiger, konkurrenzstarker Bestand, der Ausfallgetreide und Unkräuter unterdrückte und einen weiteren Unkrautauflauf bis zum Ende des Winters verhinderte. Zudem starben die Bestände über Winter ab. Für die Saat der nachfolgenden Sommerfrüchte war nur eine flache Saatbettbereitung erforderlich. In den Trockenjahren (2018 und 2019) war deutlich zu sehen, dass die Keimrate von Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) deutlich besser war als die von Leguminosen (*Fabaceae*), Sonnenblumen (*Helianthus annuus*), Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) oder einkeimblättrigen Pflanzen. Unter den feuchteren Bedingungen in 2020 konnte die starke Empfindlichkeit von Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) gegenüber Bodenverdichtungen beobachtet werden. In den Fahrgassen waren aber auch andere Pflanzen selten in der Lage, den Aufwuchs von unerwünschten Pflanzen, wie Ausfallgetreide, zu verhindern. Die frühen Saattermine (Juli bis Anfang August) bedingten, dass Phacelia, Lein (*Linum usitatissimum*) und Buchweizen, vor Winter reife Samen ausbildeten. So kam es in den nachfolgenden Sommerungen zum Auflauf von Pflanzen aus den ausgefallenen Zwischenfruchtsamen. Waren die Ergebnisse nicht zufriedenstellend, konnten bei diesem Verfahren (Saat direkt nach der Saat), eine schlechte Spreuverteilung, ungünstige Feuchteverhältnisse, Bodenverdichtungen oder Mäusefraß als Ursachen ausgemacht werden.

Bei gleichem Saattermin aber mit vorheriger Bodenbearbeitung waren die Ergebnisse sehr eindeutig. In allen Fällen wurde die Keimung des Ausfallgetreides so stark angeregt, dass die Zwischenfrucht nicht mehr in der Lage war, das Ausfallgetreide ausreichend zu unterdrücken.

Beim letzten Verfahren wurde das Ausfallgetreide zunächst durch eine zwei- bis dreimalige Bodenbearbeitung bekämpft. Die Saat der Zwischenfrucht erfolgte vier bis sechs Wochen nach der Ernte des Getreides. Die Etablierung war in allen Fällen kein Problem. Mäusefraß spielte keine Rolle. Allerdings liefen bei diesem Verfahren, gemeinsam mit der Zwischenfrucht, auch Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) und Altraps (*Brassica napus*) auf. Diese Schlüsselunkräuter wurden, bei diesem Verfahren, nicht ausreichend unterdrückt.

Stichwörter: Glyphosat, Reduzierte Bodenbearbeitung, Saattermin, Zwischenfrüchte

Abstract

In the years 2018-2020 in North Rhine-Westphalia, a variety of catch crops has been tested with different seeding techniques at different farms and after different types of tillage. This took place after winter cereals, followed by spring crops. The spring crops were summer barley (*Hordeum vulgare*), sugar beet (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* convar.) or corn (*Zea mays*).

The aim was to compare the different seeding methods and investigate their suitability in regards to the establishing success, weed suppression and behaviour of dying-off during winter.

First procedure: Spreading the catch crop seeds in the standing cereal stand. This took place two weeks before cereal harvest and only in one of five trials led to a good result. A good result means that the catch crop was able to suppress other plants. In the rest of the tests, the catch crop did not or did only partially germinate.

Second procedure: Slitting the catch crop into the soil immediately after harvesting, the success rate rose to 50 %. This means on most parts of the test fields a homogenous, competitive plant stand developed that suppressed volunteer cereals and prevented further germination of weeds until the end of winter. In addition, the catch crop died over winter. Only a shallow tillage was necessary for the seeding of the following summer crop.

In dry years (2018 and 2019), it was measurable that the germination rate of phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) was higher than that of sunflowers (*Helianthus annuus*), legumes (*Fabaceae*), buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) or monocotyledonous plants. Under the more humid conditions in 2020, the high sensitivity of phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) to soil compression could be observed. Other plants were also unable to prevent the growth of undesirable plants, like volunteer grain in the tramlines. The early dates of seeding (July until beginning of August) resulted in the production of seeds of phacelia (*Phacelia tanacetifolia*), flax (*Linum usitatissimum*) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) before winter.

Therefore, in the following summer crop there was germination of the developed catch crop seeds. Reasons for an unsuccessful establishment of catch crops were poor distribution of chaff, unfavourable moisture conditions, soil compression or by mice damage.

Third procedure: Using the same date of seeding but tillage beforehand, the results were very clearly. In all cases, the germination of the volunteer grain was too high for the catch crop to suppress it.

Fourth procedure: The volunteer cereals were controlled first by two to three passes of tillage. The seeding of the catch crop took place four to six weeks after cereal harvest. It was no problem to establish the catch crop in any case. Mice damage was also not a problem. However, in this procedure germination of black grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) and volunteer oilseed rape (*Brassica napus*) occurred together with the germination of the catch crop. These key weeds were not suppressed sufficiently in this procedure.

Keywords: Catch crops, glyphosate, reduced tillage, sowing date

Einleitung

Vor dem Hintergrund, dass Glyphosat in Zukunft eventuell nicht mehr zur Verfügung steht, ging es darum Alternativen zu finden. Alternativen für Betriebe, die ihre Böden konservierend bearbeiten. Konservierend heißt, dass der Boden möglichst wenig bearbeitet wird. Die Intensität, mit der die Böden bei der konservierenden Methode noch bearbeitet werden ist unterschiedlich. Je nach Betrieb geht sie von intensiver Durchmischung mithilfe von Scheibeneggen und Grubbern, der sogenannten Mulchsaat, bis dahin, dass der Boden in Direktsaatsystemen nur durch die Aggregate der Sämaschine angeritzt wird. Das System der Direktsaat ist ohne Glyphosat kaum aufrecht zu erhalten. Unerwünschter Bewuchs kann derzeit nur mechanisch beseitigt werden, was wiederum eine Direktsaat zu einer Mulchsaat macht. Bei der Durchführung von Mulchsaaten wird Glyphosat besonders Ausgangs des Winters, vor der Saat von Sommerungen, gebraucht. Und hier besonders auf schweren, tonigen Böden, die im Frühjahr nur langsam abtrocknen und erst spät befahren werden können. Unter diesen Bedingungen sind mechanische Maßnahmen zumeist nicht geeignet, stark bestockte Ungräser oder Ausfallgetreide zu beseitigen. Die Zwischenfrucht hat die Aufgabe, Pflanzen, die in der Folgekultur nur schwer zu bekämpfenden sind, nicht aufkommen zu lassen. Gleichzeitig darf sie selbst, Ausgangs Winter, kein maßgebliches Hindernis für die Saat der neuen Kultur darstellen. Ziel der Versuche war es, Verfahren zu finden, bei der mithilfe der Zwischenfrucht, Pflanzen, die im Frühjahr einen Einsatz von Glyphosat oder eine intensive Bodenbearbeitung erforderlich machen, zu kontrollieren. Dieser Ansatz liegt den im Folgenden beschriebenen Versuchen zu Grunde.

Material und Methoden

Die Versuche wurden in den Jahren 2018 – 2020 auf verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben in Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Die Anlage der Vergleichsvarianten (A-D, siehe Tabelle 1) erfolgte als Streifenanlage mit der Technik, die auf den Betrieben vorhanden war. So kamen u.a. folgende Geräte zum Einsatz: Für die Bodenbearbeitung Tiefenlockerer, Scheibeneggen, Grubber, Federzinkeneggen und Kreiselgrubber. Für die Saat wurde die Horsch Avatar (Direktsaatdrille), Amazone Drillkombination mit Rotec-Einscheibenschar, Köckerling Ultima (Zinkensämaschine), Moore Unidrill (Direktsaatdrille), Claydon Hybrid (Striptill-Drillmaschine) und ein Pneumatikstreuer eingesetzt. Die Bodenarten, auf denen die Versuche durchgeführt wurden, variierten von Sand, lehmigem Sand, schluffigen, tonigen Lehm bis hin zum Tonboden. Als Zwischenfrüchte wurden u.a. folgende Pflanzen genutzt: Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*), Lein (*Linum usitatissimum*), Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*), Sonnenblumen (*Helianthus annuus*), Ramtillkraut (*Guizotia abyssinica*), Wicken- (*Vicia spec.*) und Kleearten (*Trifolium spec.*), Ackersenf (*Sinapis arvensis*), Ölrettich (*Raphanus sativus* var. *oleiformis*), Sorghumhirse (*Sorghum bicolor*), Rauhafer (*Avena strigosa*) und Weidelgräser (*Lolium spec.*). Teils als Einzelkomponenten, häufiger aber als Mischung.

Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 und 2 aufgeführt.

Tabelle 1 Ergebnisse der Zwischenfruchtversuche in Nordrhein-Westfalen aus den Versuchsjahren 2018/19 bis 2020/21**Table 1** Results of the catch crop trials in North Rhine-Westphalia from the years of trials, 2018/19 until 2020/21

Nr.	Jahr	Ort	Bodenart ¹	Vorfrucht ²	Zwischenfrucht	Saatverfahren ³ u. Bewertung ⁴				Glyphosat Ersatz ⁵
						A	B	C	D	
1	18/19	Porta Westfalica	sL	WT	<i>Phacelia tan.</i> u.a.	2				ja
2					<i>Lolium species</i>	6				nein
3					<i>Phacelia tan.</i> u.a.		2			ja
4					<i>Phacelia tan.</i> u.a.			5		nein
5					<i>Phacelia tan.</i> u.a.				3	ja
6	18/19	Essen	uL	WG	<i>Phacelia tan.</i> u.a.		2			ja
7				WG	<i>Avena strigosa</i>		5			nein
8				WW	<i>Phacelia tan.</i> u.a.		5			nein
9	19/20	Ibben- büren	S	WG	<i>Sinapis arvensis</i>		3			ja
10			sL	WW	<i>Phacelia tan.</i> u.a.	6				nein
11					<i>Trifolium repens</i>	6				nein
12					<i>Trifolium pratense</i>	6				nein
13			tL	WW	<i>Avena strigosa</i>				3	nein
14	19/20	Münster	S	WW	<i>Trifolium repens</i>	3				ja
15					<i>Trifolium pratense</i>	4				nein
16	19/20	Unna	IU	WW	<i>Trifolium repens</i>	6				nein
17	19/20	Anröchte	utL	WG	<i>Phacelia tanacetifolia</i>		4			nein
18					<i>Guizotia abyssinica</i>			4		nein
19									4	nein
20	19/20	Soest	uL	WG	<i>Phacelia tan.</i> u.a.		2			ja
21					<i>Brassicaceae</i>		2		2	ja
22	19/20	B. Driburg	T	WW	<i>Avena strigosa</i>				2	nein
23	19/20	Essen	uL	WG	<i>Phacelia tan.</i> u.a.		5			nein
24	19/20	Minden	sL	WW	<i>Phacelia tan.</i> u.a.		2			ja
25	19/20	Getmold	sL	WW	<i>Brassicaceae</i>		3			ja
26	19/20	Frotheim	S	WG	<i>Brassicaceae</i>				2	ja
27	19/20	Delbrück	S	WG	<i>Brassicaceae</i>				2	ja
28					<i>Brassicaceae</i>				5	ja
29	19/20	Soest	uL	WG	<i>Brassicaceae</i>				2	ja
30	19/20	Ochtrup	S	WG	<i>Brassicaceae</i>				2	ja
31	19/20	Merfeld	S	WG	<i>Brassicaceae</i>				4	nein
32	19/20	Fürsten- berg	tL	WW	<i>Phacelia tan.</i> u.a.		2			ja
33					<i>Phacelia tan.</i> u.a.				5	nein
34	19/20	Beckum	T	WW	<i>Vicia faba</i>		2			ja
Nr.	Jahr	Ort	Bodenart ¹	Vorfrucht ²	Zwischenfrucht	Saatverfahren ³ u. Bewertung ⁴				Glyphosat Ersatz ⁵
						A	B	C	D	
35	20/21	Düsseldorf	sL	Din- kel	<i>Phacelia tanacetifolia</i> ,		3			ja
36					<i>Guizotia abyssinica</i> ,			5		nein
37					<i>Trifolium alexandrinum</i>				2	ja
38	20/21	Sümmern	tL	WG	<i>Phacelia tanacetifolia</i> ,		5			nein
39					<i>Guizotia abyssinica</i> ,			3		nein
40					<i>Trifolium alexandrinum</i>				3	nein
41	20/21	Sümmern	tL	WW	<i>Phacelia tanacetifolia</i> ,		5			nein
42					<i>Guizotia abyssinica</i> ,			3		nein
43					<i>Trifolium alexandrinum</i>				3	nein
44	20/21	Frönden- berg	tL	WG	<i>Phacelia tanacetifolia</i> ,		4			nein
45					<i>Guizotia abyssinica</i> ,			5		nein
46					<i>Trifolium alexandrinum</i>				2	ja
47	20/21	Unna	uL	WW	<i>Phacelia tanacetifolia</i> ,		2			ja
48					<i>Guizotia abyssinica</i> ,			3		ja
49					<i>Trifolium alexandrinum</i>				2	ja
50	20/21	Porta- Westfalica	uL	WG	<i>Phacelia tanacetifolia</i> ,				1	ja
					<i>Trifolium alexandrinum</i>					

Erläuterungen zur Tabelle 1:

¹ Bodenarten: S = Sand, sL = sandiger Lehm, uL = schluffiger Lehm, utL = schluffig, toniger Lehm, tL = toniger Lehm, T = Ton² Kulturen: WG = Wintergerste (*Hordeum vulgare*), WW = Winterweizen (*Triticum aestivum*), WT = Wintertriticale (*Triticale*), Dinkel (*Triticum aestivum* subsp. *spelta*)³ Saatverfahren:

- A = Einstreuen der Zwischenfrucht zwei Wochen vor der Ernte

- B = Einschlitzten der Zwischenfrucht im Direktsaatverfahren bis wenige Tage nach der Ernte
- C = Saat zum gleichen Termin wie B, aber mit vorheriger Bodenbearbeitung. Saat dann in den meisten Fällen mit Kreiseleggen-Säkombination
- D = Klassisches Verfahren mit zweimaliger Stoppelbehandlung, zur Strohverteilung und Bekämpfung des Ausfallgetreides, Saat 4-6 Wochen nach der Ernte

⁴ Bewertung:

- Bewertung (optische Bonitur Ausgangs Winter) der Zwischenfrucht im Hinblick auf Unterdrückung von Ausfallgetreide und Unkraut, auf die Verhinderung von Auflauf mit Acker-Fuchsschwanz und Altraps und auf das Absterben über Winter
- Bewertung von 1 = sehr gut und 6 = sehr schlecht. Die Bewertung (Benotung von 1-6) ist eine Gesamtbewertung bei der die Unkrautunterdrückung (auch in den Fahrgassen), das Absterbeverhalten der Zwischenfrucht und mögliche Nachteile des Verfahrens (z.B. Samenbildung von Zwischenfrüchten) einfließen.

⁵ Glyphosatersatz = gibt an ob eine Saat der Frühjahrskultur ohne Glyphosat und ohne eine sehr intensive Bodenbearbeitung (mehr als 2 Arbeitsgänge mit Arbeitstiefen > 10 cm) möglich war.

Tabelle 2 Beobachtungen zu den Zwischenfruchtversuchen, siehe Tabelle 1

Table 2 Observations from the catch crop trial, see table 1

Nr.	Beobachtungen zu den Versuchen
1	Einstreuen der Zwischenfruchtmischung zwei Wochen vor der Ernte: Passender Regen nach dem Einstreuen der Zwischenfrucht. Guter Auflauf, vor allem von Phacelia. Konkurrenzstarker Bestand, gute Ausfallgetreideunterdrückung, kein Auflauf von Acker-Fuchsschwanz. Samenbildung von Zwischenfruchtkomponenten (Phacelia, Öllein) vor Winter. Ausgangs Winter war der Zwischenfruchtbestand braun und brüchig. Einsaat der Sommerung nach flacher Bodenbearbeitung möglich.
2	Einstreuen von Weidelgräser, zwei Wochen vor der Ernte: Gleiche Bedingungen wie bei Nr. 1. Dennoch so gut wie kein Auflauf. Am Saatgut hat es nicht gelegen, da es zu einem späteren Saattermin sehr gut gekeimt ist. Bei Temperaturen von größer 30°C war es evtl. für die Keimung zum frühen Termin zu warm.
3	Einschlitzten der Zwischenfrucht kurz nach der Ernte. Stroh verblieb auf dem Acker: Guter, gleichmäßiger Auflauf, vornehmlich von Phacelia. Bis auf die Fahrgassen konnte Ausfallgetreide gut unterdrückt und der Neuaufbau von Acker-Fuchsschwanz verhindert werden. Samenbildung der Zwischenfrucht vor Winter. Ausgangs Winter war der Zwischenfruchtbestand abgestorben. Einsaat der Sommerung ohne Bodenbearbeitung möglich.
4	Gleicher Saattermin wie bei Nr. 3. Durch die Bodenbearbeitung starker Auflauf vom Ausfallgetreide. Die Zwischenfrucht ist nur schwach aufgelaufen. Deutlich weniger Phacelia, dafür mehr Sonnenblumen. Keine ausreichende Unterdrückungsleistung. Ausgangs Winter waren stark entwickelte Horste von Triticale vorhanden. Saat der Sommerung nur nach intensiver Bodenbearbeitung möglich.
5	Das Ausfallgetreide wurde vor der Saat durch zwei Bodenbearbeitungsgänge mit Flach- und Tiefengrubber bekämpft. Guter gleichmäßiger Auflauf der Zwischenfrucht. Vornehmlich mit Phacelia. Gleichzeitig lief aber auch Acker-Fuchsschwanz auf. Dieser wurde nicht ausreichend unterdrückt. Die Ungraspflanzen waren im Frühjahr nicht zu üppig entwickelt und konnten auf dem milden Boden, im Frühjahr, auch mechanisch bekämpft werden.
6	Stroh abgefahren, drei Tage nach Saat, 15 kg/ha Viterra Raps, (Phacelia, Öllein und Alexandriner Klee. Sehr gleichmäßiger Bestand, Ausfallgetreide und Unkraut (<i>Chenopodium album</i>) wurden sehr gut unterdrückt. Zum Spätherbst hatten Phacelia und Öllein reife Samen gebildet. Phacelia ist über die Wintermonate noch aufgelaufen. Die Zwischenfrucht ist in sich zusammengegangen, war Ausgangs Winter braun und brüchig. Befall mit <i>Verticillium dahliae</i> war nicht zu beobachten. Die folgenden Rüben konnten nach einer nur flachen Bodenbearbeitung gelegt werden und sind auch gut und gleichmäßig gewachsen. In den Rüben kam es zu Aufwuchs von Phacelia und Öllein. Allerdings in nur geringem, nicht schadhaftem Ausmaß.
7	Zum gleichen Termin und mit dem gleichen Verfahren wie bei Nr. 6 wurde hier anstelle von Viterra Raps Rauhafer gesät. Der Auflauf war unzureichend. Evtl. war das Keimwasser nicht ausreichend.
8	Im Vergleich zum Einschlitzten nach Wintergerste lief die Zwischenfrucht nach Winterweizen deutlich schlechter auf und hat es nicht geschafft, das Ausfallgetreide ausreichend zu unterdrücken.
9	Einsaat der Zwischenfrucht mit einer Direktsaat-Scheibenscharmaschine. Das Stroh wurde abgefahren. Hinter dem Drescher starker Auflauf von Ausfallgetreide. Dieses Ausfallgetreide hat die Zwischenfrucht unterdrückt. Auf der übrigen Fläche war die Zwischenfrucht in der Lage das Ausfallgetreide zu unterdrücken. Die so früh aufgelaufene Gerste war aufgrund von Virus und Krankheitsbefall ausgangs Winter weitestgehend abgestorben.

Nr.	Beobachtungen zu den Versuchen
10 11 12	Einsaat, 2 Wochen vor der Ernte in lichten Weizenbestand (Abstand zwischen den Reihen von 18 cm). Keinerlei Auflauf (möglicherweise bedingt durch Mäusefraß).
13	Gleichmäßiger Auflauf, allerdings auch von Raps und Vogelmiere, die im Frühjahr besondere Bekämpfungsmaßnahmen erforderlich machten.
14 15	Einsaat vom Klee 2 Wochen vor der Ernte in eine Fläche, in der auch ein Herbizidversuch lag. Herbstherbizide hatten keinen Einfluss auf den Auflauf. Frühjahrsherbizide schon. So gut wie kein Auflauf in Varianten in denen die Wirkstoffe Iodosulfuron oder Thienicarbazone eingesetzt worden sind. Aber auch unabhängig vom Herbizideinsatz war der Auflauf über den Schlag hinweg sehr uneinheitlich und an vielen Stellen nicht ausreichend, um das Ausfallgetreide zu unterdrücken. Weißklee lief besser auf als Rotklee.
16	Klee (Weiß- und Rotklee) ist angegangen, dann aber vertrocknet.
17	Saat kurz nach der Ernte: Bedingt durch Bodenverdichtungen und Mäusefraß teilflächig kein Auflauf. An diesen Stellen stand im Frühjahr Acker-Fuchsschwanz.
18	Saat kurz nach der Ernte mit vorheriger Bodenbearbeitung: Guter gleichmäßiger Auflauf und Bestand, Ausfallgetreide war im Frühjahr vergangen, Acker-Fuchsschwanz nicht.
19	Saat 5 Wochen nach Ernte: Guter gleichmäßiger Auflauf und Bestand, Ausfallgetreide war vorab bekämpft. Acker-Fuchsschwanz ist mit der Zwischenfrucht aufgelaufen.
20	Saat kurz nach der Saat eingeschlitzt: Gleichmäßiger, guter Bestand. Standort mit wenig Acker-Fuchsschwanz.
21	Saat kurz nach der Saat eingeschlitzt: Gleichmäßiger, sehr guter, üppiger Bestand.
22	Der Zwischenfruchtbestand war sehr gut entwickelt und gleichmäßig, konnte aber den Acker-Fuchsschwanz, der auf diesem Standort sehr stark vertreten ist, nicht ausreichend unterdrücken. Auch wegen breitem Reihenabstand (Saat mit MZURI).
23	Saat mit Horsch Avatar, einige Tage nach der Ernte. Das Stroh wurde abgefahren. Direkt hinter dem Drescher schlechter Auflauf. Zudem Fehlstellen durch Mäusefraß.
24	Saat am 30.07.2019. Phacelia und Ramtillkraut, gute Strohverteilung, keine Bodenverdichtungen, Scheibenschar, Kreiselegge oben.
25	Saat am 27.07.2019 mit Köckerling Ultima. Guter Auflauf aber schwache Entwicklung (wenig Stickstoff).
26	Saat nach vorheriger Bekämpfung vom Ausfallgetreide. Gute Etablierung, kräftiger, gleichmäßiger Bestand.
27	Saat von Ackersenf und Ölrettich, schnelle Etablierung, guter Bestand gute Unkrautunterdrückung (<i>Chenopodium album</i>).
28	Verhältnisse wie bei 27. Saat von Mischung mit sieben Mischungspartnern. Im Vergleich zu 27 langsame Entwicklung, lichter Bestand, der <i>Chenopodium album</i> nicht unterdrücken konnte.
29	Sehr mächtiger Ölrettichbestand, der alles unterdrückt hat. Der Bestand selbst war Anfang April aber noch einen Meter hoch und vollkommen grün. Musste abgemulcht werden.
30	Guter, aber nicht abgefrorener Zwischenfruchtbestand, kein Unkraut oder Ungras. Es folgte Mais, so dass eine Bearbeitung mit einer Scheibenegge ausreichend war.
31	Zwischenfruchtbestand war gleichmäßig und ordentlich entwickelt, konnte aber ein Aufkommen von Storchenschnabel nicht unterbinden. Da Mais nach Gülle-Striptill gelegt werden sollte war eine mechanische Bekämpfung nicht möglich.
32	Rel. schwache Zwischenfrucht, aber kein Auflauf von Acker-Fuchsschwanz und Altraps. Geringer Auflauf vom Ausfallgetreide, dass über Winterweizen vergangen ist. Bis auf die Fahrgassen war die Saat der Sommerung nach flacher Bodenbearbeitung möglich.
33	Gleicher Schlag wie bei 32. Durch die Bodenbearbeitung ist noch weniger Zwischenfrucht aufgelaufen dafür sehr viel Acker-Fuchsschwanz und Altraps. Dieser erforderte im Frühjahr den Einsatz von Glyphosat.
34	Ackerbohnen mit Moore-Direktsaatdrille eingeschlitzt. Bestand etwas lückig, dennoch kein Ausfallgetreide. Evtl. durch Schnecken (sehr starker Besatz) beseitigt.
35	Direktsaat kurz nach der Ernte. Kein gleichmäßiger Auflauf aber dennoch wenig Ausfallgetreide.
36	Gleicher Schlag und Drilltermin wie bei 35, aber mit vorheriger Bodenbearbeitung. Dadurch sehr viel Auflauf von Ausfallgetreide und im Vergleich zu 35 schlechterer Auflauf der Zwischenfrucht.
37	Gleicher Schlag wie bei 35. Saat aber 5 Wochen nach Ernte und vorheriger Ausfallgetreidebekämpfung. Gleichmäßiger Auflauf, kaum Ausfallgetreide aber Altraps (3 Pflanzen je m ²).
38	Direktsaat kurz nach der Ernte: Schechter Auflauf/Bestand, bedingt durch Mäusefraß. Wenig Ausfallgetreide, über den Herbst und Winter aber Auflauf von Acker-Fuchsschwanz.
39	Gleicher Schlag und Saattermin wie 38. Durch die Bodenbearbeitung kein Mäusefraß aber Auflauf von Ausfallgetreide, Acker-Fuchsschwanz und Altraps.
40	Gleicher Schlag wie 38. Saat 5 Wochen nach der Ernte und vorheriger Ausfallgetreidebekämpfung. Guter, gleichmäßiger Bestand, wenig Ausfallgetreide aber Acker-Fuchsschwanz und Altraps. Kein Mäusefraß.

Nr.	Beobachtungen zu den Versuchen
41	Direktsaat kurz nach der Ernte: Schechter Auflauf/Bestand, bedingt durch Mäusefraß. Wenig Ausfallgetreide, über den Herbst und Winter aber Auflauf von Acker-Fuchsschwanz.
42	Gleicher Schlag und Saattermin wie 41. Durch die Bodenbearbeitung kein Mäusefraß, aber Auflauf von Ausfallgetreide, Acker-Fuchsschwanz und Altraps.
43	Gleicher Schlag wie 41. Saat 5 Wochen nach Ernte und vorheriger Ausfallgetreidebekämpfung. Guter, gleichmäßiger Bestand, wenig Ausfallgetreide, aber Acker-Fuchsschwanz und Altraps. Kein Mäusefraß.
44	Saat mit Claydon ohne vorherige Bearbeitung: Etwas späte Saat durch Niederschlag. Starker Druck durch Ausfallgerste. Phacelia tat sich bei leichten Bodenverdichtungen schwer.
45	Gleicher Schlag und Saattermin wie 44. Durch die Bodenbearbeitung wurde der Auflauf von Ausfallgerste noch verstärkt, zudem lief Altraps auf.
46	Gleicher Schlag wie 44. Saat nach vorheriger Ausfallgetreidebekämpfung. Guter, gleichmäßiger Bestand, wenig Ausfallgetreide/Acker-Fuchsschwanz aber etwas Altraps.
47	Direktsaat kurz nach der Ernte mit betriebsüblicher Scheibendillmaschine mit hydraulischem Schardruck: Bis auf die Fahrgassen/Spurbereiche war die Zwischenfrucht gut etabliert. Geringer Auflauf vom Ausfallgetreide.
48	Gleicher Schlag, Saattermin und Aussaattechnik (plus Kreiselegge) wie 47. Durch die Bodenbearbeitung stärkerer Auflauf von Ausfallweizen und Altraps.
49	Gleicher Schlag wie 47. Saat nach vorheriger Ausfallgetreidebekämpfung. Guter, gleichmäßiger Bestand, wenig Ausfallgetreide und auch wenig Altraps.
50	Mit Agrisem-Tiefenlockerer und Kreiselgrubber gesät. Absolut gleichmäßiger und einheitlicher Bestand auch an den Vorgewenden. Keine Chance für Unkraut oder Ausfallgetreide. Kein Acker-Fuchsschwanz - Standort.

Zusammenfassung der Daten:

Das Einstreuen der Zwischenfrucht zwei Wochen vor der Saat (Saatverfahren A) wurde 8x durchgeführt. Im Mittel liegt die Bewertung der Resultate bei 5 (mangelhaft). Nur in einem Fall war das Ergebnis so gut, dass vor der Saat der Folgekultur auf Glyphosat verzichtet werden konnte. Somit lag die Erfolgsquote bei 13 %. Erfolgreich bedeutet, dass die Saat der Sommerung ohne Glyphosat möglich war.

Die direkte Saat kurz nach der Ernte (Saatverfahren B) wurde 18x durchgeführt. Die Gesamtbewertung liegt bei 3 (befriedigend). Auf 9 Standorten also auf 50 % der Flächen konnte Glyphosat durch die Zwischenfrucht ersetzt werden.

Bei gleichem Saattermin wie bei der Direktsaat aber mit vorheriger Bodenbearbeitung (Saatverfahren C), konnte Glyphosat an keinem der 7 Versuchsstandorte ersetzt werden (Erfolgsquote = 17 %).

Wurde die Saat 4-6 Wochen nach der Ernte und nach zweimaliger Bodenbearbeitung durchgeführt (Saatverfahren D), war es in 11 von 18 Fällen möglich auf den Einsatz von Glyphosat zu verzichten. Dies entspricht einer Erfolgsquote von 61 %. Die Gesamtbewertung des Verfahrens lag bei 3 (befriedigend).

Betrachtet man die Bodenarten ergibt sich folgendes Bild: Auf den Sand- und milden Lehm Böden war nur in 6 von 19 Fällen ein Glyphosateinsatz erforderlich (Erfolgsquote von 68 %). Auf den tonigen Standorten konnte nur in 2 von 8 Fällen auf Glyphosat verzichtet werden (Erfolgsquote von 25 %).

Diskussion

Die konservierende Bodenbearbeitung hat besonders in Hanglagen und auf Tonböden viele Vorteile gegenüber der Bewirtschaftung mit dem Pflug. Das Verfahren ermöglicht es, dass Energie gespart, Humus erhalten und Erosion reduziert wird. Die Unkrautwirkung des Pfluges wird in diesem Verfahren durch Herbizide auf Basis von Glyphosat ersetzt.

Ein wichtiges Einsatzgebiet ist dabei die Beseitigung von unerwünschten Pflanzen vor der Aussaat einer Sommerung. Auf milden Lehm- oder auch Sandböden kann der Aufwuchs vor Früchten, die erst im April gesät werden (z.B. Mais), durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen gut beseitigt werden. Bei Früchten, die früh gesät werden (z.B. Ackerbohnen, Sommerhafer, Zuckerrüben), ist der Boden, in der Zeit der

Bestellung, für eine intensive Bearbeitung oft zu feucht. Auf Tonböden gelingt eine mechanische Bekämpfung von z. B. bestockten Acker-Fuchsschwanz-Pflanzen in den seltensten Fällen, also auch nicht vor der Saat von Mais. Auf diesen tonigen Standorten sind die vorhandenen Acker-Fuchsschwanz-Populationen häufig wenig empfindlich gegenüber selektiven Herbiziden (GEHRING et al., 2018, PETERSEN, 2014). Selbst in zweikeimblättrigen Kulturen ist eine sichere Bekämpfung oft nicht mehr gewährleistet. Da die mechanischen Möglichkeiten begrenzt sind, gilt es, das Problem mithilfe von Pflanzen zu lösen, die selbst kein Problem darstellen. Wichtig im Hinblick auf die Unterdrückung vom Acker-Fuchsschwanz ist dabei, dass die Zwischenfrucht in direktem Anschluss nach dem Drusch des Getreides und ohne Bodenbearbeitung erfolgt. Die frühe Saat ist zur Unterdrückung des Ausfallgetreides erforderlich. Die Saat ohne Bodenbearbeitung ergibt sich daraus, dass eine Bodenbearbeitung einen Auflauf von Acker-Fuchsschwanz aus dem Bodenvorrat provozieren würde. Zudem führt die Bearbeitung dazu, dass Acker-Fuchsschwanz-Samen, der zur Ernte des aktuellen Jahres ausgefallen ist, durch die Bodenbearbeitung in die sekundäre Keimruhe verfällt und dann über einen Zeitraum von mehr als 5 Jahren überdauern kann. Bleibt der Samen hingegen an der Bodenoberfläche, sind, nach den Ergebnissen von JENSEN (2009), mehr als 95 % der Samen, nach einem Jahr nicht mehr keimfähig. In weiteren Untersuchungen (2018) konnte er zeigen, dass die Keimfähigkeit bei offenliegenden Samen, bereits nach 8 Wochen (Anfang August bis Ende September) unter 5 % abgesunken ist. Hingegen lag die Keimfähigkeit von Samen, die in Bodentiefen von 2-10 cm lagerten bei gut 30 % im Jahr 2017 bzw. bei über 70 % im Jahr 2018. Samen, der im aktuellen Jahr ausgefallen ist befindet sich kurz nach der Ernte des Getreides zum überwiegenden Teil noch in der primären Keimruhe (HGCA, 2006). Diese Zeit der Keimruhe gilt es für die Saat der Zwischenfrucht zu nutzen. Grundlage für die Etablierung eines gleichmäßigen Zwischenfruchtbestandes ist eine gleichmäßige Stroh- und Spreuverteilung (HENNE et al., 2010). Ungünstig ist es wenn das Stroh geborgen werden soll. Dies nimmt Zeit in Anspruch und dort wo das Stroh fallen gelassen wird, kommt es zu einer Anhäufung von Spreu. Dies behindert die Keimung der Zwischenfrucht und lockt Mäuse an. Auch Schadverdichtungen, die z.B. durch Erntemaschinen produziert werden, verhindern, dass sich ein gleichmäßiger, konkurrenzstarker Bestand entwickeln kann. Besonders empfindlich gegenüber Bodenverdichtungen ist Phacelia. In dieser Hinsicht robuster zeigte sich z.B. Ölrettich. Ölrettich ist zudem sehr konkurrenzstark und kann Stickstoff gut ins Frühjahr tragen. Als Kreuzblütler ist Ölrettich in Fruchtfolgen, in denen Raps als Hauptfrucht angebaut werden soll, aber keine geeignete Alternative. Zudem stellen nicht abgestorbene Pflanzen ein Problem dar sofern Zuckerrüben oder Leguminosen folgen Die Bekämpfungsmöglichkeiten von Pflanzen, die auch aus der Wurzel wieder austreiben können sind schlecht bzw. nicht gegeben. Buchweizen und Ramtillkraut haben ebenfalls eine schnelle Jugendentwicklung. Nachteilig beim Buchweizen ist die rasche Samenbildung. Ramtillkraut kann als Zumischpartner hingegen mit geringen Samenanteilen genutzt werden. Allerdings stirbt Ramtillkraut bereits bei Temperaturen unter 4°C ab. Ist der Anteil in der Mischung zu groß, besteht die Gefahr, dass der Boden nicht mehr ausreichend beschattet wird. Ebenfalls sehr konkurrenzstark ist Rauhafer (BRUST und GERHARDS, 2012). Unter den trockenen Bedingungen in den Sommern 2018 und 2019 ist Rauhafer in unseren Praxistests nicht ausreichend aufgelaufen. Läuft er auf und friert über Winter nicht rechtzeitig ab, bilden sich, je nach Bestandesdichte, teils sehr üppige Wurzelballen, die die Saat der Frühjahrskultur erschweren. Trockenheit und Temperaturen > 30 °C sind grundsätzlich ungünstig für die Keimung von Gräsern. Dies zeigte sich im Sommer 2018 als Phacelia sehr gut, Weidelgras so gut wie nicht, und Sorghum auch nur zu einem geringen Anteil keimte. Phacelia hat sich über die Jahre und auf verschiedenen Standorten als geeignete Pflanze, besonders für die frühe Saat gezeigt. Pflanzen mit grobkörnigeren Samen wie Sonnenblumen, Erbsen, Ackerbohnen oder auch Wicken sind unter den trockenen Bedingungen der Jahre 2018 und 2019, bei der Saat kurz nach der Ernte, oft nicht ausreichend gekeimt. Eine größere Verlässlichkeit von Phacelia oder auch Ackersenf, gegenüber Komponenten wie Ackerbohne, Sommerwicke und Hafer wird auch von KWIATKOWSKI et al. (2016) beschrieben. Dies gilt für den Auflauf aber auch für die Unterdrückungsleistung gegenüber anderen Pflanzen. Auch in den

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

Ergebnissen von BRANT et al. (2009) konnte Ausfallgetreide in Konkurrenz mit Ackersenf oder Phacelia nur halb so viel Trockenmasse bilden wie neben Welschem Weidelgras (*Lolium multiflorum*) oder Raps.

Bei der Entscheidung ob in den jeweiligen Situationen auf den Einsatz von Glyphosat zu verzichten war spielte die Bodenart eine gewichtige Rolle. Auf Sand- und milden Lehmböden kann Restverunkrautung deutlich besser mechanisch bekämpft werden als dies bei tonhaltigen Böden der Fall ist.

Literatur

- BRANT, V., K. NECKAR, J. PIVEC, M. DUCHOSLAV, J. HOLEC, P. FUKSA, V. VENCLOVA, 2009: Competition of some summer catch crops and volunteer cereals in the areas with limited precipitation. *Plant Soil Environ*, **55**, 2009 (1), 17-24.
- BRUST, J., R. GERHARDS, 2012: Lopsided oat (*Avena strigosa*) as a new summer annual cover crop for weed suppression in Central Europe. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 257-264.
- GEHRING, K., S. THYSSEN, T. FESTNER, 2018: Stand und Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, *Julius-Kühn-Archiv* **458**, 113-120
- HENNE, U., C. PEKRUN, S. PFLAUM, 2010: Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz durch angepasstes Stoppelmanagement. *LOP Landwirtschaft ohne Pflug*, **9/10**, 19-25.
- HGCA PROJEKT, 2006: Improving crop profitability by using minimum cultivation and exploring grass weed ecology. Report No. **381**.
- JENSEN, P.K., 2009: Longevity of seeds of four annual grasses and two dicotyledon weed species as related to placement in the soil and straw disposal technique. *Weed Research* **49**, 592-601.
- JENSEN, P.K., 2018: Longevity of seeds of blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) following different stubble cultivation treatments. *Applied Crop Protection* 2018, 98-102.
- KWIATKOWSKI, C.A., E. HARASIM, M. WESOŁOWSKI, 2016: Effects of Catch Crops and Tillage Systems on Weed Infestation and Health of Spring Wheat. *J. Agr. Sci. Tech.* (2016) Vol. **18**, 999-1012.
<https://jast.modares.ac.ir/article-23-515-en.html>
- PETERSEN, J., 2014: Aktueller Stand der Herbizidresistenzen im Getreidebau. *Getreidemagazin*, Bd. **4.**, 8-12.

Potential von 'Harvest Weed Seed Control' zur Kontrolle von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.)

Potential of blackgrass (Alopecurus myosuroides Huds.) for Harvest Weed Seed Control

Lena Ulber

Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Braunschweig

lena.ulber@julius-kuehn.de

DOI: 10.5073/20220124-074645

Zusammenfassung

Die Reduzierung des Eintrages von Unkrautsamen in den Bodensamenvorrat durch Sammeln und Zerstören der Samen während der Ernte (Harvest Weed Seed Control; HWSC) stellt eine langfristige Strategie zur Verminderung des Unkrautbesatzes mit konkurrenzstarken und resistenzgefährdeten Unkrautarten wie *Alopecurus myosuroides* dar. Die Wirksamkeit von HWSC-Maßnahmen ist vor allem von der Höhe des Samenverbleibs an der Unkrautpflanze und der Höhe der verbleibenden Samen an der Pflanze zum Erntezeitpunkt abhängig. Auf drei Winterweizen-Flächen wurde daher bei *A. myosuroides* im Jahr 2020 der prozentuale Samenverbleib an der Pflanze zum Erntezeitpunkt bestimmt. Dabei konnte zum regulären Erntetermin ein Samenverbleib von 31-51 % festgestellt werden. Diese Unkrautart weist daher ein mittleres Potential für effiziente HWSC-Maßnahmen auf. Auf Standorten mit hohen *A. myosuroides*-Dichten sollte die Anwendung von HWSC aber dazu beitragen, den Sameneintrag in den Bodensamenvorrat nachhaltig zu reduzieren.

Stichwörter: Integrierte Unkrautkontrolle, Samenbank, Samenverbleib

Abstract

Reducing the entry of weed seeds into the soil seed bank by collecting and destroying seeds during harvest (Harvest Weed Seed Control; HWSC) is a long-term strategy for reducing weed populations of competitive and resistant-prone weed species such as *Alopecurus myosuroides*. A high efficacy of HWSC for reducing weed populations primarily depends on the extent of seed retention of the target species at the time of crop harvest. Seed retention of *A. myosuroides* was therefore determined on three winter wheat fields in 2020. At the regular harvest date, *A. myosuroides* showed a seed retention rate of 31-51%. This species therefore has a medium potential for efficient HWSC use. Nevertheless, on fields with high *A. myosuroides* densities, the use of HWSC can help to reduce seed-bank enrichment in the long term.

Keywords: Integrated weed control, seedbank, seed retention

Einleitung

Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) ist die in Deutschland am stärksten von Herbizidresistenz betroffene Unkrautart. So wurden bei *A. myosuroides* Resistenzen gegen verschiedene herbizide Wirkmechanismen beobachtet. In der Praxis sind bei der Bekämpfung in Wintergetreide derzeit vor allem Resistenzen gegen Acetyl-CoA-Carboxylase (ACCase)- und Acetolactat-Synthase (ALS)-Hemmer problematisch und in vielen Regionen bereits weit verbreitet. Die Art *A. myosuroides* weist eine hohe Konkurrenzskraft auf und kann im Winterweizen zu deutlichen Ertragseinbußen führen (Moss, 2013). Die Samenproduktion von *A. myosuroides* wird auf bis zu 2.000 Samen/Pflanze geschätzt, was bei einer unzureichenden Kontrolle von *A. myosuroides* zu einem starken Anstieg der Populationsdichte beitragen kann.

Politische und gesellschaftliche Forderungen nach einer Reduzierung des Einsatzes von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln und die fortschreitende Resistenzentwicklung bei Unkräutern wie *A. myosuroides* erfordern innovative Verfahren für eine nicht-chemische Unkrautkontrolle. Eine langfristige Strategie mit Innovationspotential stellt die Reduzierung des Eintrages von Unkrautsamen in den Bodensamenvorrat zur Reduzierung des Unkrautbesatzes einer Ackerfläche dar. Unterschiedliche Verfahren zur Reduzierung des Sameneintrages in den Boden wurden erstmals in Australien entwickelt, unter dem Begriff „Harvest Weed Seed Control“ (HWSC) zusammengefasst und in Australien bereits erfolgreich in der Praxis eingesetzt (WALSH et al., 2017). In den letzten Jahren wurde der praktische Einsatz des Verfahrens auch in den USA und Europa getestet. Eine entsprechende Technologie, die Unkräuter während des Erntevorgangs kontrolliert, wurde jedoch bisher in Deutschland nur begrenzt diskutiert und erprobt. Üblicherweise werden Unkrautsamen, die bei der Ernte in den Mähdrescher gelangen, zusammen mit dem Kaff (Spreu und kleinere Strohteile) gleichmäßig über das Feld verteilt. Zusammen mit den vor der Ernte ausgefallenen Unkrautsamen tragen sie so zu einem erhöhten Unkrautauflauf in den Folgekulturen bei. Da sich bei vielen Unkrautpflanzen die Samen oberhalb der üblichen Erntehöhe von 15 cm befinden, ist potentiell ein Auffangen und Zerstören der Samen bei der Ernte möglich (WALSH et al., 2018). Ziel von HWSC ist das Sammeln und Zerstören von Unkrautsamen während der Ernte, um den Eintrag von keimfähigen Samen in die Bodensamenbank zu reduzieren. Dies kann zu einer nachhaltigen Reduzierung des Unkrautbesatzes einer Ackerfläche beitragen (GALLANDT, 2006) und die Notwendigkeit der (chemischen) Unkrautkontrolle in der Folgefrucht reduzieren. Eine Möglichkeit von HWSC ist die mechanische Zerstörung der Unkrautsamen bzw. deren Keimfähigkeit durch Hammer-Mühlen oder axiale Rotoren, die im hinteren Teil des Mähdreschers integriert sind (SHERGILL et al., 2020). Derzeit sind weltweit verschiedene Aggregate für diesen Zweck verfügbar. Für den deutschen Markt hat die Firma Zürn im Jahr 2020 erstmals den Vertrieb des Seed Terminator®-Aggregates übernommen, das mit verschiedenen Mähdreschertypen kombiniert werden kann. Zudem ist die Seed Control Unit des Herstellers Redekup für bestimmte John Deere-Mähdrescher verfügbar.

Studien aus Australien und den USA zeigen für die in Mähdreschern integrierbaren HWSC-Geräte eine hohe und zuverlässige Wirksamkeit bei der Zerstörung der Unkrautsamen. Durch den Einsatz einer HWSC-Mühle konnten beispielsweise 86-100 % der Samen verschiedener Unkrautarten zerstört werden (WALSH et al., 2012; SCHWARTZ-LAZARO et al., 2017; SHERGILL et al., 2020) und der Auflauf von Unkräutern in der Folgekultur um bis zu 70 % reduziert werden (BEAM et al., 2019).

Für einen hohen Wirkungsgrad von HWSC-Maßnahmen ist primär eine hohe zum Zeitpunkt der Ernte noch an der Unkrautpflanze vorhandene Samenmenge relevant. So ist die große Akzeptanz des HWSC-Systems in Australien (43 % der Landwirte nutzen HWSC, (WALSH et al., 2017)) vor allem auf den langen Verbleib der Samen an den dominanten Ungrasarten wie z.B. *Lolium rigidum* Gaud. zurück zu führen, bei denen sich bei der Ernte noch 77-99 % der Samen an der Pflanze befinden (WALSH und POWLES, 2014). Für die in Deutschland relevanten Unkrautarten fehlen bisher entsprechende Daten zum Samen-Verbleib, so dass das Potential von HWSC-Maßnahmen derzeit nicht abzuschätzen ist. Für *A. myosuroides* ist beispielsweise aus älteren Untersuchungen von KAMPE (1975) und KOCH (1968) lediglich bekannt, dass der Samenausfall in Deutschland Ende Juli erfolgt und damit ca. ein bis zwei Wochen vor der Ernte.

Ziel dieser Untersuchungen war daher die Quantifizierung des artenspezifischen Samen-Verbleibs zum Erntezeitpunkt von Winterweizen bei *A. myosuroides*, um die Effizienz von HWSC-Maßnahmen zur Ackerfuchsschwanz-Kontrolle besser einschätzen zu können.

Material und Methoden

Quantifizierung des Samenausfalls bei *A. myosuroides* über die Vegetationszeit

Die Versuche zum Samen-Verbleib wurden im Jahr 2020 auf drei Winterweizen-Flächen im Raum Braunschweig durchgeführt. Alle Flächen wiesen auch nach der Frühjahrs-Applikation von Herbiziden hohe *A. myosuroides*-Dichten auf (Tab. 1). Die Sortenwahl, Aussaat und Bewirtschaftung der Flächen erfolgte betriebsüblich. Auf jeder Fläche wurden im Mai 2020 acht Versuchspartzellen mit einer Größe von 0,25 m² angelegt und die *A. myosuroides*-Pflanzendichte zu Versuchsbeginn bestimmt.

Um die Menge der ausfallenden Samen in den Partzellen über die Vegetationszeit zu quantifizieren wurden Streifen aus wasserdurchlässigem Vlies zwischen den Weizenreihen ausgelegt und fixiert (Abb. 1). Die ausgefallenen Samen wurden ab dem Zeitpunkt der Samenreife bis zur Ernte in einem Abstand von 6-8 Tagen mit Hilfe eines Akku-Saugers mit einem Filteraufsatz für Kleinteile (separater Aufsatz „Catch Up“) von dem Vlies entfernt. Bei nasser Witterung wurde das Absaugen der Vliesstreifen um max. 2 Tage verschoben. Die Proben wurden im Anschluss gereinigt und dabei Samen anderer Unkrautarten und anderer Fremdbesatz heraus sortiert.

Um den Einfluss des Erntetermins auf den Samen-Verbleib am Halm zu quantifizieren wurden vier der acht Partzellen ca. zwei Wochen vor dem geplanten Erntetermin (frühe Ernte, Mitte Juli) und vier Partzellen zum betriebsüblichen Erntetermin (reguläre Ernte, Ende Juli/Anfang August) geerntet. Vor der Ernte erfolgte jeweils noch eine letzte Entnahme der Samen vom Vlies. An den beiden Ernteterminen (früh/regulär) wurden die Weizen- und *A. myosuroides*-Pflanzen auf einer Höhe von 15 cm per Hand abgeschnitten. Die noch in den abgeschnittenen Proben befindlichen *A. myosuroides*-Samen wurden heraus sortiert und als zum Erntezeitpunkt an den *A. myosuroides*-Pflanzen verbleibende Samen gewertet.



Abbildung 1 Vliesstreifen in Winterweizen zum Auffangen der ausfallenden Unkrautsamen im Mai 2020.

Figure 1 Plastic fleece strips in winter wheat to recover shed weed seeds in May 2020.

Insgesamt wurden in den Partzellen mit regulärem Erntetermin über die gesamte Versuchsperiode an 5-6 Zeitpunkten durch Absaugen der Vlies-Streifen *A. myosuroides*-Samenproben gesammelt. In den frühen Partzellen erfolgte die Probenahme abhängig vom genauen Zeitpunkt des frühen Erntetermins an 3-4 Zeitpunkten. Alle *A. myosuroides*-Proben wurden gereinigt, gewogen und die Anzahl der Samen separat für jede Versuchspartzelle und Probezeitpunkt bestimmt.

Die statistischen Auswertungen (ANOVA) erfolgte mit der Softwareumgebung R (R CORE TEAM, 2020). Der post-hoc Turkey-Test wurde verwendet, um Unterschiede hinsichtlich der Samenanzahl zwischen den Probezeitpunkten, Ernteterminen und Standorten zu prüfen.

Ergebnisse und Diskussion

Zu Beginn des Versuches wiesen die drei Versuchsflächen *A. myosuroides*-Dichten von 29,5-58,0 Pflanzen/m² auf (Tab. 1).

Tabelle 1 *A. myosuroides*-Pflanzendichte (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung) zu Beginn des Versuches im Mai 2020 an drei Standorten

Table 1 Density of *A. myosuroides* plants (mean $\pm$ standard deviation) at the start of the trial in May 2020 at three field locations

Standort	Mittlere <i>A. myosuroides</i> -Pflanzendichte (Pflanzen/m ²)
Schöppenstedt	58,0 ($\pm$ 15,71)
Grauhof	37,0 ($\pm$ 13,30)
Langelsheim	29,5 ($\pm$ 5,63)

Samenausfall bei *A. myosuroides* vor der Ernte des Winterweizens

Der Ausfall der *A. myosuroides*-Samen begann an allen drei Versuchsstandorten Ende Juni 2020 (Fig. 2).

Die wöchentliche Anzahl der vor der Ernte ausgefallenen Samen unterschied sich an den jeweiligen Standorten zwischen den Probeterminen, es konnten aber nur für einzelne Termine signifikante Unterschiede in der ausgefallenen Samenmenge nachgewiesen werden.

Samenverbleib bei *A. myosuroides* zum Erntetermin des Winterweizens

Zum frühen Erntetermin ca. zwei Wochen vor dem praxisüblichen, regulären Erntetermin war die Anzahl der noch an den *A. myosuroides*-Pflanzen verbleibenden Samen an allen drei Versuchsstandorten signifikant höher als die Anzahl der bereits ausgefallenen Samen (Tab. 2; $p < 0,05$).

Zum regulären Erntetermin war die Anzahl der ausgefallenen Samen am Standort Grauhof signifikant höher als an den beiden anderen Standorten ($p < 0,039$). Diese Unterschiede zwischen den Standorten beruhen eventuell auf unterschiedlichen Saatzeitpunkten und unterschiedlichen Konkurrenzeigenschaften der angebauten Weizensorten sowie auf einer variierenden ökologischen Plastizität (Samenmenge und Zeitpunkt der Samenreife) der standortspezifischen *A. myosuroides*-Populationen (TIDEMANN et al., 2017). Die Anzahl der zum regulären Erntetermin an den Pflanzen verbleibenden Samen unterschied sich dagegen nicht signifikant zwischen den drei Standorten.

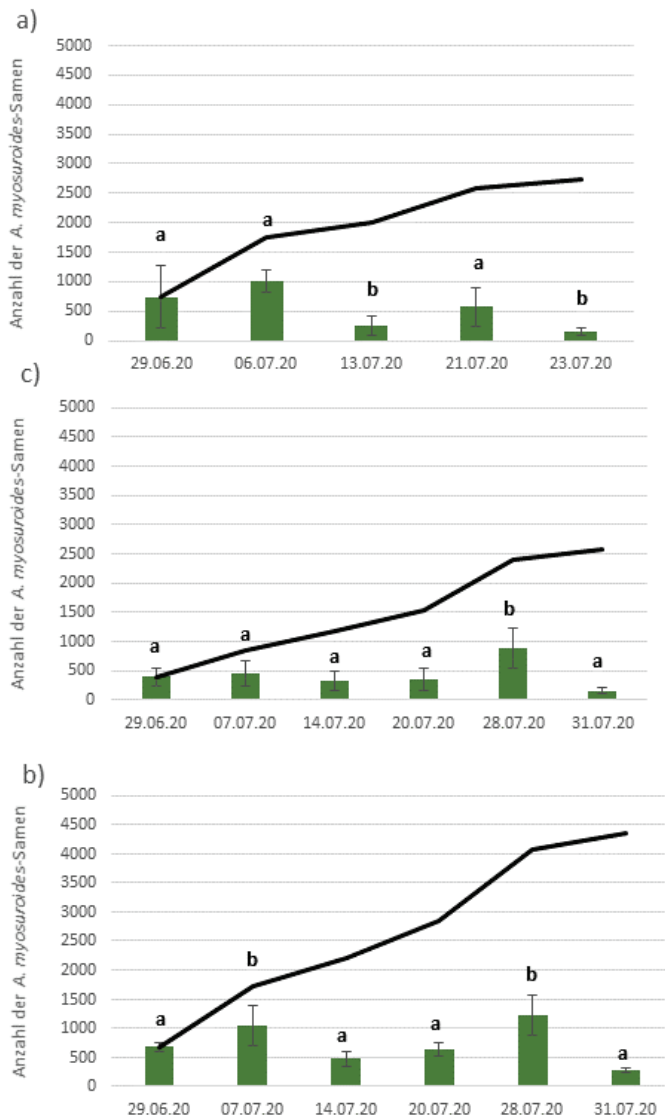


Abbildung 2 Mittlere (grüne Balken; Mittelwert $\pm$ Standardabweichung) und kumulative Anzahl (schwarze Linie) der wöchentlich ausgefallenen *A. myosuroides*-Samen in 0,25 m²-Versuchsparzellen mit regulärem Erntetermin an den drei Standorten Schöppenstedt (a), Grauhof (b) und Langelsheim (c) im Versuchsjahr 2020. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) in der Anzahl der ausgefallenen *A. myosuroides*-Samen zwischen den Probezeitpunkten.

Figure 2 Mean (green bars; mean $\pm$ standard deviation) and cumulative number (black line) of the weekly shed *A. myosuroides* seeds in 0.25 m² plots of the regular harvest date at the three field locations Schöppenstedt (a), Grauhof (b) and Langelsheim (c) in 2020. Different letters refer to significant differences ($p < 0.05$) in the shed *A. myosuroides* seeds between the sampling dates.

An den drei Standorten konnten jeweils keine signifikanten Unterschiede in der Menge der ausgefallenen Samen zwischen dem frühen und regulären Erntetermin beobachtet werden (Tab. 2). Die Menge der an den *A. myosuroides*-Pflanzen verbleibenden Samen war dagegen am Standort Schöppenstedt und Grauhof zum frühen Erntezeitpunkt signifikant höher als zum regulären Erntetermin ($p < 0,05$). Am Standort Langelsheim zeigten sich dagegen keine signifikanten Unterschiede in der Menge der verbleibenden Samen zwischen dem frühen und regulären Erntetermin.

Tabelle 2 Anzahl der ausgefallenen und an der Pflanze verbleibenden *A. myosuroides*-Samen (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung) zum frühen (ca. zwei Wochen früher) und regulären Erntezeitpunkt von Winterweizen in 0,25 m²-Versuchspartzellen an drei Versuchsstandorten in 2020

Table 2 Number of *A. myosuroides* seeds (mean $\pm$ standard deviation) shed and retained at the early (approx. two weeks earlier) and regular harvest date of winter wheat in 0.25 m² plots at three field locations in 2020

Standort	Früher Erntetermin		Regulärer Erntetermin	
	Anzahl ausgefallene Samen	Anzahl verbleibende Samen	Anzahl ausgefallene Samen	Anzahl verbleibende Samen
Schöppenstedt	2911 ($\pm$ 1481)	8466 ($\pm$ 2982)	2734 ($\pm$ 2734)	2237 ($\pm$ 1803)
Grauhof	3172 ($\pm$ 1030)	5650 ($\pm$ 2100)	4345 ($\pm$ 933)	1881 ($\pm$ 190)
Langelshiem	1728 ($\pm$ 314)	3078 ($\pm$ 3126)	2565 ($\pm$ 320)	2678 ($\pm$ 1177)

An den Standorten Schöppenstedt und Grauhof unterschied sich die Gesamtmenge der Samen deutlich zwischen den beiden Ernteterminen. So wurden z.B. am Standort Schöppenstedt in den Versuchspartzellen mit frühem Erntetermin insgesamt 11.377 ausgefallene und verbleibende Samen gezählt, in den Partzellen mit dem regulärem Erntetermin waren es dagegen insgesamt nur 4.971 Samen. Der Anteil der zum regulären Erntetermin ausgefallenen Samen im Verhältnis zu den verbleibenden Samen fiel in Schöppenstedt und Grauhof somit niedriger aus als erwartet. Mögliche Gründe sind eine unterschiedliche *A. myosuroides*-Dichte in den Versuchspartzellen des frühen und des regulären Erntetermins oder eine Reduzierung der später in der Saison ausgefallenen Samen durch Prädatoren wie kleine Vertebraten oder Carabiden (DAOUTI et al., 2021).

An den drei Standorten befanden sich zum frühen Erntetermin noch 52-73 % der *A. myosuroides*-Samen an den Pflanzen, zum regulären Erntezeitpunkt waren es nur noch 31-51 % der insgesamt gebildeten *A. myosuroides*-Samen (Abb. 3). Dies zeigt, dass insbesondere in den Wochen vor der Ernte noch ein großer Teil der *A. myosuroides*-Samen ausfällt und somit zu einer Anreicherung der Samen im Bodensamenvorrat beiträgt.

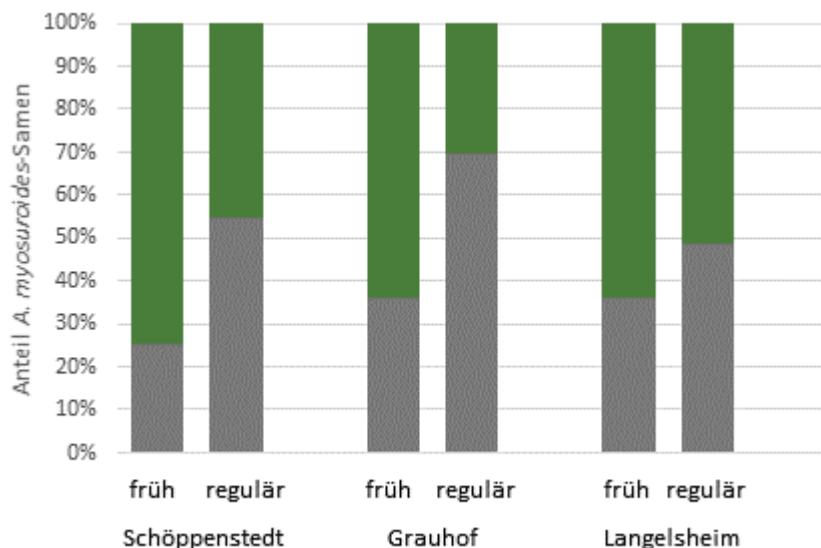


Abbildung 3 Prozentualer Anteil der ausgefallenen (grau) und der an der Pflanze verbleibenden (grün) *A. myosuroides*-Samen zum frühen (ca. zwei Wochen früher) und regulären Erntezeitpunkt von Winterweizen in 0,25 m²-Partzellen an drei Versuchsstandorten in 2020.

Figure 3 Percentage of *A. myosuroides* seeds that were shed (gray) or retained on the plant (green) at the early (approx. two weeks earlier) and regular harvest date in 0.25 m² plots at three field locations in 2020.

Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit Studien aus Dänemark, die den Samenverbleib bei *A. myosuroides* zum Erntezeitpunkt von Wintergetreide mit 29-37 % quantifizierten (BITARAFAN und ANDREASEN, 2020). In UK wurde dagegen ein deutlich geringerer Samenverbleib von 10-20 % zum Zeitpunkt der Winterweizen-Ernte festgestellt (WALSH et al., 2018). Für andere Ungrasarten wie *Lolium*-Arten wird aus Australien und Spanien ein deutlich höherer Samenverbleib von 85 % angegeben (BLANCO-MORENO et al., 2004; WALSH und POWLES, 2014). Neben den klimatischen Bedingungen wie Lufttemperatur und Bodenfeuchte (MAITY et al., 2021) kann sich auch die Konkurrenzkraft der Kulturpflanzen auf die Samenbildung und den Samenausfall von *A. myosuroides* auswirken (YASIN et al., 2017).

Die Wirksamkeit von HWSC-Maßnahmen ist vor allem von dem Samenverbleib an der Unkrautpflanze und der Höhe der verbleibenden Samen an der Pflanze zum Erntezeitpunkt abhängig. In unseren Versuchen befanden sich alle *A. myosuroides*-Samenstände über der praxisüblichen Druschhöhe von 15 cm, so dass sie durch den Mähdrescher vollständig erfasst werden konnten. Der im Jahr 2020 bei *A. myosuroides* festgestellte Samenverbleib von 31-51 % zum regulären Erntezeitpunkt deutet auf ein mittleres Potential für die Anwendung von HWSC zur Reduzierung des *A. myosuroides*-Befalls hin (BECKIE et al., 2018). Auf Standorten mit hohen *A. myosuroides*-Dichten kann die wiederholte Anwendung von HWSC aber dennoch dazu beitragen, den Sameneintrag in den Bodensamenvorrat nachhaltig zu reduzieren. Ein frühzeitiger Erntetermin kann mit Hinblick auf unsere Ergebnisse den Anteil der an der *A. myosuroides*-Pflanze verbleibenden Samen deutlich erhöhen. So könnten z.B. Standorten mit hoher *A. myosuroides*-Dichte bei gleichzeitig ausreichendem Trockengehalt des Weizens prioritär geerntet werden.

Literatur

- BEAM, S.C., S. MIRSKY, C. CAHOON, D. HAAK, M. FLESSNER, 2019: Harvest weed seed control of Italian ryegrass (*Lolium perenne* L. ssp. *multiflorum* (Lam.) Husnot), common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.), and Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Watson). *Weed Technology* **33** (4), 627-632, DOI: 10.1017/wet.2019.46.
- BECKIE, H.J., R.E. BLACKSHAW, K.N. HARKER, B.D. TIDEMANN, C.J. WILLENBORG, 2018: Weed seed shatter in spring wheat in Alberta. *Canadian Journal of Plant Science* **98** (1), 107-114, DOI: 10.1139/cjps-2017-0103.
- BITARAFAN, Z., C. ANDREASEN, 2020: Seed Production and Retention at Maturity of Blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) and Windgrass (*Apera spica-venti*) at Wheat Harvest. *Weed Science* 10.1017/wsc.2020.7, 1-25, DOI: 10.1017/wsc.2020.7.
- BLANCO-MORENO, J.M., L. CHAMORRO, R.M. MASALLES, J. RECASENS, F.X. SANS, 2004: Spatial distribution of *Lolium rigidum* seedlings following seed dispersal by combine harvesters. *Weed Research* **44** (5), 375-387, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00412.x>.
- DAOUTI, E., M. JONSSON, G. VICO, A. MENEGAT, 2021: Seed predation is key to preventing population growth of the weed *Alopecurus myosuroides*. *Journal of Applied Ecology* **n/a** (n/a), DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14064>.
- GALLANDT, E.R., 2006: How can we target the weed seedbank? *Weed Science* **54** (3), 588-596, DOI: 10.1614/WS-05-063R.1.
- KAMPE, W., 1975: The emergence dynamics of black grass (*Alopecurus myosuroides*) and silky apera (*Apera spica-venti*) in the Palatinate in 1970 to 1974. *Gesunde Pflanze* **27**, 133-138.
- KOCH, W., 1968: Environmental factors effecting the germination of some annual grasses. *Proceedings of the 9th British Weed Control Conference*, Brighton, UK, British Crop Protection Council.
- MAITY, A., A. LAMICHANEY, D.C. JOSHI, A. BAJWA, N. SUBRAMANIAN, M. WALSH, M. BAGAVATHIANNAN, 2021: Seed Shattering: A Trait of Evolutionary Importance in Plants. *Frontiers in Plant Science* **12** (1180), DOI: 10.3389/fpls.2021.657773.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- MOSS, S., 2013: Black-grass (*Alopecurus myosuroides*): everything you really wanted to know about black-grass but didn't know who to ask. Rothamsted Technical Publication Harpenden, Hertfordshire, UK: Rothamsted Research. 4 p.
- SCHWARTZ-LAZARO, L.M., J.K. NORSWORTHY, M.J. WALSH, M.V. BAGAVATHIANNAN, 2017: Efficacy of the Integrated Harrington Seed Destructor on Weeds of Soybean and Rice Production Systems in the Southern United States. *Crop Science* **57** (5), 2812-2818, DOI: 10.2135/cropsci2017.03.0210.
- SHERGILL, L.S., K. BEJLERI, A. DAVIS, S.B. MIRSKY, 2020: Fate of weed seeds after impact mill processing in midwestern and mid-Atlantic United States. *Weed Science* **68** (1), 92-97, DOI: 10.1017/wsc.2019.66.
- TIDEMANN, B.D., L.M. HALL, K.N. HARKER, H.J. BECKIE, E.N. JOHNSON, F.C. STEVENSON, 2017: Suitability of Wild Oat (*Avena fatua*), False Cleavers (*Galium spurium*), and Volunteer Canola (*Brassica napus*) for Harvest Weed Seed Control in Western Canada. *Weed Science* **65** (6), 769-777, DOI: 10.1017/wsc.2017.58.
- WALSH, M., J. OUZMAN, P. NEWMAN, S. POWLES, R. LLEWELLYN, 2017: High Levels of Adoption Indicate That Harvest Weed Seed Control Is Now an Established Weed Control Practice in Australian Cropping. *Weed Technology* **31** (3), 341-347, DOI: 10.1017/wet.2017.9.
- WALSH, M.J., J.C. BROSTER, L.M. SCHWARTZ-LAZARO, J.K. NORSWORTHY, A.S. DAVIS, B.D. TIDEMANN, H.J. BECKIE, D.J. LYON, N. SONI, P. NEVE, M.V. BAGAVATHIANNAN, 2018: Opportunities and challenges for harvest weed seed control in global cropping systems. *Pest Management Science* **74** (10), 2235-2245, DOI: 10.1002/ps.4802.
- WALSH, M.J., R.B. HARRINGTON, S.B. POWLES, 2012: Harrington Seed Destructor: A New Nonchemical Weed Control Tool for Global Grain Crops. *Crop Science* **52** (3), 1343-1347, DOI: 10.2135/cropsci2011.11.0608.
- WALSH, M.J., S.B. POWLES, 2014: High Seed Retention at Maturity of Annual Weeds Infesting Crop Fields Highlights the Potential for Harvest Weed Seed Control. *Weed Technology* **28** (3), 486-493, DOI: 10.1614/wt-d-13-00183.1.
- YASIN, M., E. ROSENQVIST, C. ANDREASEN, 2017: The Effect of Reduced Light Intensity on Grass Weeds. *Weed Science* **65** (5), 603-613, DOI: 10.1017/wsc.2017.17.

Studies on the efficacy of pelargonic acid for weed control

Untersuchungen zur Wirksamkeit von Pelargonsäure zur Unkrautkontrolle

Nnabuife Ogbangwor¹, Hans-Peter Söchting^{2*}

¹Georg-August-Universität-Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften

²Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland

*hans-peter.soechting@julius-kuehn.de

DOI: 10.5073/20220124-074954

Abstract

Up to now, weed control in agricultural and horticultural crops has been carried out predominantly with chemical-synthetic herbicides. These achieve a high efficacy with a broad spectrum of control. However, the environmental behaviour of these substances is in focus and attempts are being made to restrict their use. Whether fatty acid herbicides should be used as a better alternative in this context remains to be seen. Nonetheless, fatty acid herbicides are increasingly being approved for use in more and more applications in Germany. However, data gaps regularly occur in the evaluation within the framework of the approval procedure. For this reason, several trials with fatty acid herbicides were carried out at the Julius Kühn-Institut (JKI) in Braunschweig in order to investigate the effect of these herbicides on the basis of various influencing factors. The efficacy against 24 widespread arable and garden weeds was tested. In addition to testing the different sensitivity of the species, the focus was on the applied water volume. Overall, we found that monocotyledonous weed species were less sensitive to the tested pelargonic acid (Finalsan) and that there were significant differences depending on the water volume.

Keywords: abiotic factors, dicotyledonous weeds, efficacy, monocotyledonous weeds, pelargonic acid

Zusammenfassung

Bisher erfolgt die Unkrautbekämpfung in landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Kulturen überwiegend mit chemisch-synthetischen Herbiziden. Diese erzielen hohe Wirkungsgrade bei einem weiten Wirkungsspektrum. Allerdings steht das Umweltverhalten dieser Stoffe im Fokus und man versucht die Nutzung einzuschränken. Ob Fettsäureherbizide in diesem Zusammenhang als bessere Alternative genutzt werden sollten, sei einmal dahingestellt. Nichts desto trotz werden in Deutschland immer öfter fettsäurehaltige Herbizide in immer mehr Anwendungen zugelassen. Bei der Bewertung im Rahmen des Zulassungsverfahrens treten allerdings regelmäßig Datenlücken auf. Aus diesem Grund wurden am JKI in Braunschweig einige Versuche mit Fettsäureherbiziden durchgeführt um die Wirkung dieser Herbizide anhand verschiedener Einflussfaktoren zu untersuchen. Geprüft wurde die Wirksamkeit gegenüber 24 weit verbreiteten Acker- und Gartenunkräutern. Daneben wurde der Einfluss unterschiedlicher Wasseraufwandmengen geprüft. Es zeigte sich insgesamt, dass monokotyle Unkrautarten unempfindlicher gegenüber der geprüften Pelargonsäure (Finalsan) waren und dass je nach Unkrautart signifikante Unterschiede bei den geprüften Einflussfaktoren festzustellen waren.

Stichwörter: abiotische Faktoren, einkeimblättrige Unkräuter, Pelargonsäure, Wirksamkeit, zweikeimblättrige Unkräuter

Introduction

Herbicides use provides adaptability, resilience and low costs in the control of vegetation, considering the equipment and the wide spectrum of materials that are available for use. The primary reason for the widespread use of herbicides is their low cost and satisfactory weed control. Bioherbicides are defined as products of natural origin for weed control. Bio-based control products, whether used alone or in

conjunction with other plant protection methods, are novel technologies. More and more of these are being used worldwide. One of these bioherbicide is pelargonic acid. Pelargonic acid (PA), n-nonanoic acid is a saturated, nine-carbon fatty acid (C9:0) found naturally as esters in the essential oil of *Pelargonium* spp.. Furthermore, it can be derived from the tissues of various plant species (COLEMAN & PENNER, 2008). They are used as contact burndown bioherbicides, which attack cell membranes and cause cell leakage, which is followed by membrane breakdown (CIRIMINNA et al., 2019). The phytotoxic effects are visible very quickly after spraying, and the symptoms include phytotoxicity for the plants and their cells, which rapidly begin to oxidize, and necrotic lesions on plant aerial parts (LEBECQUE et al., 2019).

Pelargonic acid represents a weed control option that can be effectively integrated with other weed management strategies in important crop fields (KANATAS et al., 2020). Currently, little is known about the effect of different environmental conditions and potential stages of weed growth on the efficacy of pelargonic acid herbicide. This research aims to understand and better explain: 1) Efficacy of pelargonic acid against important weeds in the development stages (BBCH 12) and (BBCH 25). 2) Efficacy of pelargonic acid against four representative weed species depending on water volume (BBCH 21).

Materials and methods

A pot experiment under controlled greenhouse conditions was conducted at Julius Kühn-Institut in Braunschweig to evaluate the efficacy of a pelargonic acid herbicide (Tab. 3) on selected weed species. The sensitivity of 20 different weed species to pelargonic acid was tested in experiment 1 (Tab. 1). For four selected species (BELPE, POAAN, SONAS, TAROF; Tab. 2) depending on water application rate (experiment 2), was tested. Plants from each population were pre-grown in one big pot per species until the plants reached cotyledon-leaves stage. At this stage, the seedlings were separated by transplanting single plants to (7x7x4cm) pots filled with 280 g of sterilized and 4 mm sifted JKI soil (loamy sand).

Table 1 Tested annual monocotyledonous and annual dicotyledonous weed species (EPPO-code given in brackets) in experiment 1

Tabelle 1 Geprüfte einjährige einkeimblättrige und einjährige zweikeimblättrige Unkrautarten (in Klammern EPPO-Code) in Versuch 1

Weeds species	
Monocotyledonous	Dicotyledonous
<i>Echinochloa crus-galli</i> (ECHCG)	<i>Spergula arvensis</i> (SPRAR)
<i>Bromus sterilis</i> (BROST)	<i>Stellaria media</i> (STEME)
<i>Alopecurus myosuroides</i> (ALOMY)	<i>Galium aparine</i> (GALAP)
<i>Lolium multiflorum</i> (LOLMU)	<i>Galinsoga parviflora</i> (GASPA)
	<i>Veronica hederifolia</i> (VERHE)
	<i>Chenopodium album</i> (CHEAL)
	<i>Viola arvensis</i> (VIOAR)
	<i>Papaver rhoeas</i> (PAPHR)
	<i>Myosotis arvensis</i> (MYOAR)
	<i>Thlaspi arvense</i> (THLAR)
	<i>Urtica urens</i> (URTUR)
	<i>Matricaria matricaroides</i> (MATMT)
	<i>Senecio vulgaris</i> (SENVU)
	<i>Lamium amplexicaule</i> (LAMAM)
	<i>Sonchus asper</i> (SONAS)
	<i>Polygonum aviculare</i> (POLAV)

In experiment 1, pelargonic acid (Finalsan, Tab. 3) was applied in BBCH 12 and BBCH 25, with glyphosate being used solely as a reference herbicide in BBCH 25. For experiment 2, five water volumes were used without water (pure herbicide), 375 L/ha H₂O, 500 L/ha H₂O, 750 L/ha H₂O, 1000 L/ha H₂O. The experiments were replicated four times in a completely randomized design.

Table 2 Four representative weed species used depending on water volume

Tabelle 2 Geprüfte Unkrautarten in den Versuchen zur Wirkung in Abhängigkeit von Wasseraufwand

Weeds	EPPO Code	Family	Growth form
1. <i>Bellis perennis</i>	BELPE	Asteraceae	Perennial
2. <i>Poa annua</i>	POAAN	Poaceae	Annual
3. <i>Taraxacum officinale</i>	TAROF	Asteraceae	Perennial
4. <i>Sonchus asper</i>	SONAS	Asteraceae	Annual

Table 3 Information on the employed herbicides

Tabelle 3 Informationen zum eingesetzten Herbizide

Herbicide	Active ingredients	Holder of authorization	Number of registration (BVL)	L/ha	a.s. kg/ha	Water volume L/ha
Finalsan	Pelargonic acid	Neudorff	024645-00/61	166	31	1000
Roundup Powerflex	Glyphosate	Monsanto	006149-00/00-001	3,75	1,8	300

Herbicide application

Application was carried out with a stationary application system. For the standard application, water volume (1000 L/ha) the nozzle TP TEE JET 8006 E was used with two crossings. Different nozzles were used for the different water volumes. A nozzle pressure of 2.9 bar was used. The spraying speed was 2 km/h and the spraying height 45 cm (nozzle to vessel surface). Immediately after application, the pots containing the plants were allowed to dry for 1 hour before returning them to the greenhouse. The used pelargonic acid herbicide in all experiments was Finalsan (Tab. 3).

Assessment and statistical analysis

Assessment was carried out 21 days after herbicide application. The percent biomass reduction (=efficacy %) of treated plants was calculated by comparing fresh weights to the average biomass of untreated control plants, as defined by equation:

$$\text{Percent biomass reduction} = (1 - (B / C)) * 100$$

B = Biomass of a single plant after being treated

C = Biomass of the untreated control.

The statistical analysis was performed in R version 3.6.3 using MANOVA, and a post-hoc test, Tukey's Honest Significant Difference (HSD) test, was used to determine which specific group's means (when compared to each other) differed.

Results

Experiment 1 (control of important weeds)

Finalsan was phytotoxic to both monocotyledonous and dicotyledonous weeds, causing a fresh weight reduction of 53% in *Alopecurus myosuroides* (ALOMY), 38% in *Lolium multiflorum* (LOLMU) and 28% in *Bromus sterilis* (BROST) at BBCH 12, and complete necrotization of the remaining weeds (Fig. 1). At BBCH 25, *Galium aparine* (GALAP), *Polygonum aviculare* (POLAV), *Stellaria media* (STEME) and *Echinochloa crus-galli* (ECHCG) had a loss in fresh weight of 3%, 0.7%, 12%, and 0.2% respectively. ALOMY, BROST, and LOLMU also had a decrease in fresh weight of 47%, 20%, 51% correspondingly at a similar growth stage. All weeds with the exclusion of ALOMY, BROST, LOLMY, STEME, GALAP, POLAV, MATMT and ECHCG exhibited complete necrotization (Fig. 2). The efficacy of pelargonic acid was less outstanding in BBCH 25 in comparison to BBCH 12.

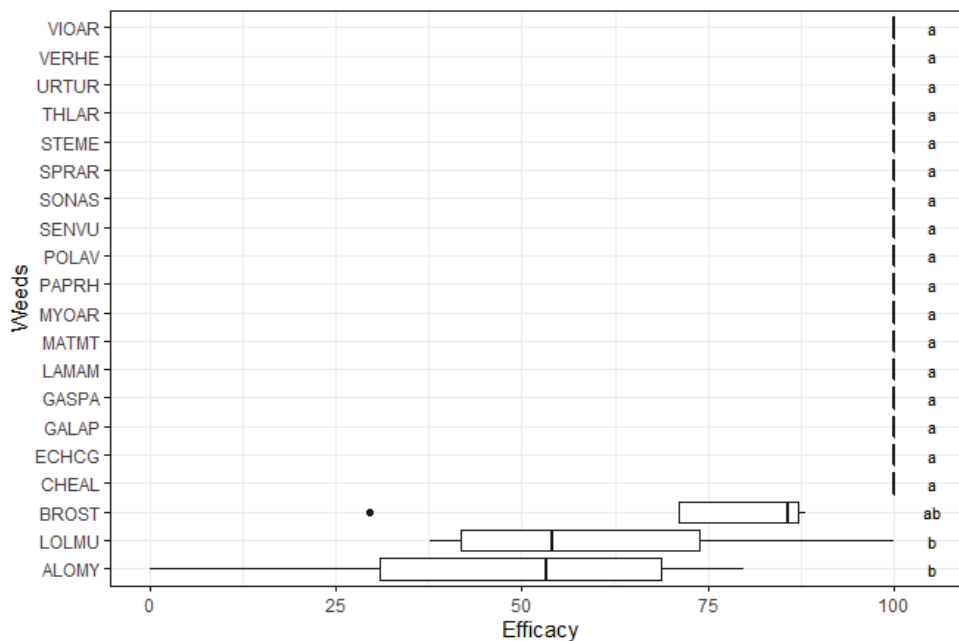


Figure 1 Efficacy (%) of Finalsan against annual monocotyledonous and annual dicotyledonous weeds in BBCH12. Different letters represent significant differences ($p < 0.05$) between the weeds (Tukey's HSD test).

Abbildung 1 Wirksamkeit (%) von Finalsan gegen einjährige einkeimblättrige und einjährige zweikeimblättrige Unkräuter in BBCH12. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Unkräutern (Tukey's HSD-Test).

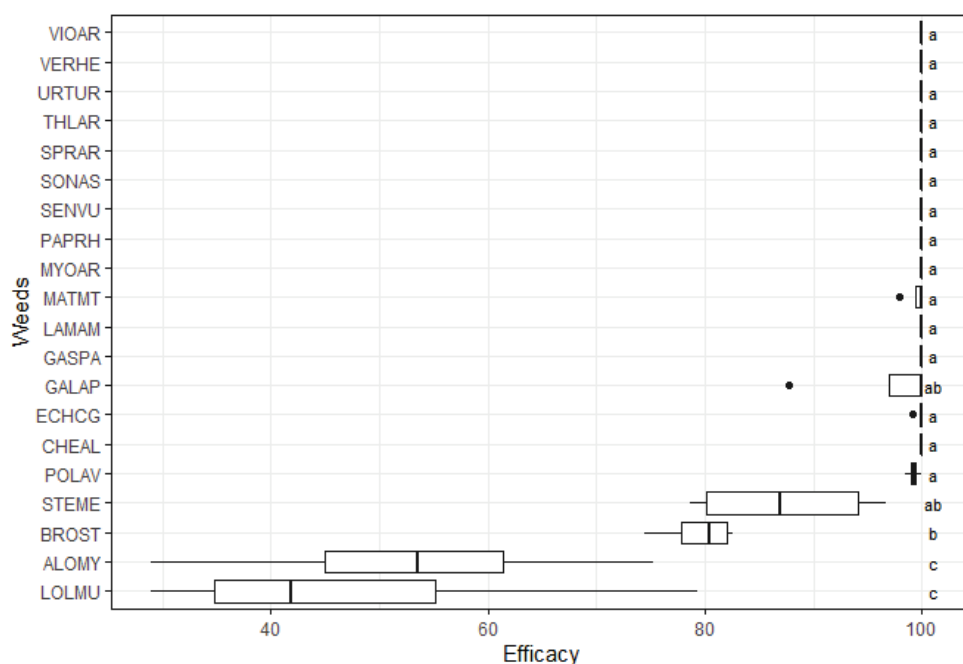


Figure 2 Efficacy (%) of Finalsan against annual monocotyledonous and annual dicotyledonous weeds at BBCH25. Different letters represent significant differences ($p < 0.05$) between the weeds (Tukey's HSD test).

Abbildung 2 Wirksamkeit (%) von Finalsan gegen einjährige einkeimblättrige und einjährige zweikeimblättrige Unkräuter in BBCH25. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Unkräutern (Tukey's HSD-Test).

For Round up Powerflex acting as a reference herbicide, complete necrotization was observed in all weeds barring VIOAR and GALAP (Fig. 3).

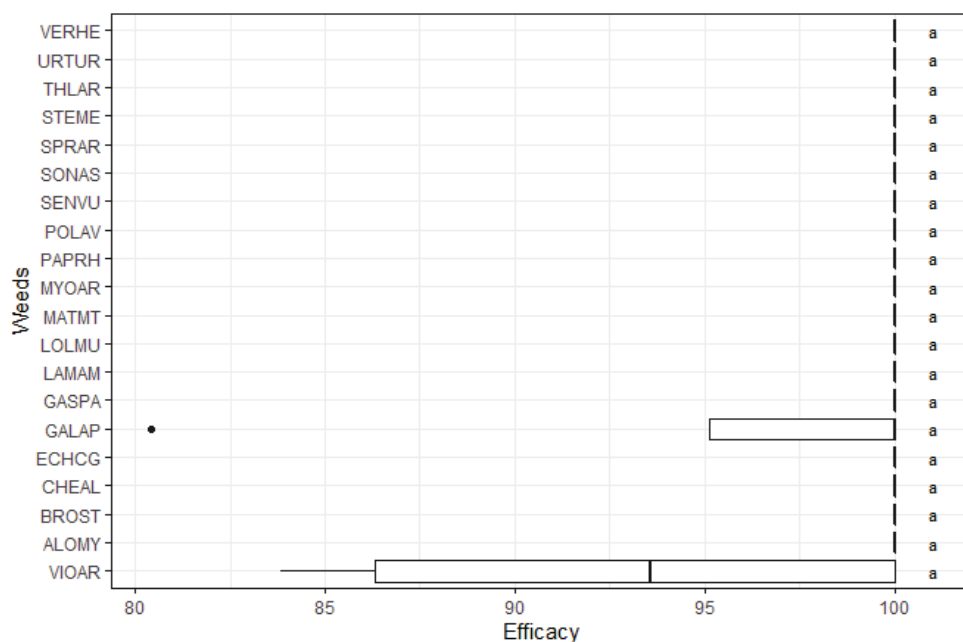


Figure 3 Efficacy (%) of glyphosate (Roundup Powerflex 3.75 l/ha) against annual monocotyledonous and annual dicotyledonous weeds (BBCH25). Different letters represent significant differences ($p < 0.05$) between the weeds (Tukey's HSD test).

Abbildung 3 Wirksamkeit (%) von Glyphosat (Roundup Powerflex 3,75l/ha) gegen einjährige einkeimblättrige und einjährige zweikeimblättrige Unkräuter in BBCH25. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Unkräutern (Tukey's HSD-Test).

Effect of different water volumes on the efficacy of pelargonic acid

Foliar injury and reduction of fresh weight was observed in all weeds although the level of damage differ among the water volumes used (Fig. 4). The highest efficacy of PA in BELPE was found in volume III (500 L/ha H₂O), while for POAAN and TAROF, the highest was volume II (375 L/ha H₂O). All water volumes aside volume I had a good efficacy against SONAS.

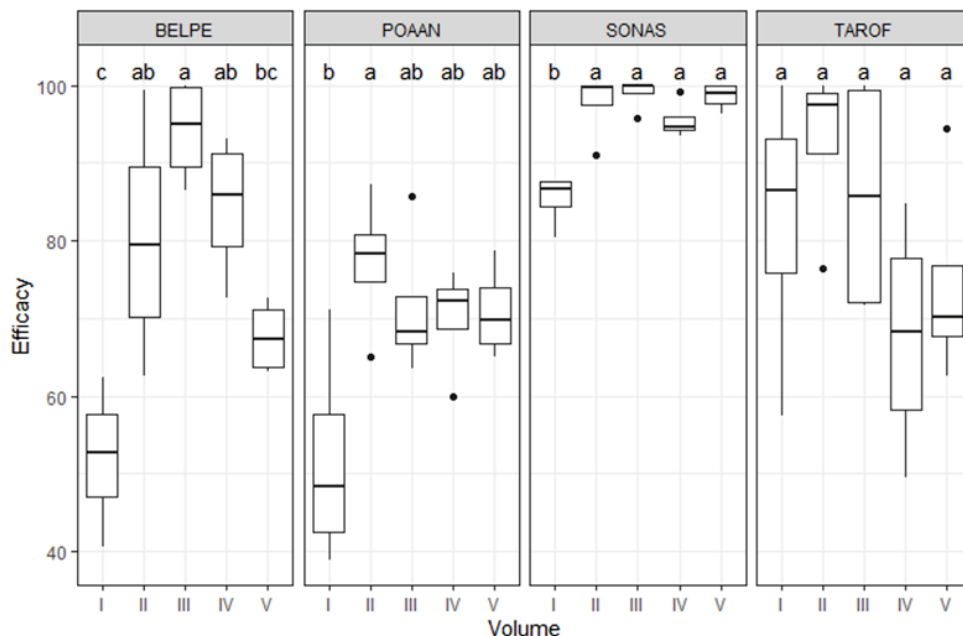


Figure 4 Efficacy (%) of Finalsan dependence on water volume. (I= without water, II= 375 L/ha H₂O), III= (500 L/ha H₂O), IV= 750L/ha H₂O, V= 1000 L/ha H₂O. Different letters represent significant differences (p <0.05) between the weeds (Tukey's HSD test).

Abbildung 4 Wirksamkeit (%) von Finalsan in Abhängigkeit von der Wasseraufwandmenge. (I= ohne Wasser, II= 375 l/ha H₂O), III= (500 l/ha H₂O), IV= 750 l/ha H₂O, V= 1000 l/ha H₂O. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede (p <0,05) zwischen den Unkräutern (Tukey's HSD-Test).

Discussion

Efficacy against monocotyledonous and dicotyledonous weeds

The current research reveals that using pelargonic acid (PA) to inhibit emerged weeds resulted in significantly greater control for all weed species, particularly dicotyledonous weeds, than monocotyledonous weeds at BBCH12 (Fig. 1). These findings are consistent with other studies, which found that dicotyledonous weed control was superior to monocotyledonous weed control when using a contact herbicide (WEBBER & SHREFLER, 2006). PA consistently controlled dicotyledonous weeds more effectively than monocotyledonous weeds due to the greater exposure of dicotyledonous weeds meristemic tissue (apical meristem) compared to grass plants' intercalary meristemic tissue. At BBCH25, a similar pattern was observed. Aside from grass weeds, *Galium aparine* (GALAP), *Polygonum aviculare* (POLAV), *Stellaria media* (STEME), and *Echinochloa crus-galli* (ECHCG) began to recover some days after being treated with pelargonic acid (Fig. 2); however, this response may reflect differences in weed size. Natural chemicals are unable to provide long-term control for most species because they are not systemically translocated in plants. To achieve stronger weed control in general, and especially for grass weeds, PA will need to be sprayed on smaller, younger weeds or at a higher application rate.

Water volume effect

Maintaining or increasing water volume is critical to the performance of contact herbicides for weed management. It is generally concluded that contact herbicides should be used in higher spray volumes than systemic herbicides (TAYLOR, 1981), because of the need for better coverage of the plant surfaces with contact herbicides. However, the current experiments with different volume rates produced contrasting results as no significant effect was noticed in TAROF. Other studies showed that control of some broadleaf weeds with contact herbicides is usually reduced when the spray volume is reduced. This corroborates the findings in this study, volumes II and III (375 L/ha and 500 L/ha) showed the highest efficacy among the treated weeds (Fig. 4). The effect of post-emergence herbicides and the variation in other volumes depends largely on the leaf morphology and the retention of the spray liquid on the weeds. Spray retention is a key factor of leaf surfaces for uptake and biological activity of herbicides (GRANGEOT et al., 2006).

References

- BLAIR, A.M., W.G. RICHARDSON, T.M. WEST, 1983: The influence of climatic factors on metoxuron activity on *Bromus sterilis* L. *Weed Research* **23**, 259-265.
- CHANDRASENA, N., G.R. SAGAR, 2006: Some factors affecting the performance of fluazifop-butyl against *Elymus repens* (L.) Gould (= *Agropyron repens* (L.) Beauv.). *Weed Res* **26**, 139-148.
- CIRIMINNA, R., A. FIDALGO, L.M. ILHARCO, M. PAGLIARO, 2019: Herbicides based on pelargonic acid: Herbicides of the bioeconomy. *Biofuels Bioprod. Biorefining* 2019, **13**, 1476–1482.
- COLEMAN, R., D. PENNER, 2008: Organic acid enhancement of pelargonic acid. *Weed Technol.* **22**, 38–41.
- COUPLAND, D., 1986: The effect of environmental factors on the performance of fluazifop-butyl against *Elymus repens*. *Ann Appl Biol* **108**, 353-363.
- COUPLAND, D., 1989: Pre-treatment environmental effects on the uptake, translocation, metabolism and performance of fluazifop-butyl in *Elymus repens*. *Weed Res* **29**, 289-297.
- EVANS, D.M., 1972: Field performance of glyphosate derivatives in the control of *Agropyron repens* and other perennial weeds. *Proc. 11th British weed Control Conf.* **1**, 64-70.
- FARAHBAKSH, A., K.J. MURPHY, P.J. DOMINY, 1988: Effects of tralkoxydim on cereals and grass weeds with reference to nitrogen and light interactions. *Aspects Appl Biol* **18**, 167-176.
- GRANGEOT, M., B. CHAUVEL, C. GAUVRIT, 2006: Spray retention, foliar uptake and translocation of glufosinate and glyphosate in *Ambrosia artemisiifolia*. *Weed Res* **46**, 152–162.
- KANATAS, P.J., I.S. TRAVLOS, J. GAZOULIS, N. ANTONOPOULOS, A. TSEKOURA, A. TATARIDAS, S. ZANNOPOULOS, 2020: The combined effects of false seedbed technique, post-emergence chemical control and cultivar on weed management and yield of barley in Greece. *Phytoparasitica* **48**, 131–143.
- LEBECQUE, S., L. LINS, F.E. DAYAN, M.L. FAUCONNIER, M. DELEU, 2019: Interactions between natural herbicides and lipid bilayers mimicking the plant plasma membrane. *Front. Plant Sci.* **10**, 329-340.
- PRICE, C.E., 1983: The effect of environment on foliage uptake and translocation of herbicides. In *Aspects of Applied Biology 4: Influence of Environmental Factors on Herbicide Performance and Crop and Weed Biology*; The Association of Applied Biologists: Warwick, UK; Oxford, UK, 1983; Volume **4**, 157–169.
- PRICE C., I. IPOR, 1992: The influence of sun and shade on herbicide activity and translocation. *Proc 1st Intl Weed Control Cong* **2**, 403-406
- RAVEN P.H., R.F. EVERT, S.E. EICHHORN, 2001: *Biologia Vegetal*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- SHARMA, S.D., M. SINGH, 2001: Environmental factors affecting absorption and bio-efficacy of glyphosate in Florida beggar weed (*Desmodium tortuosum*). *Crop Prot.* 2001, **20**, 511–516.
- TAYLOR, W.A., 1981: Controlled droplet application of herbicides. *Outl. Agric.* **10**, 333-336.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

WEBBER, C.L., J.W. SHREFLER, 2006: Corn gluten meal and spring transplanted onions (*Allium cepa* L.): crop safety, weed control, and yields. Pages 87-97 in National Allium Research Conference. College Station, TX: Texas A&M.

Better-Weeds – Next generation weed management

Better-Weeds – Unkrautmanagement der nächsten Generation

Christoph von Redwitz^{1*}, Christoph Kämpfer¹, Ladislav Hodac², Patrick Mäder³, Michael Pflanz⁴, Stefan Milz⁵, Tobias Rüdiger⁵, Mona Schatke¹, Lena Ulber¹, Jana Wäldchen²

¹Julius Kühn Institute (JKI) - Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Plant Protection in Field Crops Grassland, Braunschweig, Germany

²Max Planck Institute for Biogeochemistry, Department of Biogeochemical Integration, Jena, Germany

³Technical University of Ilmenau, Department of Computer Science and Automation, Data-intensive Systems and Visualisation, Ilmenau, Germany

⁴Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy (ATB), Department of Horticultural Engineering, Potsdam, Germany

⁵Spleenlab GmbH, Safe Machine Learning Solutions, Saalburg-Ebersdorf, Germany

*christoph.redwitz@julius-kuehn.de

DOI: 10.5073/20220124-075254

Abstract

Digitalisation in agriculture is currently expanding very rapidly. Digital field maps, geo-referenced machine movements, and a vast set of sensors on different platforms are already utilised on arable farms and even robotic field management is tested under practical field conditions. Digitalisation and artificial intelligence enable more effective and precise weed management through automated weed recognition. Sensor-based recognition systems automatically differentiate between weed and crop plants allowing for selective and site-specific weed control measures. By reducing herbicide inputs, site-specific herbicide application can mitigate negative impacts on the environment and reduce production costs.

With support from the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL), the project “Better-Weeds” uses the technical possibilities of GIS-based imagery from unmanned aerial vehicles (UAV) and artificial intelligence (AI)-driven plant recognition on arable fields. The novel and innovative part of the project is a knowledge-based merging process. It combines the location data on the spatial distribution of different weed species with biological and ecological weed traits, as well as soil and climatic data to create extensive field maps. In addition, farm-specific agronomic conditions such as the crop rotation on the respective field and available weed control technology are considered. Together, this combined information is used to create a site-specific weed management plan for a given arable field taking into account weed control thresholds and the competitive ability and ecological benefits (e.g. habitat for beneficial insects) of the present weed species. The application of the generated management plan forms a step towards reducing herbicide applications and increasing in-field weed diversity.

Keywords: automated flying, hotspot analysis, image recognition, knowledge-based maps, machine learning, mission planning, site specific weed management, Unmanned Aerial Vehicle, weed mapping

Zusammenfassung

Die Digitalisierung in der Landwirtschaft schreitet rasch voran. Digitale Feldkarten, georeferenzierte Maschinenbewegungen und eine Vielzahl von Sensoren auf verschiedenen Plattformen werden bereits in landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzt. Sogar die Bewirtschaftung durch Roboter wird bereits in die Praxis überführt. Digitalisierung und künstliche Intelligenz ermöglichen zukünftig durch automatische Unkrauterkenner ein effektiveres Unkrautmanagement. Systeme unterscheiden automatisch zwischen Unkraut und Kulturpflanzen und ermöglichen so eine selektive und standortspezifische

Unkrautbekämpfung, die durch die Reduzierung des Herbizideinsatzes negative Auswirkungen auf die Umwelt vermindern und die anfallenden Produktionskosten verringern kann.

Mit Unterstützung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) nutzt das Projekt "Better-Weeds" die technischen Möglichkeiten von GIS-basierten Bildern aus Drohnen (UAV) und KI-gesteuerter Pflanzenerkennung auf Ackerflächen. Der neue und innovative Teil des Projekts ist ein wissensbasierter Fusionsprozess. Er kombiniert die Standortdaten aus der räumlichen Verteilung verschiedener Unkrautarten mit biologischen und ökologischen Unkrautmerkmalen sowie mit Boden- und Klimadaten, um umfassende Feldkarten zu erstellen. Darüber hinaus werden betriebspezifische agronomische Bedingungen, wie z.B. die Fruchtfolge auf dem jeweiligen Feld und die verfügbare Unkrautkontrolltechnik berücksichtigt. Diese kombinierten Informationen werden genutzt um einen teilflächenspezifischen Unkrautmanagementplan zu erstellen, der die Schwellenwerte für die Unkrautkontrolle sowie die Konkurrenzfähigkeit und den ökologischen Nutzen (z.B. Lebensraum für Nützlinge) der auf dem Feld vorhandenen Unkräuter berücksichtigt. Der erstellte Managementplan ist ein notwendiger Schritt, um den Herbizideinsatz zu reduzieren und die Unkrautvielfalt im Feld zu erhöhen.

Stichwörter: Automatisches Fliegen, Bilderkennung, Hotspot Analyse, maschinelles Lernen, teilflächenspezifische Unkrautkontrolle, unbemannte Flugobjekte, Unkrautkartierung, wissensbasierte Karten

Introduction

Weed control on arable fields is currently predominantly carried out by uniform herbicide applications without a consideration of the spatial plant heterogeneity of the field and its weed distribution. Not only the decrease in floristic diversity on arable land in Germany (MEYER et al., 2013), but also the loss of insect diversity (HALLMANN et al., 2017) is associated with the use of herbicides in conventional agricultural systems. Thus, beneficial ecological functions such as the support of higher trophic levels and the delivery of ecosystem services such as higher pollination and biological pest control are associated with increased weed diversity (MARSHALL et al., 2003). In addition, a diverse weed species composition can have beneficial effects on crop yield (ADEUX et al., 2019). Against this background, new and especially environmentally friendly approaches to weed management need to be developed. The development of strategies for site-specific weed management (SSWM) plays a key role in reducing the negative impact of herbicide application on the environment.

One main advantage of SSWM is its potential to reduce herbicide inputs by up to 95%, a level that depends on crop and settings (TIMMERMAN et al., 2003; HAMOUZ et al., 2013; CASTALDI et al., 2017). This reduction in herbicide use results in economic advantages for the farmer (BARROSO et al., 2004) and mitigates negative impacts of pesticide application (KHAN et al., 2021) on the environment. In addition, SSWM may also contribute to an increased weed diversity in arable fields. SSWM belongs to modern and technologically-advanced agriculture and offers significant potential to control weeds by simultaneously reducing the environmental impact of pesticide application (NORDMEYER, 2006). SSWM includes a large range of techniques and practices including weed sensing systems, weed management models, and precision weed control implements (CHRISTENSEN et al., 2009) and digitalisation is a major driver for inventions in this field (HUANG et al., 2018; PFLANZ et al., 2018; SA et al., 2018; OLSEN et al., 2019; LATI et al., 2021). Even though the adoption of SSWM by farmers is still limited, the benefits and potential of SSWM has been demonstrated by numerous research projects all over the globe (HUNG et al., 2014; POHL et al., 2020; SELSKAB et al., 2021). In addition, technical innovations in the machinery sector such as single nozzle control for spot spraying or direct injection sprayers have been developed by different companies (POHL et al., 2020). Most of the SSWM techniques currently implemented by farmers for weed sensing mainly discriminate between crop and weed plants and are used to identify and localise weed patches. For this purpose, several technical

approaches to discriminate between crops and weeds using different sensors and platforms have already been developed and exhibit a high level of precision (ESPOSITO et al., 2021). As a result, the first autonomous weeding robots come to practice in 2021.

However, weed plants play an important role for associated biodiversity on farmland (MARSHALL et al., 2003) i.e. by providing nectar and pollen for bees (BRETAGNOLLE and GABA, 2015) and other pollinator species. While some weed species possess a high value for associated higher trophic level and may therefore be tolerated in the field to increase overall biodiversity, others exhibit a high competitive ability and therefore require control. Identification and localisation of individual weed species in the field is therefore crucial for a species-specific weed management. In addition, the analysis of the spatial distribution of weed species and their specific functional traits, competitive traits, and population dynamics on crop fields should be further combined with local meta-information. In that way, sustainable weed management based on site-specific environmental characteristics of the field (e.g. soil and climate parameters) and farm-specific conditions is elaborated. The project “Better-Weeds”, started in 2021, tackles this challenge. Weed distribution maps, generated by automated image recognition using UAV platforms, are combined with information on weed traits and site-specific characteristics to generate knowledge-based field maps. A schematic presentation of the projects workflow is given in Figure 1. In the following, the necessary steps towards such a SSWM plan are described.



Figure 1 Schematic workflow of the project Better-Weeds

Abbildung 1 Schema des Workflows im Projekt Better-Weeds

Weed distribution maps

The implementation of SSWM relies on an accurate detection and mapping of weeds in the field. A wide range of sensors is used to detect weeds in the field, with most of them focusing on the general differentiation between crops and weeds (LATI et al., 2021). However, discrimination between the different weed species is required if specific species should be excluded from weed control measures. Recent studies indicate that great potential for weed identification lies in the use of image-based machine learning techniques in combination with remote sensing by unmanned aerial vehicles (UAV) (ESPOSITO et al., 2021). The images captured by the UAV are processed using artificial neural networks, e.g. deep-learning methods, which enable the identification of individual weed species (PETEINATOS et al., 2020). The challenge - especially when UAV are used - is to achieve a sufficiently high image resolution to identify single weed plants at the species level with sufficient efficacy to cover a complete field. Therefore, weed species are currently often identified on grid-arranged plots and the weed distribution is interpolated across the field (WELLHAUSEN et al., 2020). Within the project “Better-Weeds”, a two-step approach using a more appropriate UAV mission planning for the generation of weed distribution maps will be implemented. First, we use low-resolution images taken by UAV in combination with field-specific and landscape parameters to identify “hotspots” for weed management. These hotspots are characterised i.e. by high weed densities or site properties that can be used as indicators for a high weed species diversity. In the second step of the mission, the UAV-based weed survey will be concentrated on these hotspots by generating high-resolution images. With this approach, we aim to reduce the need for interpolation and enhance the proportion of

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online identified plants on a field. By using autonomous mission planning, the technical requirements for the end users/farmers are minimised at this stage.

Knowledge-based maps

As long as weed management aims at a maximum level of weed control, the species identity is – in most cases – of minor importance. The farmers usually adjust their weed management decisions to the presence of major weed species such as *Alopecurus myosuroides* or *Galium aparine* that exhibit a high competitive ability. As most crop-selective herbicides control a broad spectrum of different weed species, other weed species of lower agronomic importance are simultaneously controlled when the entire field is sprayed with herbicides. By using knowledge-based field maps as a decision support system, SSWM can be efficiently employed not only for economic benefits (reduced herbicide inputs) but also for the aim of biodiversity conservation.

After generating the site-specific weed distribution map, additional species-specific information for the detected weeds will be added to this map. Weed functional traits are used to estimate the “value” of a specific weed species: *A. myosuroides* is highly competitive, fast spreading, and difficult to manage, while red list species like *Adonis aestivalis* with a low competitive ability exhibit limited negative impacts on crop production. Population dynamics of weed populations will also be considered as well as their importance in ecological networks. Additionally, site-specific characteristics of the respective field such as elevation, soil parameters, and the surrounding landscape will be included in the maps. Agronomic parameters like crop type, variety, and yield estimations are also part of the knowledge-based maps.

Management plans

Including an interpolated weed distribution map (NORDMEYER, 2006), the knowledge-based maps form the basis for generating the management plan of a specific field. An important step is the definition of specific ecologic, environmental and agronomic aims for the field: which weed species are regarded as problematic? Which are valuable? Which areas of the field should be treated with herbicides more intensively, which areas less intensively, and what kind of use is planned on the field in the subsequent years? Using the information on the technological capacities and restrictions of a farm, a weed management map for a specific year will be generated. Populations of common weeds should be reduced to a level that enables the population to survive without threatening the crop yield. This might be realised on parts of the field with lower expected yield levels or on parts of the field where weed management is difficult to conduct. Since more diverse weed populations tend to be less competitive (STORKEY and NEVE, 2018; ADEUX et al., 2019), increasing the number of different weed species on a field will reduce weed competition over time.

Outlook

Within the project “Better-Weeds”, we aim to develop a workflow to generate a site-specific weed management plan for a specific arable field. This weed management plan will entail the agronomic needs of the farm as well as the ecological aims for the field. All this will be based on global data management: the weed detection and mapping on the field, the definition of agronomic management aims by the farmers, the site-specific conditions as well as potential agronomic/technical restrictions. As a result, the weed management will be conducted less intensively, weed species populations sustain more stable, the environment less stressed and biodiversity will be maintained. Altogether, this plan will be fit for next-generation weed management.

Acknowledgements

The project is supported by funds of the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL) based on a decision of the Parliament of the Federal Republic of Germany via the Federal Office for Agriculture and Food (BLE) under the innovation support programme.

References

- ADEUX, G., E. VIEREN, S. CARLES, P. BÀRBERI, N. MUNIER-JOLAIN, S. CORDEAU, 2019: Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability* **2** (11), 1018–1026, DOI:10.1038/s41893-019-0415-y.
- BARROSO, J., C. FERNANDEZ-QUINTANILLA, B.D. MAXWELL, L.J. REW, 2004: Simulating the effects of weed spatial pattern and resolution of mapping and spraying on economics of site-specific management. *Weed Research* **44** (6), 460–468, DOI:10.1111/j.1365-3180.2004.00423.x.
- BRETAGNOLLE, V., S. GABA, 2015: Weeds for bees? A review. *Agronomy for Sustainable Development* **35** (3), 891–909, DOI:10.1007/s13593-015-0302-5.
- CASTALDI, F., F. PELOSI, S. PASCUCCI, R. CASA, 2017: Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize. *Precision Agriculture* **18** (1), 76–94, DOI:10.1007/s11119-016-9468-3.
- CHRISTENSEN, S., H.T. SØGAARD, P. KUDS, M. NØRREMARK, I. LUND, E.S. NADIMI, R. JØRGENSEN, 2009: Site-specific weed control technologies. *Weed Research* **49** (3), 233–241, DOI:10.1111/j.1365-3180.2009.00696.x.
- ESPOSITO, M., M. CRIMALDI, V. CIRILLO, F. SARGHINI, A. MAGGIO, 2021: Drone and sensor technology for sustainable weed management: a review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* **8** (1), DOI:10.1186/s40538-021-00217-8.
- HALLMANN, C.A., M. SORG, E. JONGEJANS, H. SIEPEL, N. HOFLAND, H. SCHWAN, W. STENMANS, A. MÜLLER, H. SUMSER, T. HÖRREN, D. GOULSON, H. de KROON, 2017: More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PloS one* **12** (10), e0185809, DOI:10.1371/journal.pone.0185809.
- HAMOUZ, P., K. HAMOUZOVÁ, J. HOLEC, L. TYŠER, 2013: Impact of site-specific weed management on herbicide savings and winter wheat yield. *Plant, Soil and Environment* **59** (No. 3), 101–107, DOI:10.17221/599/2012-PSE.
- HUANG, H., J. DENG, Y. LAN, A. YANG, X. DENG, L. ZHANG, 2018: A fully convolutional network for weed mapping of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *PloS one* **13** (4), e0196302, DOI:10.1371/journal.pone.0196302.
- HUNG, C., Z. XU, S. SUKKARIEH, 2014: Feature Learning Based Approach for Weed Classification Using High Resolution Aerial Images from a Digital Camera Mounted on a UAV. *Remote Sensing* **6** (12), 12037–12054, DOI:10.3390/rs61212037.
- KHAN, S., M. TUFAIL, M.T. KHAN, Z.A. KHAN, J. IQBAL, M. ALAM, 2021: A novel semi-supervised framework for UAV based crop/weed classification. *PloS one* **16** (5), e0251008, DOI:10.1371/journal.pone.0251008.
- LATI, R.N., J. RASMUSSEN, D. ANDUJAR, J. DORADO, T.W. BERGE, C. WELLHAUSEN, M. PFLANZ, H. NORDMEYER, M. SCHIRRMANN, H. EIZENBERG, P. NEVE, R.N. JØRGENSEN, S. CHRISTENSEN, 2021: Site-specific weed management—constraints and opportunities for the weed research community: Insights from a workshop. *Weed Research*, DOI:10.1111/wre.12469.
- MARSHALL, E.J.P., V.K. BROWN, N.D. BOATMAN, P.J.W. LUTMAN, G.R. SQUIRE, L.K. WARD, 2003: The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research* **43** (2), 77–89, DOI:10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x.
- MEYER, S., K. WESCHE, B. KRAUSE, 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.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
- NORDMEYER, H., 2006: Patchy weed distribution and site-specific weed control in winter cereals. *Precision Agriculture* **7** (3), 219–231, DOI:10.1007/s11119-006-9015-8.
- 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, DOI:10.1038/s41598-018-38343-3.
- PETEINATOS, G.G., P. REICHEL, J. KAROUTA, D. ANDÚJAR, R. GERHARDS, 2020: Weed Identification in Maize, Sunflower, and Potatoes with the Aid of Convolutional Neural Networks. *Remote Sensing* **12** (24), 4185, DOI:10.3390/rs12244185.
- PFLANZ, M., H. NORDMEYER, M. SCHIRRMANN, 2018: Weed Mapping with UAS Imagery and a Bag of Visual Words Based Image Classifier. *Remote Sensing* **10** (10), 1530, DOI:10.3390/rs10101530.
- 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. 216 Seiten / *Julius-Kühn-Archiv* **464**, Tagungsband 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 3. - 5. März 2020, Braunschweig, DOI:10.5073/jka.2020.464.033.
- SA, I., M. POPOVIĆ, R. KHANNA, Z. CHEN, P. LOTTES, F. LIEBISCH, J. NIETO, C. STACHNISS, A. WALTER, R. SIEGWART, 2018: WeedMap: A Large-Scale Semantic Weed Mapping Framework Using Aerial Multispectral Imaging and Deep Neural Network for Precision Farming. *Remote Sensing* **10** (9), 1423, DOI:10.3390/rs10091423.
- SELSKAB, P., K.L. PETERSEN, K.L. JENSEN, M.B. NIELSEN, L.-C. PAZ, N.-P. JENSEN, P. RYDAHL, O.M. BØJER, A. SCOVILL, R.N. JØRGENSEN, M.S. LAURSEN, N. TEIMOURI, B. HARTMANN, 2021: Analysis of potential herbicide savings using experience and data from the RoboWeedMaPS project.
- STORKEY, J., P. NEVE, 2018: What good is weed diversity? *Weed Research* **58** (4), 239–243, DOI:10.1111/wre.12310.
- TIMMERMANN, C., R. GERHARDS, W. KÜHBAUCH, 2003: The Economic Impact of Site-Specific Weed Control. *Precision Agriculture* **4** (3), 249–260, DOI:10.1023/A:1024988022674.
- WELLHAUSEN, C., M. PFLANZ, J.-P. POHL, H. NORDMEYER, 2020: Generierung von Unkrautverteilungskarten auf der Basis automatischer Annotierungen in Feldaufnahmen. 222 Seiten / *Julius-Kühn-Archiv* **464**, Tagungsband 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 3. - 5. März 2020, Braunschweig, DOI:10.5073/jka.2020.464.034.

LURUU – Lasereinsatz zur Unkrautregulierung bei resistenten Ungräsern und Unkräutern

LURUU – Laser application for weed control of resistant weeds and grasses

Hendrik Hillebrand*, Lisa Köhler, Goßswinth Warnecke-Busch, Dirk Wolber

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Hannover

*hendrik.hillebrand@lwk-niedersachsen.de

DOI: 10.5073/20220124-075927

Zusammenfassung

Die zunehmende Ausbreitung von Herbizidresistenzen auf ackerbaulich genutzten Flächen stellt Landwirte vor akute Probleme bei der Unkrautbekämpfung. Aufgrund der durch die Resistenzentwicklung immer kleiner werdenden Palette an verfügbaren Wirkstoffen mit ausreichendem Wirkungsgrad ist es notwendig, alternative Bekämpfungsmethoden zu entwickeln und im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes anzuwenden. Der innovative Ansatz des Projektes „LURUU – Lasereinsatz zur Unkrautregulierung bei resistenten Ungräsern und Unkräutern“ basiert auf der thermischen Bekämpfung von resistenten Ungräsern mittels mobiler Lasertechnik. Der laserbasierte Ansatz ermöglicht die gezielte Behandlung von Einzelpflanzen, wodurch Auswirkungen auf die Umwelt und die Kulturpflanzen weitestgehend ausgeschlossen werden können. Somit bietet der Einsatz von Lasertechnik eine nachhaltige und zukunftsorientierte Alternative, um den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren und so der Resistenzentwicklung entgegenwirken zu können.

Ziel des Projektes ist es, die Unkrautbekämpfung mittels Lasertechnik auf ihre Praxistauglichkeit zu untersuchen. Dazu wird ein Laserbehandlungsgerät entwickelt, das in der Lage ist, Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) und Windhalm (*Apera spica-venti*) zuverlässig zu erkennen und mittels einer gezielten Laserapplikation effektiv und nachhaltig zu bekämpfen. Für die sichere Erkennung von Ungräsern und Kulturpflanze kommt eine Bilderkennungssoftware zum Einsatz, welche innerhalb des Projektes mit einer Vielzahl von selbsterstellten Fotoaufnahmen trainiert wird. Um die Praxistauglichkeit beurteilen zu können, soll die Laserbehandlung im Rahmen von Feldversuchen mit dem Einsatz von gängigen Herbiziden verglichen und anhand der gewonnenen Daten aus ackerbaulicher, technischer und wirtschaftlicher Perspektive bewertet werden.

Stichwörter: *Alopecurus myosuroides*, Alternative Unkrautbekämpfung, *Apera spica-venti*, Laser

Abstract

The increasing development and spread of herbicide resistance on arable land leads to urgent weed control problems for farmers. Due to the decreasing range of available herbicides with sufficient efficacy caused by the development of resistance, it is necessary to develop and apply alternative weed control methods. The innovative approach of the project „LURUU – Laser application for weed control of resistant weeds and grasses“ is based on the thermal control of resistant grass weeds using mobile laser technology. The laser-based approach allows the selective treatment of single plants so that effects on the environment and crop plants can be largely excluded. Thus, the use of laser technology is a sustainable and future-oriented alternative to reduce the use of chemical pesticides and therefore prevents the development of resistance. The aim of this project is to investigate the practicality of weed control using laser technology. For this purpose, a mobile laser treatment device is being developed which can reliably identify black-grass (*Alopecurus myosuroides*) and common windgrass (*Apera spica-venti*) and control them effectively and sustainably with selective laser application. To ensure a reliable identification of weeds and crop plants, an image recognition software is used which will be trained with the help of an image database created in this

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online project. In order to assess its practicality, field trials will be carried out in which the laser treatment will be compared with the use of common herbicides. The obtained data will be evaluated from an agronomic, technical and economic perspective.

Keywords: *Alopecurus myosuroides*, alternative weed control, *Apera spica-venti*, Laser

Einleitung

Die zunehmende Entwicklung und Ausbreitung von Herbizidresistenzen in Ungräsern wie *Alopecurus myosuroides* (Ackerfuchsschwanz) und *Apera spica-venti* (Gemeiner Windhalm) auf ackerbaulich genutzten Flächen stellt Landwirte vor akute Probleme bei der Unkrautbekämpfung. Die Entstehung dieser Resistenzen wird vor allem durch den immer wiederkehrenden Einsatz von Herbiziden mit demselben Wirkmechanismus ausgelöst. Zusätzlich führen acker- und pflanzenbauliche Faktoren, wie einseitige Fruchtfolgen, der Verzicht auf eine wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug und frühere Aussaattermine von Wintergetreide zu einem hohen Ungrasaufkommen (BALGHEIM, 2006). In Resistenzversuchen des Pflanzenschutzamtes der LWK Niedersachsen mit Samenproben von *Apera spica-venti* wurden in den Jahren 2007 bis 2018 auf fast zwei Drittel der untersuchten Standorte Resistenzen gegenüber der Wirkstoffgruppe der ALS-Hemmer festgestellt (WOLBER et al., 2020a). Ein ähnliches Bild zeigt sich bei *Alopecurus myosuroides*. Auch hier wurden in Biotests zum Teil starke Resistenzen gegenüber mehreren Herbiziden aus der Gruppe der ALS-Hemmer nachgewiesen (WOLBER et al., 2020b). Ebenso weisen die Untersuchungen sowohl bei Windhalm als auch bei Ackerfuchsschwanz auf eine hohe Resistenzgefährdung bei den Photosynthesehemmern und ACCase-Hemmern hin. Aufgrund der durch die Resistenzentwicklung immer kleiner werdenden Palette an verfügbaren Wirkstoffen mit ausreichendem Wirkungsgrad ist es notwendig, das aktuelle Unkrautmanagement zu überdenken und der Entstehung und Ausbreitung von neuen Resistenzen entgegenzuwirken. Neben einem konsequenten Wirkstoffwechsel sowie acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen, wie die Erweiterung von Fruchtfolgen, spätere Aussaattermine oder ein zeitiger Pflugeinsatz, ist die Entwicklung und Erforschung von alternativen Unkrautbekämpfungsmethoden ein wichtiger Baustein für einen nachhaltigen und zukunftsorientierten Ackerbau. Hier setzt das Projekt „LURUU – Lasereinsatz zur Unkrautregulierung bei resistenten Ungräsern und Unkräutern“ an, welches mit der Nutzung von mobiler Lasertechnologie einen innovativen Ansatz bei der Bekämpfung von resistenten Ungräsern wie Ackerfuchsschwanz und Windhalm verfolgt.

Das Projekt LURUU

Das Projekt „LURUU – Lasereinsatz zur Unkrautregulierung bei resistenten Ungräsern und Unkräutern“ ist ein von der Europäischen Union aus dem Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) gefördertes Forschungsvorhaben. Ziel des Projektes ist es, die Unkrautbekämpfung mittels Lasertechnik in die Praxis zu bringen. Hierzu entwickelt das Laser Zentrum Hannover e.V. in Zusammenarbeit mit dem Netzwerk Ackerbau Niedersachsen e.V. (NAN), dem Pflanzenschutzamt der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (PSA) und zwei Landwirten aus der Region Hannover ein mobiles Laserbehandlungsgerät, das mit Hilfe einer Kamera und einer Bilderkennungssoftware in der Lage ist, Ackerfuchsschwanz und Windhalm zuverlässig zu erkennen und mittels einer gezielten Laserapplikation effektiv und nachhaltig zu bekämpfen.

Die Wirksamkeit der gezielten Laserbestrahlung von Unkräutern und Ungräsern basiert auf einer thermischen Schädigung des bestrahlten Gewebes, wobei die Letalität der Behandlung maßgeblich von der Bestrahlungsintensität, dem Applikationsort sowie dem Entwicklungsstadium der Pflanze bestimmt wird (MARX et al., 2012a). Während bei dikotylen Unkräutern eine gezielte Bestrahlung des Apikalmeristems in frühen Wachstumsstadien am effektivsten ist, ist bei Gräsern aufgrund des schwer zu lokalisierenden Wuchszentrums eine Bestrahlung der Sprossbasis knapp oberhalb des Bodens am sinnvollsten. Die

Auswertung von relevanter Literatur (MATHIASSEN et al., 2006; WÖLTJEN et al., 2008; MARX et al., 2012a; MARX et al., 2012b; KAERLE et al., 2013; COLEMAN et al., 2021) sowie die bisher im Projekt LURUU gesammelten Erfahrungen bei der Bestrahlung von Ackerfuchsschwanz zeigen, dass eine Behandlung in frühen Wuchsstadien (BBCH 10-12) am wirkungsvollsten ist und in diesen Entwicklungsstadien eine Bestrahlungsenergie von 5-20 J pro Pflanze für eine letale Schädigung ausreichend ist. Um diesen Energieeintrag zu erreichen, muss die Pflanze bei einer Laserleistung von 500 W für 10-40 ms bestrahlt werden. In Abb. 1 ist ein exemplarisches Beispiel für die typische Schädigung durch eine Laserbestrahlung dargestellt. Der große Vorteil der gezielten Behandlung von Einzelpflanzen ist, dass sich die Wirkung des Lasers auf den Zielorganismus beschränkt und negative Auswirkungen auf den Boden und die Kulturpflanzen weitestgehend ausgeschlossen sind. Somit bietet der laserbasierte Ansatz eine nachhaltige und zukunftsorientierte Alternative, welche im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes dabei helfen kann, den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren und so der Resistenzentwicklung entgegenzuwirken.



Abbildung 1 Effekt einer Laserbehandlung auf Ackerfuchsschwanz im Stadium BBCH 12. Die Versuchspflanze wurde an der Sprossbasis knapp oberhalb des Substrats mit einem Diodenlaser ($\lambda=450$ nm) bestrahlt. Links: kurz vor der Bestrahlung. Mitte: direkt nach der Bestrahlung ist der Spross abgeknickt und liegt auf dem Substrat. Rechts: 7 Tage nach der Bestrahlung ist die Versuchspflanze abgestorben.

Figure 1 Effect of a laser treatment on blackgrass in stage BBCH 12. The test plant was irradiated with a diode laser ($\lambda = 450$ nm) at the base of the shoot just above the substrate. Left: shortly before the irradiation. Middle: immediately after the irradiation, the shoot is kinked and lies on the substrate. Right: 7 days after the irradiation, the test plant is dead.

Grundlage für den erfolgreichen Lasereinsatz in der Unkrautbekämpfung ist die zuverlässige Erkennung von Unkräutern einerseits und Kulturpflanze andererseits. Dies soll im Projekt LURUU durch eine automatische Pflanzenerkennung realisiert werden. Hierbei wird die zu behandelnde Fläche von einer 3D-Kamera abgescannt und die Bilddaten werden anschließend in Echtzeit von einer Objekterkennungssoftware verarbeitet. Wird ein Unkraut erkannt, gibt ein im Laserbehandlungsgerät integrierter Computer die Koordinaten an den Laser weiter, welcher dieses daraufhin gezielt abschießt. Dass eine automatische Erkennung von Unkräutern möglich ist, wurde am Beispiel von dikotylen Pflanzen bereits vielfach gezeigt (RATH & PASTRANA, 2012; PASTRANA & RATH, 2013; XIONG et al., 2017; LI & TANG, 2018). Die besondere Herausforderung für die automatische Pflanzenerkennung im LURUU-Projekt ist die sichere Identifizierung von Ungräsern in Getreidekulturen, da sich diese, insbesondere in frühen Wuchsstadien, nur schwer von der Kulturpflanze unterscheiden lassen. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde eine mobile Fotobox (Abb. 2) entwickelt, mit welcher eine Vielzahl an Fotos von Ackerfuchsschwanz und Windhalm in verschiedenen Entwicklungsstadien unter realen Bedingungen aufgenommen wird. Mit Hilfe dieser Bilddatenbank wird die Objekterkennungssoftware trainiert, um eine bestmögliche Erkennung zu gewährleisten.

Das mobile Laserbehandlungsgerät (LaserWeeder) befindet sich derzeit in der Entwicklung. Anhand eines ersten Prototyps (Abb. 3) wurden die Ansprüche, die sich durch den Einsatz unter praxisnahen Bedingungen ergeben, evaluiert und der Aufbau des finalen LaserWeeders wurde spezifiziert. Nach Fertigstellung wird

der laserbasierte Ansatz in Feldversuchen auf seine Praxistauglichkeit untersucht. Diese werden auf landwirtschaftlich genutzten Flächen mit hohem Ackerfuchsschwanz- und Windhalmbesatz durchgeführt. Hierbei sollen vorerst drei Behandlungsstrategien miteinander verglichen werden. Neben einer Versuchsvariante mit einer in der Praxis üblichen Herbizidstrategie und einer Variante mit ausschließlichem Lasereinsatz wird in der dritten Versuchsvariante der Einsatz von Herbiziden mit der Laserbehandlung kombiniert. Die aus den Feldversuchen gewonnenen Daten werden im Anschluss herangezogen, um die Praxistauglichkeit des Lasereinsatzes zur Unkrautregulierung zu beurteilen und sowohl aus ackerbaulicher als auch aus technischer und wirtschaftlicher Perspektive zu bewerten.



Abbildung 2 Mobile Fotobox mit dessen Hilfe eine Bilddatenbank zur automatischen Pflanzenerkennung aufgebaut wird. Links: Aufbau aus Fahrgestell (1), Bedieneinheit (2) und der vor äußerer Lichteinstrahlung abgeschirmten Fotobox (3). Rechts: Inneres der Fotobox mit LED-Leisten und 3D-Kamera.

Figure 2 Mobile photo box used to create the image database for automatic plant recognition. Left: Structure consisting of the chassis (1), control unit (2) and the photo box shielded from external light (3). Right: Inside of the photo box with LED strips and 3D camera.

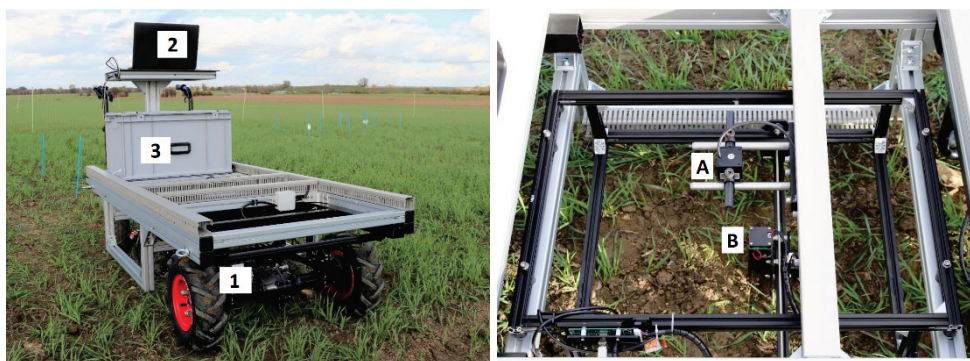


Abbildung 3 Erster Prototyp des Laserbehandlungsgeräts. Links: Trägerfahrzeug (1) mit Steuereinheit für den Laserapplikator (2) und Steuerungselektronik (3). Rechts: Laserapplikator mit Kamera (A) und auf einem Achssystem montiertes Lasermodul (B).

Figure 3 First prototype of the laser treatment device. Left: Carrier vehicle (1) with control unit for the laser applicator (2) and control electronics (3). Right: Laser applicator with camera (A) and laser module (B) mounted on an axis system.

Danksagung

Dieses Forschungsprojekt wird im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft „Produktivität und Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft“ (EIP Agri) aus Mitteln des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) gefördert.



Literatur

- BALGHEIM, R., 2006: Herbizidresistenz vermeiden, Wirkstoffe erhalten – eine Gemeinschaftsaufgabe von Beratung, Forschung und Praxis am Beispiel des Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.). Journal of Plant Diseases and Protection, Sonderheft **XX**, 49–56.
- COLEMAN, G., C. BETTERS, C. SQUIRES, S. LEON-SAVAL, M. WALSH, 2021: Low Energy Laser Treatments Control Annual Ryegrass (*Lolium rigidum*). Frontiers in Agronomy **2**, 601542.
- KAIERLE, S., C. MARX, T. RATH, M. HUSTEDT, 2013: Find and Irradiate – Lasers used for Weed Control: Chemical free elimination of unwanted plants. Laser Technik Journal **3**, 44–47.
- LI, J., L. TANG, 2018: Crop recognition under weedy conditions based on 3D imaging for robotic weed control. Journal of Field Robotics **35**, 596–611.
- MARX, C., S. BARCIKOWSKI, M. HUSTEDT, H. HAERKAMP, T. RATH, 2012a: Design and application of a weed damage model for laser-based weed control. Biosystems Engineering **113**, 148–157.
- MARX, C., J.C. PASTRANA PÉREZ, M. HUSTEDT, S. BARCIKOWSKI, H. HAERKAMP, T. RATH, 2012b: Untersuchungen zur Absorption und Applikation von Laserstrahlung zur Unkrautbekämpfung. Landtechnik **67** (2), 95–101.
- MATHIASSEN, S.K., T. BAK, S. CHRISTENSEN, P. KUDSK, 2006: The Effect of Laser Treatment as a Weed Control Method. Biosystems Engineering **95** (4), 497–505.
- PASTRANA, J.C., T. RATH, 2013: Novel image processing approach for solving the overlapping problem in agriculture. Biosystems Engineering **115**, 106–115.
- RATH, T., J. PASTRANA, 2012: Mensch vs Computer: Bildverarbeitung zur Erkennung überlappender Pflanzen. Landtechnik **67** (3), 172–178.
- WOLBER, D.M., G. WARNECKE-BUSCH, L. KÖHLER, 2020a: Resistenzentwicklung bei *Apera spica-venti* in Niedersachsen. Julius-Kühn-Archiv **464**, 371–377.
- WOLBER, D.M., G. WARNECKE-BUSCH, L. KÖHLER, 2020b: Resistenzsituation von *Alopecurus myosuroides* in Niedersachsen. Julius-Kühn-Archiv **464**, 378–386.
- WÖLTJEN, C., H. HAERKAMP, T. RATH, D. HERZOG, 2008: Plant growth depression by selective irradiation of the meristem with CO₂ and diode lasers. Biosystems Engineering **101**, 316–324.
- XIONG, Y., Y. GE, Y. LIANG, S. BLACKMORE, 2017: Development of a prototype robot and fast path-planning algorithm for static laser weeding. Computers and Electronics in Agriculture **142**, 494–503.

Unkrautregulierung durch regelmäßige Bestrahlung mit Blaulicht-Laser als Herbizidersatz

Weed control with frequent blue-light laser treatment as an alternative to herbicides

Aurel Neff^{1*}, Patrick Barton¹, Andrea Koster², Judith Wirth²

¹ETH Zürich, Institute of Agricultural Sciences, 8092 Zürich, Schweiz

²Agroscope Changins, Produktionssysteme Pflanzen, Herbologie Ackerbau, 1260 Nyon, Schweiz

*aurel.neff@gmail.com

DOI: 10.5073/20220124-080136

Zusammenfassung

Die Verringerung der Menge an Herbiziden, die für die Landwirtschaft verwendet werden, gewinnt an Zugkraft, da ein beträchtlicher Anteil der Konsumenten herbizidfreie Kulturen bevorzugen würde. Die Entwicklung von praxistauglichen und kostengünstigen Alternativen muss jetzt intensiviert werden. Fortschritte in den Bereichen Computer-Vision und Robotik ermöglichen neue Ansätze für eine hochpräzise Unkrautkontrolle in Reienkulturen wie Soja und Zuckerrüben. Ziel ist, Unkräuter während der sensiblen Wachstumsstadien der Kulturpflanze zu regulieren. Im Rahmen dieser neuen Möglichkeiten wurden Blaulicht-Diodenlaser auf ihre Wirksamkeit untersucht. Nach dem Auflaufen der Kulturpflanzen wurden die Unkräuter sieben Mal im Abstand von 3-5 Tagen bestrahlt. Bei Reihenschluss waren die Flächen unkrautfrei und wurden bis zur Ernte nicht weiter behandelt. Die Methode ist für die Landwirtschaft interessant, da Unkräuter effektiv und präzise kontrolliert und gleichzeitig die Kulturpflanzen in der Nähe geschont werden.

Stichwörter: Herbizid-Reduktion, Laser, Methoden der Unkrautkontrolle

Abstract

Decreasing the amount of herbicides used in agriculture is gaining traction as a significant proportion of consumers would favour herbicide-free crops. The development of robust and cost-effective alternatives must be invested now. Advances in computer vision and robotics are enabling new approaches for precision weeding in row crops, such as soy bean and sugar beet. The aim is to inhibit weed growth during the sensitive growth stages of the crop. As part of these new opportunities, the effectiveness of blue diode lasers for weed removal was explored. After the crops emergence, laser treatment is applied to the weeds every 3-5 days. By the time of crop row closure, the areas were found to be weed free and were not treated further until the harvest. The method is interesting for agriculture, as weeds are controlled effectively and precisely, while leaving the cultivated plants in the vicinity unharmed.

Keywords: Alternative weed control methods, herbicide reduction, laser

Einleitung

Eine große Herausforderung bei der Umstellung auf ökologische Landwirtschaft ist der Verzicht auf Herbizide. Für den Anbau von Soja wird empfohlen, die maschinelle Unkrautkontrolle, durch Striegeln und Hacken des Bodens, schon vor der Saat auszuführen und dies alle 7-10 Tage bis Reihenschluss zu wiederholen. Zusätzlich sollen Unkräuter von Hand entfernt werden. Bis vor wenigen Jahren waren dazu 50 bis 150 Handarbeitsstunden pro Hektar üblich. Heute, mit den neuesten Geräten und optimaler Planung rechnet man mit 10 bis 50 Stunden Handarbeit (BIOAKTUELL, 2021). Eine weitere Reduktion dieses Arbeitsaufwandes könnte durch eine maschinelle Unkrautregulierung in den Reihen erreicht werden. In den letzten Jahren wurden - neben mechanischen - vor allem thermische Möglichkeiten zur Kontrolle von Unkraut erforscht. BAUER et al. (2020) kommen in ihrem Überblick zum Schluss, dass diese Methoden und

Geräte zu wenig präzise für die Anwendung in der Landwirtschaft sind. Bei der Kontrolle der Unkräuter durch Abflammen, Elektrizität, Infrarot- oder Mikrowellen sowie bei Wärmebehandlungen mit Heißwasser, Heißschaum oder Heißdampf werden die Kulturpflanzen in unmittelbarer Nähe geschädigt. Mit einem Laser ist es möglich, elektromagnetische Strahlung von genau einer Wellenlänge zu erzeugen und diese stark zu bündeln. Dabei ist die Intensität, und damit die Wirkung der Strahlen, dosierbar. Die unbestrahlte Umgebung wird nicht belastet, da nur eine kleine Fläche präzise behandelt wird. Dies kommt den Bedürfnissen der Landwirtschaft zugute (MARX, 2014). Der Einfluss von elektromagnetischer Strahlung auf Pflanzen hängt stark von deren Wellenlänge ab. Die Strahlen werden entweder an der Oberfläche (oberflächliche Verbrennungen) oder im Innern (inneren Verletzungen) absorbiert. Um gesunde, grüne Blätter zu schädigen sind Wellenlängen im blauen Bereich (400-500 nm) gut geeignet. OSADCUKS et al. (2020) haben einen Laser (445 nm, 12 W) im Gewächshaus bei idealen Laborbedingungen eingesetzt und damit das Pflanzenwachstum erfolgreich reguliert. Mit dieser Arbeit sollen ersten Erfahrungen in einem Feldversuch und bei wechselnden Witterungsbedingungen beschrieben werden. Mit einem relativ schwachen Laser (445 nm, 5 W) werden Unkräuter zwischen Sojapflanzen gezielt bekämpft.

Material und Methoden

Versuchsaufbau

Der Versuch wurde in einem Sojafeld mit der Vorkultur Wintergerste und der abfrierenden Zwischenfruchtmischung AgriGenève 6 im Anschluss (Aussaat 02.07.20) durchgeführt. Das Feld wurde am 04.05.21 ganzflächig mit Glyphosat (5 l/ha, 450 g/l, Roundup Max, Monsanto) behandelt und am 01.06.21 vor der Sojasaat gepflügt (Tiefe 20 cm) sowie mit einer Kreiselegge (Tiefe 5-10 cm) bearbeitet. Für den Versuch wurden neun Aluminiumrahmen (Größe: 0,46 m x 1,16 m, 0,53m²) ausgelegt (Abb. 1). Die Laser-Bestrahlung erfolgte in drei Rahmen insgesamt sieben Mal nach dem Auflaufen der Kulturpflanzen an folgenden Daten: 08.06.21, 11.06.21, 14.06.21, 19.06.21, 22.06.21, 26.06.21 und 03.07.21. Die behandelten Unkräuter befanden sich aufgrund der regelmäßigen Behandlung mehrheitlich im Keimblattstadium und waren kleiner als 0,1 m. Sie wurden manuell mit einem eher schwachen Blaulicht-Laser (445 nm, 5 W) für 3-5 Sekunden bestrahlt. Die Monokotyledonen wurden nahe dem Boden und seitlich am Stängel durch den Laser behandelt. Bei dikotyledonen Pflanzen wurde der Fokus auf das Sprossmeristem in der Mitte der Pflanze gerichtet. Bei Reihenschluss im BBCH 24 (13.07.21) wurde in allen Rahmen die Kulturhöhe gemessen, das Erscheinungsbild visuell beurteilt und die Anzahl Sojapflanzen ermittelt. Zudem wurden die Unkräuter innerhalb der behandelten und nicht behandelten Rahmen gezählt und falls möglich bestimmt. Danach wurden alle Unkräuter nahe beim Boden abgeschnitten und für die Bestimmung der Biomasse bei 80°C (Trockenschrank Model FED 720, Firma Binder, Tuttlingen, Deutschland) für 48 Stunden getrocknet. Vier Wochen nach Reihenschluss im BBCH 82 (09.08.21) wurde die Kulturhöhe gemessen und alle Sojaschoten, welche grösser als 2 cm waren, gezählt.



Abbildung 1 Sojafeld am 08.06.21 (links) und 09.08.21 (rechts)

Figure 1 Soy field on 08.06.21 (left) and 09.08.21 (right)

Statistische Auswertung

Mit den Resultaten wurden zwei Hypothesen getestet:

1. Bei der Anzahl Unkräuter besteht ein signifikanter Unterschied zwischen behandelten und nicht behandelten Flächen.
2. Bei der Kulturhöhe wie auch bei der Anzahl Sojaschoten besteht kein signifikanter Unterschied zwischen behandelten und nicht behandelten Flächen.

Zur Überprüfung der Hypothesen wurden zweiseitige T-Tests mit einem Alpha von 0,05 durchgeführt unter der Annahme, dass die Werte normalverteilt sind.

Ergebnisse

In den nicht behandelten Rahmen traten eine höhere Anzahl und vermehrt ältere Unkräuter auf, während die behandelten Flächen jeweils nur wenige, junge Unkräuter aufwiesen (Abb. 2).



Abbildung 2 Nicht behandelte Fläche (links) und behandelte Fläche (rechts) am 13.07.21.

Figure 2 Untreated area (left) and treated areas (right) on 13.07.21.

Die wiederholte Laserbehandlung der Unkräuter war sehr erfolgreich. Tabelle 1 zeigt, dass bei Reihenschluss auf den nicht behandelten Flächen durchschnittlich 143,5 Unkräuter pro Rahmen vorkamen und Monokotyledone (89,2) häufiger waren als Dikotyledone (54,3). Bei den Monokotyledonen handelte es sich vorwiegend um Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*), bei den Dikotyledonen um Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*), Vielsamigen Gänsefuß (*Chenopodium polyspermum*), Schwarzen Nachtschatten (*Solanum nigrum*) und Breitwegerich (*Plantago major*) (Tab. 2).

Tabelle 1 Anzahl monokotyledoner und dikotyledoner Unkräuter innerhalb nicht behandelter (n=6) und behandelter Flächen (n=3) ± Standardabweichung bei Reihenschluss im BBCH 24 (13.07.21) und vier Wochen nach Reihenschluss im BBCH 82 (09.08.21). Statistisch signifikante Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet

Table 1 Monocotyledonous and dicotyledonous weeds on treated (n=3) and untreated (n=6) areas at row closure (13.07.21) and four weeks later (09.08.21)

Unkräuter pro 0,53 m ²	BBCH 24		BBCH 82	
	nicht behandelte Flächen	behandelte Flächen	nicht behandelte Flächen	behandelte Flächen
Monokotyledone	89.2 ± 15.7 a	0.0 b	5.2 ± 3.8 a	0.0 b
Dikotyledone	54.3 ± 21.4 a	1.3 ± 1.2 b	26.7 ± 4.0 a	2.0 ± 1.4 b
Total	143.5 ± 18.0 a	1.3 ± 1.2 b	31.8 ± 4.2 a	2.0 ± 1.4 b
Trockengewicht [g]	21.6 ± 7.0 a	0.0 b	-	-

Auf den behandelten Flächen traten keine Monokotyledonen und nur sehr wenige Dikotyledonen (1,3) auf, welche sich entweder am Rand oder im Keimblattstadium befanden (Abb. 2, Tab. 1 und 2).

Tabelle 2 Art und Anzahl dikotyledoner Unkräuter bei Reihenschluss (13.07.21). Durchschnittliche Anzahl Unkräuter innerhalb nicht behandelter Flächen (n=6) und behandelter Flächen (n=3) ± Standardabweichung.

Table 2 Type and number of weeds on untreated (n=6) and treated (n=3) areas at row closure (13.07.21)

Unkräuter	nicht behandelte Flächen	behandelte Flächen
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	6.8 ± 3.9	0.0
<i>Chenopodium polyspermum</i>	4.7 ± 6.3	0.0
<i>Solanum nigrum</i>	4.2 ± 2.4	0.0
<i>Plantago major</i>	3.3 ± 1.7	0.0
<i>Veronica persica</i>	1.8 ± 1.2	0.0
<i>Amaranthus retroflexus</i>	1.7 ± 2.1	0.0
<i>Chenopodium album</i>	1.7 ± 1.5	0.0
<i>Sonchus arvensis</i>	1.5 ± 1.0	0.0
andere Dikotyledonen	28.7 ± 19.3	1.3 ± 1.2

Es traten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Sojapflanzen in den behandelten und nicht behandelten Flächen auf (Tab. 3). Die Sojapflanzen befanden sich bei Reihenschluss (13.07.21) im selben Wachstumsstadium (BBCH 24) und hatten ein ähnliches Erscheinungsbild. Auch vier Wochen nach Reihenschluss (09.08.21) war die Höhe der Kulturpflanzen auf den nicht behandelten und behandelten Flächen ähnlich. Die Pflanzen befanden sich im selben Wachstumsstadium (BBCH 82), hatten größtenteils ein ähnliches Erscheinungsbild und die Anzahl Schoten pro Sojapflanze war identisch (Tab. 3). In zwei aufeinanderfolgenden Versuchsrahmen (einer mit und einer ohne Behandlung) waren jedoch etwa die Hälfte der Pflanzen auf den Boden gedrückt. Dies hatte einen größeren Einfluss auf die Ergebnisse der behandelten Rahmen, da die totale Anzahl der Flächen halb so groß war. Auf den nicht behandelten Flächen traten zu diesem Zeitpunkt mehr (31,08) und zum Teil auch blühende Unkräuter auf. Auf den behandelten Flächen wurden - auch ohne weitere Laser-Behandlungen - nur wenige (2,0) junge Unkräuter bonitiert (Tab. 1).

Tabelle 3 Höhe der Sojapflanzen und Anzahl Sojaschoten pro Pflanze. Durchschnittliche Höhe der Sojapflanzen innerhalb nicht behandelter Flächen (n=6) und behandelter Flächen (n=3) ± Standardabweichung bei Reihenschluss im BBCH 24 (13.07.21) und vier Wochen nach Reihenschluss im BBCH 82 (09.08.21). Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden

Table 3 Height of soybean plants and number of soybean pods per plant on treated and untreated areas four weeks after row closure (09.08.21)

Kulturpflanzen pro 0,53 m ²	BBCH 24		BBCH 82	
	nicht behandelte Flächen	behandelte Flächen	nicht behandelte Flächen	behandelte Flächen
Sojapflanzen	33.0 ± 1.9	34.0 ± 0.8	33.0 ± 1.9	33.3 ± 0.5
Kulturhöhe [cm]	60.2 ± 2.8	65.8 ± 4.1	103.4 ± 6.6	103.8 ± 7.6
Sojaschoten > 2cm pro Pflanze	-	-	17.3 ± 1.5	16.5 ± 2.4

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass durch kontinuierliche Bestrahlung mit einem Blaulicht-Laser die Unkräuter im Feld kontrolliert werden können. Geschieht dies bis Reihenschluss treten - auch ohne weitere Behandlung - nur vereinzelte, juvenile Unkräuter auf. Das Blühen von Unkräutern wird verhindert. Die Ergebnisse

bestätigen OSADCUKS et al. (2020) welche bereits gezeigt haben, dass durch leichte Laserbehandlung Pflanzen zerstört werden können. Während deren Versuche im Gewächshaus stattgefunden haben, wurden die hier beschriebenen Daten unter Feldbedingungen erhoben. Zudem wurde ein schwächerer Laser verwendet. Dieser reichte aus, die juvenilen Unkräuter zu regulieren. Bei regelmäßiger Behandlung treten hauptsächlich juvenile Unkräuter auf. Somit ist diese Methode für die Landwirtschaft interessant. BAUER et al. (2020) hat die Vorteile einer Laserbestrahlung hervorgehoben, insbesondere den Schutz der Kulturpflanzen. Die These wurde mit diesem Versuch bestätigt, die Laserbehandlung hat keine ersichtlichen negativen Auswirkungen auf die Kulturpflanze im Gegensatz zur Gasverbrennung, Dampf- oder Heißwasseranwendung. Für statistisch relevante Aussagen müsste der Versuch auf größeren Flächen, unterschiedlichen Böden und mehrjährig durchgeführt werden. Bezüglich der Laser-Behandlung könnte die Methode weiter optimiert werden. Der Bestrahlungsrhythmus (Anzahl Tage zwischen zwei Laser-Behandlungen) könnte verlängert und damit die Anzahl Anwendungen pro Kultur verringert werden. Weiterhin sollte die Bestrahlungsdauer an die Pflanzenarten, die Größe der Pflanzen und die Witterung angepasst werden. Damit die Methode als Herbizidersatz in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann, muss sie automatisiert werden. Der Blaulicht-Laser sollte von einem Roboter durch die Reihen geführt und seine Neigung durch Motoren an die Art und Größe der Unkräuter angepasst werden. Das Anvisieren des Zieles und die Bestrahlung sollten selbständig mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems erfolgen, welches in der Lage ist, Kulturpflanzen und Unkräuter zu unterscheiden und die sensiblen Stellen für die Bestrahlung zu erkennen. Die Entwicklung dieser erweiterten Methode ist allerdings aufwändig. Einerseits ist sie technisch anspruchsvoll und benötigt einen ausführlichen Datensatz, andererseits muss sie sich unter Freilandbedingungen bewähren. Zudem muss der systematische Ansatz geprüft werden. Der große Vorteil der Laserbehandlung, die gezielte Anwendung, ist auch deren größter Nachteil: Bei hohem Unkrautdruck kann die Geschwindigkeit der Methode beträchtlich abnehmen und dementsprechend teuer werden. Dieses Risiko könnte durch Parallelisierung von Lasermodulen oder Kombination mit Hackwerkzeugen minimiert werden.

Literatur

- BAUER, M.V., C. MARX, F.V. BAUER, D.M. FLURY, T. RIPKEN, B. STREIT, 2020: Thermal weed control technologies for conservation agriculture – a review. *Weed Research* **60**, 241– 250. DOI: 10.1111/wre.12418
<https://www.bioaktuell.ch/pflanzenbau/ackerbau/koernerleguminosen/sojy-hacken-de.html>.
- MARX, C., 2014: Untersuchungen zum Einsatz von Lasertechnologie in der Pflanzenproduktion. Zugl. Dissertation, Hannover, Leibniz Universität. ISBN: 978-3-944586-61-8.
- OSADCUKS, V., A. KOSTROMINS, A. PECKA, V. KOTELENECS, J. JASKO, 2020: Experimental efficiency evaluation of 445 nm semiconductor laser for robotized weed control applications. *Agronomy Research* **18** (2), 1380-1387, DOI: 10.15159/AR.20.135.

Projekt „Ausstieg Glyphosat“ – Untersuchung und Bewertung von Verfahren zur Vegetationskontrolle für den geplanten Einsatz im Gleisbereich

Project "Exit Glyphosate" - Investigation and evaluation of methods for vegetation control for the planned use in the track area

Ulrike Sölter^{1*}, Arnd Verschwele¹

¹Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

*ulrike.soelter@julius-kuehn.de

DOI: 10.5073/20220124-080136

Zusammenfassung

Die Gleisanlagen der Deutschen Bahn (DB) müssen aus Gründen der Betriebs- und Verkehrssicherheit von Aufwuchs freigehalten werden. Aktuell werden hierzu mangels verfügbarer Alternativen ausschließlich Herbizide im Rahmen der chemischen Vegetationskontrolle eingesetzt. Die Diskussionen um den Herbizideinsatz auf Gleisanlagen sowie zunehmende Auflagen bei der Ausbringung, beispielsweise die Beschränkung auf einzelne Wirkstoffe oder Anwendungsverbote in einzelnen Streckenabschnitten, haben die DB bereits in der Vergangenheit dazu veranlasst, zahlreiche Verfahren der nicht-chemischen Vegetationskontrolle zu untersuchen. Im Jahre 2016 hat die DB beim Internationalen Eisenbahnverband (UIC) ein Projekt initiiert, um den aktuellen Stand und neue Möglichkeiten der Vegetationskontrolle für den Gleisbereich bei allen Mitgliedsbahnen ermitteln und neu bewerten zu lassen. Im Ergebnis konnten die Verfahren „*electro-weeding*“ (Unkrautbekämpfung mit elektrischem Strom) und „Heißwasser“ als potenziell geeignet ermittelt werden. In einem gestuften Verfahren unter den besonderen Bedingungen des Gleisbereichs werden diese Verfahren auf ihre Wirksamkeit in einem dreijährigen Projekt (2020-2023) untersucht. Auf Modellflächen auf dem Gelände des Julius Kühn-Institutes und realen Gleisanlagen werden die jeweiligen Verfahren durch Dienstleistungsfirmen angewandt. Das Julius Kühn-Institut stellt im Auftrag der DB die Modellflächen bereit, begleitet die Behandlungen, dokumentiert den Behandlungserfolg und wertet diesen aus. Bei positivem Ergebnis sollen die beiden genannten Verfahren zukünftig als ein Baustein im Sinne einer integrierten Vegetationskontrolle im Gleisbereich angewendet werden. Ergebnisse des 1. Versuchsjahres zeigten im Vergleich zur Heißwasserbehandlung einen höheren Wirkungsgrad bei der *electro-weeding*-Behandlung.

Stichwörter: Elektrizität, Gleisanlagen, Heißwasser, nicht-chemische Vegetationskontrolle

Abstract

The track systems of German Railways (*Deutsche Bahn*, DB) must be kept free of vegetation for reasons of operational and traffic safety. Due to the lack of available alternatives, herbicides are currently used exclusively for chemical vegetation control. The discussions about use of herbicides on track systems and increasing requirements for application, for example the restriction to individual active ingredients or application bans in individual sections of the route, have already prompted DB to investigate numerous methods of non-chemical vegetation control in the past. In 2016, DB initiated a project at the International Union of Railway Companies (UIC) to determine and re-evaluate the current status and new possibilities of vegetation control for the track area of all member railway companies. As a result, the methods “*electro weeding*” (weed control with electricity) and “hot water” were identified as potentially suitable. In a stepped procedure under the special conditions of the track area, these procedures are examined for their effectiveness in a 3 year project (2020-2023). The respective processes are applied by service providers on model areas on the site of the Julius Kühn-Institute and real track systems. The Julius Kühn-Institute

provides the model areas on behalf of DB, accompanies the treatments, documents the success of treatments and evaluates it. If the result is positive, the two methods mentioned are to be used in the future as a component in the sense of an integrated vegetation control in the track area. Results from the first year of the experiment showed a higher degree of effectiveness in *electro weeding* treatment than hot water treatment.

Keywords: electricity, hot water, non-chemical vegetation control, track systems

Einleitung

Electro weeding

Die Bekämpfung von Unkräutern durch Stromschlag wurde schon früh entdeckt (SHARP, 1892; BAKER, 1949) und befindet sich seit den 1970er Jahren in der Entwicklung (DIPROSE und BENSON, 1984, BOND et al., 2003). Das Prinzip wurde von früheren und aktuellen elektrothermischen Unkrautbekämpfungsgeräten wie dem Lasco LW5 Lightning Weeder (Lasco) oder dem Zasso Electroherb (Zasso, Indaiatuba, Brasilien) angewendet. Nach wie vor ist das Verfahren, im Vergleich zur Herbizidapplikation, durch eine niedrige Betriebsgeschwindigkeit und hohen Energieverbrauch, kostenintensiver (NOLTE et al., 2018). Die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet erstrecken sich bislang vorrangig auf den Einsatz in der biologischen Landwirtschaft und in der kommunalen Anwendung auf Wegen und Plätzen, vorrangig mit handgeführten Geräten.

Heißwasser

Das Prinzip der thermischen Unkrautbekämpfung besteht darin, dass Temperaturen über 60°C zu einer Denaturierung der Nukleinsäuren in der Pflanzenzelle führen. Die Einwirkung verursacht eine irreversible Schädigung des Pflanzengewebes und führt zum Absterben. Wird der Vegetationspunkt nicht getroffen, kann die Pflanze wieder austreiben, weitere Anwendungen sind dann nötig (3-5 pro Jahr). Faktoren wie Unkrautentwicklungsstadium, Expositionszeit, Tröpfchengröße, Netzmittel, Wassertemperatur, Variation der thermischen Empfindlichkeit am Tag und Wasserfluss haben einen Einfluss auf den Wirkungsgrad der Heißwasserbehandlung (HANSSON und MATTSSON, 2002; DE CAUWER et al., 2015). Darüber hinaus können Umweltfaktoren wie Lufttemperatur, Trockenheit und Niederschläge die Wirksamkeit der Unkrautbekämpfung mit Heißwasser beeinflussen (HANSSON und MATTSSON, 2003). Eine negative exponentielle Beziehung zwischen letaler Temperatur und Expositionszeit wurde allgemein berichtet (SUTCLIFFE, 1977; LEVITT, 1980; HANSSON und ASCARD, 2002). Auch stellten die Autoren HANSSON und ASCARD (2002) fest, dass die Unkrautbekämpfung mit heißem Wasser ein Potenzial für städtische harte Oberflächen und Bahndämme, insbesondere dort, wo der Einsatz von Herbiziden eingeschränkt ist, hat.

Material und Methoden

Beschreibung des eingesetzten electro weeding-Systems

Das von Bayer eingesetzte *electro-weeding*-System „RootWave™ Pro“ behandelt Unkraut, indem, mithilfe von Hochspannung, elektrischer Strom durch das Unkraut geleitet wird (Abb. 1.)



Abbildung 1 Das RootWave TM Pro System mit Lanze.

Figure 1 The RootWave TM Pro system with lance.

Das Gerät funktioniert mit Wechselstrom. Der Strom fließt durch die Elektrode der Behandlungslanze (Arbeitsbreite von 20 cm) den Pflanzenstiel herunter in die Wurzeln und durch den Boden zurück zur Bezugselektrode. Der Stromfluss verursacht einen schnellen Temperaturanstieg, der sowohl die ober- als auch die unterirdische Zellstruktur des Unkrauts schädigt. Infolgedessen vertrocknen die Pflanzen und sterben ab. Da eine Pflanze in möglichst kurzer Zeit behandelt werden soll, ist eine hohe Spannung nötig. Die Spannung wird vom Bediener ausgewählt und kann auf 3.000, 4.000 oder 5.000 Volt eingestellt werden. Das System ist für einen Betrieb unter 1 Ampere ausgelegt. Es kann jedoch für kurze Zeiträume bis unter 1,5 Ampere betrieben werden, wenn die Umgebung einen besonders geringen Widerstand aufweist (Tab. 1).

Tabelle 1 Überblick zu Spannung, Stromstärke und Leistung des RootWave TM Pro Systems

Table 1 Overview of voltage, current and power of the RootWave TM Pro system

Spannung [Kilovolt]	Stromstärke [Ampere]	Leistung [Kilowatt]
5	< 1,0	< 5
4	< 0,8	< 3
3	< 0,6	< 2

Beschreibung des eingesetzten Heißwassersystems

Die Behandlungen wurden mit dem GEYSIR®-Heißwassersystem durchgeführt. Die Warmwasserausrüstung besteht aus einer stationären Heizvorrichtung und einem handgeschobenen Heißwasserapplikator. Dieser Applikator hat eine Arbeitsbreite von 85 cm. Die Düsen sind in zwei Düsensträngen angeordnet, wobei ein Strang 8 und ein anderer Strang 9 Düsen hat. Die Düsen haben einen Abstand von 10 cm zueinander (Abb. 2).



Abbildung 2 Heißwassergerät auf der Gleisfläche und von der Unterseite.

Figure 2 Hot water device on the track area and from the underside.

Die beiden Düsenstränge haben einen Abstand von 14 cm. Der Durchmesser der Austrittsöffnung der Düsen beträgt 0,9 mm. Während der Applikation befinden sich die Düsen ca. 8 cm über der Oberfläche des Bodens. Der Wasserverbrauch beträgt 7 l/min. Die Wassertemperatur kann nur im Heizkessel gemessen werden und hatte bei den Versuchen eine Temperatur von 105-110°C. Die Prüfvarianten unterschieden sich durch unterschiedliche Geschwindigkeiten und damit im ausgebrachten Wasservolumen pro m² behandelte Fläche. Die Geschwindigkeiten können nicht am Gerät eingestellt, sondern müssen über die vorher genau geübte Schrittgeschwindigkeit des Dienstleisters eingehalten werden.

Modellversuche electro weeding und Heißwasser

Für die Modellversuche auf dem Gelände des JKI wurden jeweils 6 Betonrahmenparzellen (je 1 m x 10 m) mit Gleisbettmaterial (Korngröße 32-63 mm) und mit Randwegmaterial (Korngröße 0-16 mm) gefüllt (Tiefe ca. 20-30 cm). In den Modellversuchen sollte mit dem *electro-weeding*-Verfahren der Wirkungsgrad bei einer frühen (4-6 Laubblätter entfaltet) und einer späten Behandlung (20 % des arttypischen maximalen Längen- bzw. Rosettenwachstums bis maximale Länge bzw. maximaler Durchmesser erreicht) untersucht werden. Beim Heißwasserverfahren sollte eine einmalige und eine zweimalige Behandlung durchgeführt werden. Eine Übersicht der Behandlungs- und Erntetermine des 1. Versuchsjahres sind in Tabelle 2 zu finden. Es wurden je 4 Varianten für die Behandlungen und entsprechende unbehandelte Kontrollen angelegt:

electro-weeding-Varianten

- Gleisbett mit einer frühen Behandlung (4-6 Laubblätter entfaltet)
- Gleisbett mit einer späten Behandlung (8 Laubblätter entfaltet bis 9 oder mehr Bestockungstriebe)
- Randweg mit einer frühen Behandlung (4-6 Laubblätter entfaltet)
- Randweg mit einer späten Behandlung (8 Laubblätter entfaltet bis 9 oder mehr Bestockungstriebe)
- Unbehandelte Kontrolle im Gleisbett mit einem frühen Wachstumsstadium (4-6 Laubblätter entfaltet zum Zeitpunkt der Behandlungen)
- Unbehandelte Kontrolle im Gleisbett mit einem späten Wachstumsstadium (8 Laubblätter entfaltet bis 9 oder mehr Bestockungstriebe)
- Unbehandelte Kontrolle im Randweg mit einem frühen Wachstumsstadium (4-6 Laubblätter entfaltet zum Zeitpunkt der Behandlungen)
- Unbehandelte Kontrolle im Randweg mit einem späten Wachstumsstadium (8 Laubblätter entfaltet bis 9 oder mehr Bestockungstriebe)

Heißwasservarianten

- Gleisbett mit einer Behandlung zum Zeitpunkt 4-6 Laubblätter entfaltet

- Gleisbett mit zwei Behandlungen, 1. Behandlung zum Zeitpunkt 4-6 Laubblätter entfaltet, 2. Behandlung 21 Tage später
- Randweg mit einer Behandlung zum Zeitpunkt 4-6 Laubblätter entfaltet
- Randweg mit zwei Behandlungen, 1. Behandlung zum Zeitpunkt 4-6 Laubblätter entfaltet, 2. Behandlung 21 Tage später
- Unbehandelte Kontrolle im Gleisbett mit einem frühen Wachstumsstadium (4-6 Laubblätter entfaltet zum Zeitpunkt der Behandlungen)
- Unbehandelte Kontrolle im Randweg mit einem frühen Wachstumsstadium (4-6 Laubblätter entfaltet zum Zeitpunkt der Behandlungen)

Zur Prüfung wurden von den 15 als am häufigste sowohl im Gleisbett als auch im Randweg vorkommend beschriebenen Unkrautarten (EGGERS et al., 2001) 4 Pflanzenarten ausgewählt. Die Auswahlkriterien waren dabei eine problemlose Samenbeschaffung, eine gute Keimfähigkeit und eine einfache Etablierung der Pflanzen.

Ausgewählte Pflanzenarten:

- Echtes Johanniskraut (*Hypericum perforatum*)
- Löwenzahn (*Taraxacum officinale*)
- Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*)
- Rotschwingel (*Festuca rubra*)

Im Frühjahr 2020 wurden die Samen in Aussaatschalen zum Keimen gebracht und im 2-Blatt-Stadium in Kokosquelltöpfe (ca. 4 cm Höhe und 4 cm Durchmesser) pikiert. Die Auspflanzung der 4 Arten erfolgte eine Woche vor der ersten Behandlung mit den beiden Verfahren, für die Variante „*electro weeding* spät“ 3 Wochen später (Tab. 2). Bei Bedarf konnte bewässert werden. Auch ein Schutz aus Netzen musste nach einigen Wochen gespannt werden, da Krähen die Pflanzen aus dem Gleisbettmaterial zogen. Jede der Betonrahmenparzellen stellte eine Variante dar, in die die Zielpflanzen eingepflanzt wurden. Auf Grund der beschränkten Fläche, konnten keine echten Wiederholungen angelegt werden. Jede der 4 geprüften Arten wurde 12 Mal in einem randomisierten Platzsystem eingepflanzt, welches aber für alle Varianten beibehalten wurde. Die 12 Pflanzen einer Art wurden als einzelne Wiederholungen pro Variante angesehen.

Tabelle 2 Daten der Bepflanzung, Behandlungen und Ernte der Modellflächen

Table 2 Data on planting, treatments and harvesting of the model areas

Variante	Auspflanzung	Behandlung (BBCH Stadium)	Ernte der Frischmasse
<i>electro-weeding</i> früh	07.07.2020	16.07.2020 (13-24)	27.08.2020
<i>electro-weeding</i> spät	29.07.2020	07.08.2020 (18-29)	27.08.2020
Heißwasser eine Behandlung	07.07.2020	14.07.2020 (13-24)	28.08.2020
Heißwasser zwei Behandlungen	07.07.2020	14.07. (13-24) und 04.08.2020	28.08.2020

Bei der Behandlung *electro weeding* wurde die Lanze 5 Sekunden lang mit 5 KV Spannung an jede einzelne Pflanze der entsprechenden Variante gehalten. Bei der Behandlung mit Heißwasser betrug die Geschwindigkeit bei der Überfahrt immer 1,1 km/h, die pro m² ausgebrachte Heißwassermenge somit 0,45 Liter. Die Temperatur im Tank wurde mit 105-110 °C gemessen. Mit einer Wärmebildkamera der Firma FLIR® (Modell FLIR T4) konnte die Temperatur an den Pflanzenoberflächen erfasst werden, bei der Heißwasserbehandlung technisch bedingt erst 1-3 Sekunden nach der Überfahrt. Die erreichte durchschnittliche Temperatur an der Oberfläche betrug im Gleisbett 46,1°C und im Randweg 52,4°C. Beim *electro-weeding*-Verfahren war dies nicht möglich, da die stärkste Hitzeentwicklung an der Pflanze zu kurz ist, um die erreichte Temperatur mit der Kamera zu erfassen. Zur Bestimmung des Wirkungsgrades wurden

alle Parzellen 3 Wochen nach der letzten Behandlung (d. h. *electro-weeding* spätes Wachstumsstadium, Heißwasser 2. Behandlung) bzw. 6 Wochen nach der 1. Behandlung (d. h. *electro-weeding* frühes Wachstumsstadium, Heißwasser eine Behandlung) geerntet. Die Oberirdische Frischmasse jeder einzelnen Pflanze wurde an der Bodenoberfläche abgeschnitten und gewogen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Bestimmung der oberirdischen Frischmasse erfolgte 3 Wochen nach Applikation. In Relation zu der unbehandelten Kontrolle wurde der Wirkungsgrad nach ABBOTT (1925) bestimmt. Sowohl im Gleisbett als auch im Randweg hatten die Varianten *electro-weeding* früh und *electro weeding* spät einen höheren Wirkungsgrad (Tab. 3) als Heißwasser einmal und zweimal. Der Grund für die bessere Wirkung der *electro-weeding* Variante könnte an der höheren Energiezufuhr an der Pflanze und somit ihrer Schädigung liegen. Dies wird in den Versuchsjahren 2021 und 2022 zu prüfen sein.

Tabelle 3 Mittlerer Wirkungsgrad [%] als Relation zur Frischmasse der unbehandelten Kontrolle, der einzelnen Arten im Gleisbett

Table 3 Mean efficiency [%] as fresh matter in relation to the untreated control, of the individual species in the track bed

Variante	Echtes Johanniskraut (<i>H. perforatum</i>) n=12 (Min-Max)	Löwenzahn (<i>T. officinale</i>) n=12 (Min-Max)	Glatthafer (<i>A. elatius</i>) n=12 (Min-Max)	Rotschwingel (<i>F. rubra</i>) n=12 (Min-Max)
electro weeding früh	95 (82-100)	90 (73-100)	98 (87-100)	92 (0-100)
electro weeding spät	99 (93-100)	100 (-)	97 (88-100)	97 (86-100)
Heißwasser einmal	77 (45-100)	80 (46-100)	90 (65-100)	84 (17-100)
Heißwasser zweimal	59 (7-100)	65 (34-100)	68 (0-100)	85 (46-100)

Des Weiteren war die Bekämpfung im Randweg erfolgreicher als im Gleisbett (Tab. 4), was sich am höheren Wirkungsgrad aller Varianten zeigte. Sowohl im Gleisbett als auch im Randweg hatten die Varianten *electro weeding* früh und *electro weeding* spät einen höheren Wirkungsgrad als Heißwasser einmal und zweimal. Auch war die Bekämpfung im Randweg erfolgreicher als im Gleisbett, was sich am höheren Wirkungsgrad aller Varianten zeigte. BOHREN et al (2020) stellten in ihren Untersuchungen mit einem Heißwasserspritzfahrzeug auf Gleisen fest, dass sich vor allem Einjährige zweikeimblättrige und Einjährige einkeimblättrige Unkräuter in einem frühen Stadium reduzieren lassen, was sich mit den Ergebnissen dieser Arbeit deckt.

Tabelle 4 Mittlerer Wirkungsgrad [%] als Relation zur Frischmasse der unbehandelten Kontrolle, der einzelnen Arten im Randweg

Table 4 Mean efficiency [%] as fresh matter in relation to the untreated control, of the individual species in the edge way

Variante	Echtes Johanniskraut (<i>H. perforatum</i>) n=12 (Min-Max)	Löwenzahn (<i>T. officinale</i>) n=12 (Min-Max)	Glatthafer (<i>A. elatius</i>) n=12 (Min-Max)	Rotschwingel (<i>F. rubra</i>) n=12 (Min-Max)
electro weeding früh	100 (-)	100 (-)	100 (-)	99 (83-100)
electro weeding spät	100 (-)	100 (-)	100 (-)	97 (63-100)
Heißwasser einmal	92 (82-100)	83 (57-94)	89 (67-100)	93 (71-100)
Heißwasser zweimal	94 (86-100)	86 (77-91)	88 (77-98)	97 (96-100)

Literatur

- ABBOTT, W.S., 1925: A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. *Journal of Economic Entomology* **18** (2), 265-267.
- BAKER, G.M., 1949: United States Patent Office, electrical weed killer Patent US No 2.484.443.
- BOHREN, C., G. ADOLPH, L. TANNER, 2020: Wirkungsvergleich Heißwasser und Herbizid – Schweizer Bahnen wollen ab 2025 weitgehend auf Herbizideinsatz verzichten. 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, JK Archiv **464**, 420-426.
- BOND, W., R.J. TURNER, A.C. GRUNDY, 2003: A review of non-chemical weed management. HDRA, the Organic Organisation, Ryton Organic Gardens, Coventry, UK, 81
https://www.gardenorganic.org.uk/sites/www.gardenorganic.org.uk/files/updated_review_0.pdf
Accessed 19 October 2020.
- DE CAUWER, B., S. BOGAERT, S. CLAERHOUT, R. BULCKE, D. REHEUL, 2015: Efficacy and reduced fuel use for hot water weed control on pavements. *Weed Res.* **55**, 195–205.
- DIPROSE, M.F., F.A. BENSON, 1984: Electrical methods of killing plant. *Journal of Agricultural Engineering Research* **30**, 197-209.
- EGGERS, T., P. ZWARGER, D. ADERHOLD, 2001: Bewuchsentwicklung und Bildung typischer Pflanzenbestände auf Gleisanlagen, *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **53** (4), S. 91-97, ISSN 0027-7479. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- HANSSON, D., J. ASCARD, 2002: Influence of developmental stage and time of assessment on hot water weed control. *Weed Research* **42**, 307– 316.
- HANSSON, D., J.E. MATTSSON, 2002: Effect of drop size, water flow, wetting agent and water temperature on hot-water weed control. *Crop. Prot.* **21**, 773–781.
- HANSSON, D., J.E. MATTSSON, 2003: Effect of air temperature, rain and drought on hot water weed control. *Weed Res.* **43**, 245–251.
- LEVITT, J., 1980: Responses of plants to environmental stresses. Vol. I: Chilling, freezing, and high temperature stresses, 2nd edn. New York: Academic Press.
- MEIER, U., 2001: Entwicklungsstadien mono- und dikotylar Pflanzen. BBCH Monografie. Quedlinburg 2018. Open Agrar Repository.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

NOLTE, R., S. BEHRENDT, M. MAGRO, K. PIETRAS-COUFFIGNAL, 2018: HERBIE - Guidelines, State of the Art and Integrated Assessment of Weed Control and Management for Rail-ways. Assessment and Recommendations.

SHARP, A.A., 1892: Vegetation-exterator, Patent US492635 A.

SUTCLIFFE, J., 1977: Plants and temperature. London: Edward Arnold.

Einfluss des Gemengeanbaus verschiedener Körnerleguminosen auf die photosynthetisch-aktive Strahlung (PAR) im Bestand und die Unkrautunterdrückung unter Bedingungen des ökologischen Landbaus

Effect of intercropped grain legumes on the photosynthetically active radiation under crop canopy and the weed under the conditions of organic farming

Nadja Rinke*, Herwart Böhm

¹Thünen-Institut, Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau

*naja.rinke@thuenen.de

DOI: 10.5073/20220125-060136

Zusammenfassung

Körnerleguminosen sind wichtige Elemente des ökologischen Landbaus. Das Erntegut ist reich an Protein und kann als betriebseigenes Futtermittel für die Tierfütterung genutzt werden. Körnerleguminosen diversifizieren die Fruchtfolgen, unterbrechen Lebenszyklen von Getreidekrankheiten und haben die Fähigkeit, Luftstickstoff zu fixieren. Die oft geringeren Erträge und die langsame Jugendentwicklung, welche das Risiko für Frühverunkrautung erhöht, können durch den Gemengeanbau von Körnerleguminosen mit Sommergetreide kompensiert werden.

Ein Feldversuch wurde am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau in Trenthorst (Norddeutschland) durchgeführt, um die Leistung von Körnerleguminosen-Gemengen und -Reinsaaten zu vergleichen. Die Parzellen wurden in einem randomisierten Blockdesign mit vier Wiederholungen angelegt. Für die Kulturen Ackerbohne, Futtererbse, Blaue und Weiße Lupine wurden je zwei Sorten mit unterschiedlichen Eigenschaften getestet. Während der Vegetationsperiode wurde die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) unter dem Bestand auf der Höhe der Unkräuter zu acht Zeitpunkten gemessen. Parallel wurde die Globalstrahlung gemessen, um die Strahlung zu ermitteln, die durch den Bestand dringt.

Zur Abreife der Kulturen wurde eine Handerte auf einem Quadratmeter durchgeführt, um die Unkrautbiomasse zu ermitteln. Die Biomasse wurde bis zur Gewichtsbalance getrocknet und der Stickstoffgehalt analysiert.

Die Ergebnisse zeigen eine Reduktion der Strahlung in den Körnerleguminosen-Gemengen in der kritischen Phase der Jugendentwicklung im Vergleich zu den jeweiligen Reinsaaten. Die Bestockung des Getreides führte zu einer schnellen Beschattung des Bodens und einem starken Rückgang der Strahlung im Bestand in der Sommerweizen-Reinsaat. Im Gemenge profitierten die Körnerleguminosen von dieser schnellen Beschattung, besonders die Gemenge der Kulturen Ackerbohne während des Längenwachstums und Futtererbse ab der Blüte. Lupinen zeigen ein ausgeprägtes Rosettenwachstum, welches zur effektiven Beschattung des Bodens führt, sodass der Effekt des Gemengeanbaus marginal war. Zur Hülsenbildung zeigte der Gemengeanbau von Weißen Lupinen sogar einen gegenteiligen Effekt. Die geringere Anzahl von Weißen Lupinen pro Quadratmeter führte zu einer geringeren Beschattung als in den Reinsaaten.

Bei den Körnerleguminosen war kein Sorteneffekt auf die Beschattung, mit Ausnahme der Futtererbse, erkennbar. Die langstrohige Futtererbsensorte Muza beschattete den Boden ab dem Stadium der Hülsenbildung besser als die kurzstrohige Sorte Astronate.

Der Gemengeanbau reduzierte die Unkrautbiomasse im Vergleich zur jeweiligen Reinsaat. Für beide Lupinenarten war die Reduktion der Unkrautbiomasse signifikant, so konnte durch den Gemengeanbau eine Reduktion von 53,5 % erreicht werden. In den Reinsaaten war die Stickstoffaufnahme der Unkräuter höher als in den dazugehörigen Gemengen. Hieraus kann gefolgert werden, dass das Getreide im Gemenge den pflanzenverfügbaren Stickstoff im Boden reduziert, sodass dieser nicht mehr für die Unkräuter zu

Verfügung steht. Dieser Effekt war für die Unkrautbiomasse in Parzellen der Ackerbohne, Schmalblättrigen und Weißen Lupine signifikant, jedoch nicht für die Futtererbse.

Das Jahr 2018 war geprägt von sehr warmem und trockenem Wetter, wodurch die Versuchsergebnisse beeinflusst wurden. Die Auswertung der folgenden Jahre wird zeigen, ob die vorliegenden Ergebnisse bestätigt werden.

Stichwörter: Gemenge, Körnerleguminosen, N-Gehalte, photosynthetisch aktive Strahlung

Abstract

In organic farming, grain legumes are important elements. The grains are rich in protein, which can be used as self-produced feed stuff for animal nutrition. Grain legumes diversify crop rotations, break the life cycle of cereal pests, and are able to fix air nitrogen. The low yields and the slow juvenile development increase the risk for early weed infestation, which can be compensated by intercropping of grain legumes with spring cereals.

A field trial was conducted at the experimental farm of Thünen Institute of Organic Farming in Trenthorst (Northern Germany) to compare the performance of sole and intercropped grain legumes. The trials were randomised in a block design with four replications. For the crops faba bean, pea, blue and white lupins, two cultivars of different properties were tested intercropped with spring wheat and sole cropped.

During the growth period, the photosynthetically active radiation (PAR) under crop canopy was measured at the height of the weeds at eight dates. Simultaneously, the global radiation was determined to obtain the ratio of PAR transmitted through the crop canopy.

At ripening stage of the crops, a manual harvest of one square meter provided the data of weed biomass. The biomass was dried till weight balance and analysed for nitrogen content.

The results point out a reduction of transmitted radiation through crop canopy for all intercropped legumes in the critical juvenile growth phase. The tillering of the cereal led to a fast shading of the soil and a strong decrease of radiation under crop canopy in the sole cropped cereal. Intercropped legumes benefited from the fast shading, especially faba bean at the growth phase of stem elongation and pea at flowering. Lupins have a pronounced rosette growth shading the soil effectively, so the effect of intercropping was marginal. Intercropping of white lupins has even a reverse effect at growth stage of pod filling. So, the lower number of white lupin plants per square meter in intercropped trials led to a lower shading in comparison to the sole cropped plots.

The legumes showed no effect of cultivar on the shading performance of the crops, except for pea cultivars. The long-stemmed pea cv. Muza exhibited better shading than the short-stemmed cv. Astronaute at the growth stage of pod formation.

Intercropping reduced weed biomass in comparison to the respective sole cropped legumes. For both lupins the weed biomass reduction was significant, so in trials of white lupins a reduction of 53.5% was obtained. In sole cropped legume plots, the adsorption of nitrogen in weed biomass was higher than in the respective intercropped plots. This leads to the assumption that the intercropped cereal reduces plant available nitrogen in soil which is no longer accessible for weeds. The effect was significant for the weed biomass in trials of faba bean, blue and white lupin, but not for pea. The year 2018 was characterised by extremely warm and dry weather conditions, influencing the results of the study. The evaluation of the following years will show whether these results will be confirmed.

Keywords: intercropping, legumes, nitrogen content, photosynthetically active radiation

Einleitung

Im ökologischen Landbau sind Körnerleguminosen ein wichtiger Bestandteil der Fruchtfolge. Sie hinterlassen nicht nur einen stickstoffreichen Boden für die Nachfrucht, sondern das Erntegut ist auch ein eiweißreiches und im eigenen Betrieb hergestelltes Futtermittel (BÖHM et al., 2020). Der Kornertrag von Körnerleguminosen ist meist gering, und durch die langsame Jugendentwicklung neigen reine Leguminosenbestände, gerade bei ungünstigen Bedingungen während des Striegelns, zur Frühverunkrautung (RÜHL et al., 2009). Der Anbau der Körnerleguminosen, zusammen mit einem Getreide, kann diese Probleme mindern.

Ziel der Untersuchung war es, die verschiedenen Körnerleguminosen in Reinsaat und im Gemenge mit Sommerweizen hinsichtlich der photosynthetisch-aktiven Strahlung (PAR) unter dem Bestand, der Unkrautbiomasse sowie deren Stickstoffgehalt zu vergleichen.

Material und Methoden

Der Parzellenversuch wurde im Jahr 2018 auf dem Versuchsbetrieb des Thünen-Instituts in Trenthorst in einer randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen durchgeführt. Am Standort sind Braun- und Parabraunerden vorherrschend mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 705 mm und einer Jahrestemperatur von 8,8°C. Das Versuchsjahr war jedoch mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 10,3°C und einem Jahresniederschlag von 584 mm deutlich wärmer und trockener.

Im Anbau waren jeweils zwei Sorten der Körnerleguminosen Ackerbohne (*Vicia faba* L., cv. Tiffany und Fuego, 40 keimfähige Körner pro m² (KK m⁻²), Futtererbse (*Pisum sativum* L., cv. Astronoute (kurzstrohig) und Muza (langstrohig), 90 KK m⁻²), Schmalblättrige Lupine (*Lupinus angustifolius* L., cv. Boruta (endständig) und Boregine (verzweigt), 130 bzw. 100 KK m⁻²) und Weiße Lupine (*Lupinus albus* L., Boros (endständig) und cv. Feodora (verzweigt) 70 KK m⁻²). Angebaut wurde jede Kultur in Reinsaat (RS) und im Gemenge (GM) mit Sommerweizen (cv. Quintus, RS 400 KK m⁻²) in alternierenden Reihen im Saatstärkenverhältnis Leguminose : Getreide von 75 % : 25 % bezogen auf die jeweilige RS.

Die photosynthetisch-aktive Strahlung unter dem Bestand wurde an acht Zeitpunkten vom Keimblatt-Stadium bis zur Abreife mittels SS1 SunScan-Sonde (SS1 SunScan Canopy Analysis System, Delta T-Devices, UK) gemessen. Parallel dazu wurde die Globalstrahlung ohne Beschattung gemessen. Der prozentuale Anteil der gemessenen Strahlung an der Globalstrahlung gibt an, wie viel von dieser noch durch den Bestand dringt.

Zum Zeitpunkt der Abreife wurde eine Handbeerntung auf einem Quadratmeter durchgeführt. Die ermittelten Unkrautbiomassen wurden für die Trockensubstanzbestimmung bis zur Gewichtskonstanz bei 60°C getrocknet. Die Proben wurden auf 0,5 mm vermahlen und der Stickstoffgehalt mittels CN-Analysator (Elementar, vario MAX cube, Deutschland) bestimmt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Statistiksoftware SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) mittels Zeitreihenanalyse und anschließendem post-hoc Test (Tukey, P < 0,05) für die Auswertung der PAR-Messungen. Die Unkrautbiomassen sowie deren Stickstoffgehalte wurden durch eine Varianzanalyse mit post-hoc Test (Tukey, P < 0,05) ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Die GM von Leguminosen mit Sommerweizen beschatteten den Boden besser als die jeweiligen Reinsaaten (Abb. 1). Besonders deutlich wurde dies in der kritischen Phase der Jugendentwicklung (0 bis 33 Tage nach Aussaat [das]). Die GM der Ackerbohnen und Futtererbsen zeigten bis zum Blühbeginn (51 das) eine geringere gemessene Strahlung im Bestand als die dazugehörigen RS. Bei den Lupinen war die Beschattung in den GM ähnlich bzw. geringfügig schlechter als in den RS. In der Sommerweizen-RS wurde durch die

Bestockung der Getreidepflanzen der Boden relativ schnell beschattet. Daher fiel die Kurve der PAR-Werte zu Beginn des Wachstums schnell ab und in der Blühphase (60 das) wurde die höchste Beschattung erreicht. Zur Zeit der Blüte der Leguminosen (51 und 60 das) kehrte sich der Trend um und die Leguminosen-GM und RS zeigten, mit Ausnahme der Schmalblättrigen Lupine, eine bessere Beschattung des Bodens als die Sommerweizen-RS.

Eine Zeitreihenanalyse der Untersuchungstermine zeigte für die Ackerbohnen, bereits ab dem Längenwachstum, eine signifikant bessere Beschattung durch das Gemenge. Während bei den Futtererbsen im GM erst zur Vollblüte signifikant weniger Strahlung als in der jeweiligen RS durch den Bestand drang. In den Parzellen der endständigen Schmalblättrigen Lupine konnte keine signifikant bessere Beschattung im Gemenge erzielt werden. Grund hierfür könnte die, für den Anbau übliche, höhere Saatstärke von 130 KK m^{-2} sein. Eine höhere Anzahl von Pflanzen pro Quadratmeter bedingt eine bessere Abdeckung des Bodens und einen früheren Bestandesschluss. Unter den Beständen der Weißen Lupine konnte der umgekehrte Effekt beobachtet werden. So war die Beschattung gegen Ende der Blüte bzw. zur Hülsenbildung bei den Reinsaaten beider Lupinensorten signifikant besser als in den GM mit Sommerweizen. Im Anfangsstadium zeigen die Lupinen teils ein ausgeprägtes Rosettenwachstum, welches die Bodenbeschattung und die damit einhergehende Unkrautunterdrückung gewährleistet.

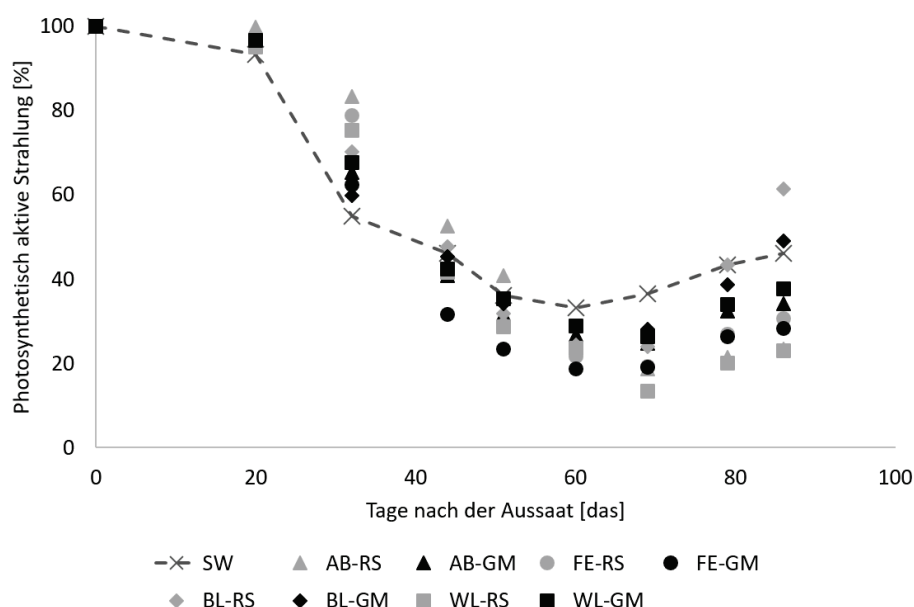


Abbildung 1 Photosynthetisch aktive Strahlung (%) in den Beständen der getesteten Leguminosen Ackerbohne (AB), Futtererbse (FE), Schmalblättrige Lupine (BL) und Weiße Lupine (WL) von der Aussaat bis zur Abreife der Kulturen in Reinsaat (RS) und im Gemenge (GM) mit Sommerweizen (SW).

Figure 1 Photosynthetically active radiation (%) in the plots of the tested intercropped (+ spring wheat (SW)) and sole cropped legumes faba bean (AB), pea (FE), blue lupin (BL) and white lupin (WL) from sowing till ripening of the crops.

Die Wuchseigenschaften spielten bei der Beschattung des Bodens, mit Ausnahme der Futtererbse (Daten nicht gezeigt), keine Rolle. Die langstrohige Futtererbsen-Sorte Muza zeigte ab der Hülsenbildung in RS sowie im GM eine signifikant bessere Beschattung des Bodens als die kurzstrohige Sorte Astronaut.

Die GM zeigten eine bessere Unkrautunterdrückung im Vergleich zu den jeweiligen RS (Abb. 2). Dieser Effekt war jedoch nur für die Schmalblättrige Lupine und die Weiße Lupine signifikant. Bei den Gemengen der Schmalblättrigen Lupine wurde das Unkrautauftreten von 110,61 g TM m^{-2} in RS auf 69,29 g TM m^{-2} reduziert. Im GM der Weißen Lupine (111,58 g TM m^{-2}) wurde ein Rückgang von 53,5 % der Unkrautbiomasse im Vergleich zur RS (240,02 g TM m^{-2}) festgestellt.

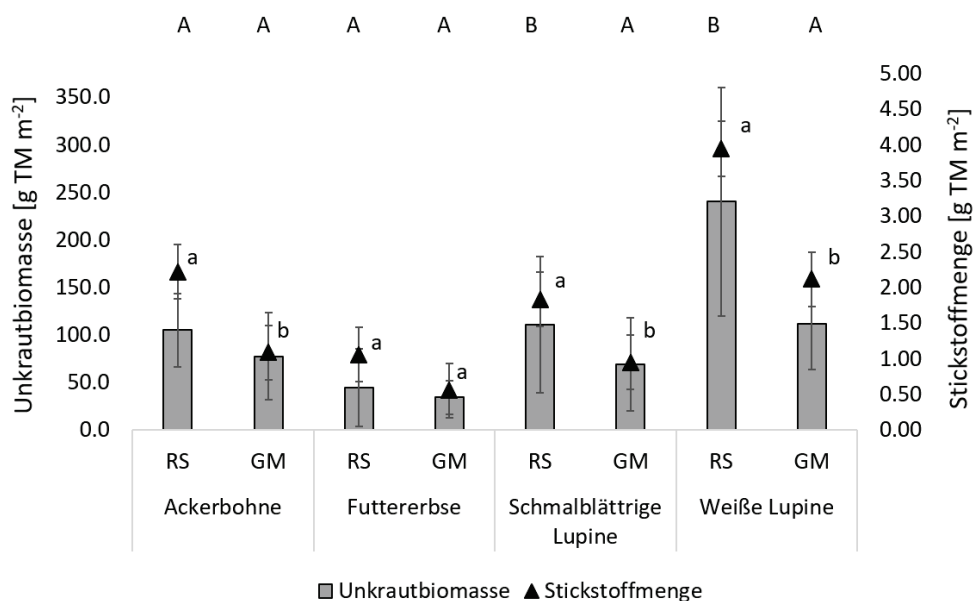


Abbildung 2 Biomasse (g TM m⁻²) und aufgenommene Stickstoffmenge (g TM m⁻²) der Unkräuter im Bestand zur Abreife der geprüften Leguminosen in Reinsaat (RS) und im Gemenge mit Sommerweizen (GM). Die Signifikanzbuchstaben beziehen sich auf die ANOVA mit anschließendem post-hoc Test (Tukey, P < 0,05). Großbuchstaben verweisen auf signifikante Unterschiede in der Unkrautbiomasse und Kleinbuchstaben auf signifikante Unterschiede in den aufgenommenen Stickstoffmengen der Unkräuter zwischen Gemenge und der jeweiligen Reinsaat (Tukey, P < 0,05, n=8).

Figure 2 Biomass (g DM m⁻²) and absorbed nitrogen (g DM m⁻²) of weed biomass at ripening stage of the legume for the tested legumes in sole crop and intercropped with spring wheat. Capital letters highlight significant differences in weed biomasses and lowercase letters refer to significant differences in nitrogen content between the intercropped and the respective sole cropped legume (Tukey, P < 0,05, n=8).

Die Auswertung des aufgenommenen Stickstoffs in der Unkrautbiomasse weist darauf hin, dass die Unkräuter in den Leguminosen-RS dem Boden mehr pflanzenverfügbaren Stickstoff entzogen haben als in den GM. Für die Reinsaaten der Ackerbohne, Schmalblättrigen und Weißen Lupine war dieser Effekt signifikant. Die RS und das GM der Futtererbse unterschieden sich hingegen nicht signifikant voneinander (Abb. 2).

Zu Beginn der Wachstumsphase bis zur Blüte beschattet der Sommerweizen im GM den Boden, durch eine schnelle Bestockung, besser als die Leguminose und überbrückt so die langsame Entwicklung der Leguminosen in der Jugendphase. Die zusätzliche Stickstoffkonkurrenz des Getreides unterdrückt das Wachstum der Unkräuter. Somit könnte der Gemengeanbau eine ressourcenschonende Alternative zur Leguminosen-RS darstellen. Die bislang einjährigen Ergebnisse werden durch weitere Untersuchungen in verschiedenen Umwelten verifiziert.

Literatur

- BÖHM, H., J. DAUBER, M. DEHLER, D.A. AMTHAUER GALLADO, T. DE WITTE, R. FUß, F. HÖPPNER, M. LANGHOF, N. RINKE, B. RODEMANN, G. RÜHL, S. SCHITTENHELM, 2020: Fruchtfolgen mit und ohne Leguminosen: ein Review. *Journal für Kulturpflanzen* **72** (10-11), 489–509.
- RÜHL, G., A. BRAMM, J. GREEF, 2009: Aspekte des Anbaus von Körnerleguminosen. *Journal für Kulturpflanzen* **61** (9), 312–317.

Einfluss von Kompost auf das Auflaufverhalten von Unkräutern in Zuckerrüben

Effect of compost on weed emergence in sugar beet

Arnd Verschwele^{1*}, Rolf Hoffmann², Nina Wolf³

¹ Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

² Nordzucker AG, Küchenstraße 9, 38100 Braunschweig

³ ARGE Nord, Helene-Künne-Allee 5, 38122 Braunschweig

*arnd.verschwele@julius-kuehn.de

DOI: 10.5073/20220125-060354

Zusammenfassung

In den Jahren 2019 und 2020 wurden in Niedersachsen 5 Feldversuche sowie 4 Gefäßversuche durchgeführt, in denen die Wirkung von Fertigkomposten auf das Auflaufverhalten von Unkräutern untersucht wurde. Die Effekte waren in den Gefäß-Versuchen in beiden Versuchsjahren deutlich: Die zwei Kompostmaterialien (Biogut- und Grüngut-Kompost) konnten die Auflaufrate der Unkräuter um ca. 50 % reduzieren. In den Feldversuchen traten diese hemmenden Effekte nicht so stark auf, obwohl die Unterschiede statistisch signifikant waren. Für einen praktischen Nutzen im Anbau von Zuckerrüben erwiesen sich die Wirkungen im Freiland jedoch als zu schwach. Dennoch zeigen die Untersuchungen, dass mit der Ausbringung von Fertigkomposten ein Beitrag zum Integrierten Pflanzenschutz geleistet werden kann.

Stichwörter: Handhacke, Kompost, Ökologischer Landbau, Unkräuter, Zuckerrüben

Abstract

In 2019 and 2020, 5 field tests and 4 pot experiments were carried out in Niedersachsen (Germany), in which the effect of ready-made composts on the emergence of weeds was investigated. The effects were clear in the pot experiments in both years. The two compost materials (organic compost and green-cut compost) were able to reduce the weeds emergence rate by approximately 50%. In the field tests, these effects did not appear so clearly, although they were statistically significant. The effects in the field proved to be too weak for practical use of growing sugar beets. Nevertheless, the studies show that the use of compost can contribute to IPM.

Keywords: compost, hand weeding, organic farming, sugar beet, weeds

Einleitung

Die Keimung von Unkräutern kann durch den Einfluss von Kompost- und Mulch-Materialien reduziert oder verzögert werden (KUNZ et al., 2017). Gleiches gilt für die anschließende Wuchsphase, so dass auch Feldaufgang und Jugendentwicklung von Unkräutern durch verrottete organische Materialien gehemmt werden. Ziel der hier beschriebenen Untersuchungen war es, das unkrautunterdrückende Potenzial von Fertigkomposten in Zuckerrüben zu erfassen. Dabei handelt es sich um zertifizierte Komposte auf der Basis von Biogut-Abfällen und Schnitt von Grüngut. STURM et al. (2016) konnten nachweisen, dass Kompost nicht nur die Keimung, sondern auch das Wachstum um bis zu 50 % reduzieren kann. Letzteres war jedoch nicht Inhalt dieser Untersuchungen. Insbesondere für den Ökologischen Anbau von Zuckerrüben kann eine Verringerung der Unkrautdichte einen betriebswirtschaftlichen Vorteil bieten, weil der Aufwand für das manuelle Hacken geringer wird.

Material und Methoden

Feldversuche

In den Jahren 2019 und 2020 wurden insgesamt 5 Feldversuche (A-E) in typischen Zuckerrüben-Anbauregionen in Niedersachsen durchgeführt. Bei den getesteten Komposten handelte es sich um RAL-gütesicherte Grüngut-Fertigkomposte, die im Ökologischen Landbau zugelassen waren. Die Zusammensetzung der Komposte unterschied sich in den beiden Versuchsjahren nur geringfügig (Tab. 1).

Tabelle 1 Eigenschaften der Komposte, die 2019 und 2020 für die Feldversuche verwendet wurden, gemäß RAL-Untersuchungsbericht

Table 1 Characteristics of the compost material used in the field trials 2019 and 2020, according to the RAL certification

Eigenschaft / Inhaltsstoff	Fertigkompost 2019	Fertigkompost 2020
Rottegrad (1-5)	5	4
pH-Wert (H ₂ O)	8,04	7,90
Organische Substanz	34,3 %	34,1 %
Salzgehalt	1,4 g/L FM	1,7 g/L FM
Stickstoff gesamt	1,06 % FM	0,87 % FM

Die Ausbringung des Komposts erfolgte manuell in Bändern von 80 mm Breite und 23 mm Stärke in der Rübenreihe unmittelbar nach der praxisüblichen Aussaat. Die Feldversuche wurden als Blockanlage mit 4 Wiederholungen angelegt (Abb. 1). Die Parzellengröße betrug 10 m x 1,35 m (entsprechend 3 Rübenreihen) bzw. 13,5 m². Die Zuckerrüben wurden Ende März/Anfang April bei Saatabständen von 20 bzw. 21 cm mit üblichen Einzelkorn-Sämaschinen ausgeführt. Die Saatbettbereitung und Aussaat der Zuckerrüben erfolgte weitgehend unter optimalen Boden- und Witterungsbedingungen. Lufttemperatur und Niederschlagsverteilung wichen innerhalb des Versuchszeitraums nicht wesentlich vom langjährigen Mittel ab.

In den Feldversuchen traten unterschiedliche Verunkrautungen auf, die für Zuckerrübenflächen in Niedersachsen typisch sind. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die häufigsten Unkrautarten und den Grad der Verunkrautung der Versuchsflächen.

Tabelle 2 Verunkrautung in den Feldversuchen A-E

Table 2 Weed infestation in the field trials A-E

Versuch	Gemarkung	Jahr	Unkräuter (n/m ²)*	Unkrautarten
A	Schöppenstedt	2019	107 (0-114)	CHEAL, MERAN, SOLNI
B	Kirchweyhe	2019	134 (71-179)	CHEAL, POATR, STEME
C	Wätzum	2019	80 (36-107)	ALOMY, CHEAL, SOLNI, THLAR, POLSS
D	Schöppenstedt	2020	125 (36-214)	CHEAL, MERAN, SOLNI, VIOAR
E	Bortfeld	2020	9 (0-18)	ALOMY, CHEAL, URTUR

* Unkräuter (in Unbehandelt): Mittelwert (Min – Max)

Die Unkrautarten und ihre Dichten wurden 4, 6 und 8 Wochen (T1-T3) nach der Aussaat der Zuckerrüben an 4 ortsfesten Zählstellen je Parzelle bonitiert. Zu denselben Terminen wurde der Unkraut-Deckungsgrad und der Feldaufgang der Zuckerrüben ermittelt. Verwendet wurde dazu ein Rahmen mit einer inneren Kantenlänge von 70 x 400 mm, entsprechend 0,028 m².



Abbildung 1 Ansicht eines Feldversuch, direkt nach der Saat der Zuckerrüben und der Kompostaufbringung, Schöppenstedt, 02.04.2019.

Figure 1 View of a field trial after seeding of sugar beet and application of compost.

Gefäßversuche

Zur Klärung spezifischer Fragestellungen wurden 2019 und 2020 insgesamt 3 Gefäßversuche durchgeführt. Dabei sollte geklärt werden, ob die Unkrautarten spezifisch auf den Kompost reagieren und welchen Einfluss Wassergehalt und Schichtdicke auf das Auflaufverhalten der Unkräuter haben. Für die Gefäßversuche wurden Fertigkomposte auf Basis von Grüngut und Biogut verwendet (vgl. Tab. 1).

Im Folgenden wird ein Gefäßversuch detaillierter dargestellt, der 2019 (A) und 2020 (B) mit 2 Kompostarten (Biogut-Kompost, Grüngut-Kompost) durchgeführt wurde und zwar jeweils unter trockenen und feuchten Bedingungen (ca. 20 %, 40 % Wassergehalt). Variiert wurde außerdem die Schichtstärke der Kompostaufgabe (1 cm, 2 cm). Der Kompost wurde ganzflächig in Schalen (20 x 20 cm) auf eine 5 cm dicke Schicht Boden ausgebracht, der kurz zuvor von der Versuchsfläche zum Ökologischen Landbau des JKI entnommen wurde.

In einem weiteren, ähnlich angelegten Gefäßversuch (C) wurde 2019 untersucht, ob Unkrautarten differenziert auf eine 2 cm starke Kompostaufgabe reagieren. Dazu wurde jeweils 20 Samen der Unkrautarten ABUTH, AMARE, CHEAL, MERAN, SOLNI und der Zuckerrübe mit zuvor sterilisiertem Ackerboden gemischt und mit Kompost abgedeckt. Die Auflaufzeiten der Unkräuter wurden 3 Wochen später ermittelt.

Ergebnisse

Feldversuche

In den 5 Feldversuchen konnte festgestellt werden, dass Fertigkompost die Auflaufrate von Unkräutern reduziert. Allerdings waren die Effekte zwar signifikant, aber doch schwächer als in den Gefäßversuchen. Vor allem zum frühen Bonitur-Termin (T1) waren die Komposteffekte noch nicht sichtbar (Abb. 2). Es gab darüber hinaus keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Kompost und Versuch (Tab. 2).

Tabelle 2 Ergebnisse der mehrfaktoriellen ANOVA für die Faktoren Kompost, Bonitur-Termin und Versuch

Table 2 Results of the multi-factorial ANOVA for the factors compost, assessment date and trial

Haupteffekte					
Ursache	Quadratsummen	FG	Mittl.Quadr.	F-Quotient	p-Wert
A: Kompost	16,50	1	16,498	4,860	0,028
B: Bonitur-Termin	55,64	2	27,821	8,200	0,000
C: Versuch	610,21	4	152,552	44,970	0,000
Wechselwirkungen					
AB	20,03	2	10,015	2,950	0,053
AC	6,86	4	1,715	0,510	0,732
BC	72,04	8	9,005	2,650	0,007
RESIDUEN	1550,26	457	3,392		
TOTAL (KORR.)	2332,28	478			

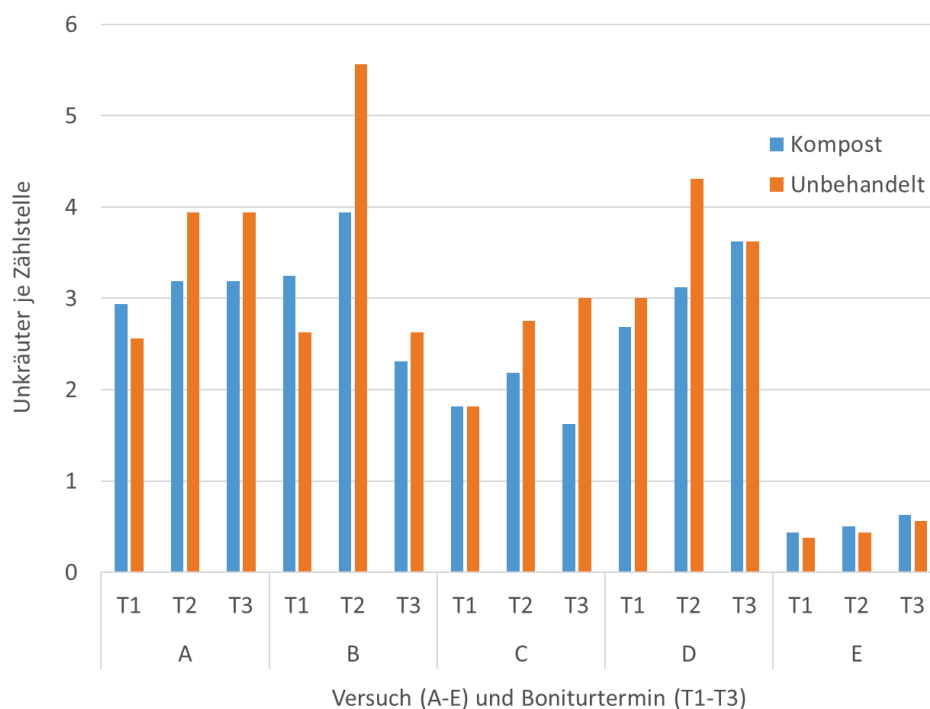


Abbildung 2 Wirkung von Fertig-Kompost auf die Auflafrate von Unkräutern in Zuckerrüben in 5 Feldversuchen (A-E), 2019 und 2020.

Figure 2 Effect of compost on weed emergence in sugar beet at 5 field trials (A-E), 2019 and 2020.

Der begrenzte Datensatz aller Versuche lässt nicht zu, Auswirkungen auf bestimmte Unkrautarten gezielter zu untersuchen. In einem der 5 Feldversuche war ohnehin die Verunkrautung allerdings so gering, dass keine Unterschiede erkennbar waren. Dennoch konnte man bei den Unkräutern MERAN und SOLNI eine stärkere Verminderung des Aufbaus finden als bei anderen Arten. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen aus den Gefäßversuchen (siehe unten). Der Feldaufgang der Zuckerrüben wurde in 3 von 5 Feldversuchen durch die Kompostauflage nicht signifikant reduziert. Der Feldversuch C lief unter ökologischen Anbaubedingungen. Hier traten im starken Maße Pflanzenverluste durch tierische und pilzliche Schaderreger auf (Tab. 3).

Tabelle 3 Wirkung der Kompostauflage auf den Feldaufgang der Zuckerrübe (n/m²)**Table 3** Effect of compost on the emergence rate of sugar beet (no./m²)

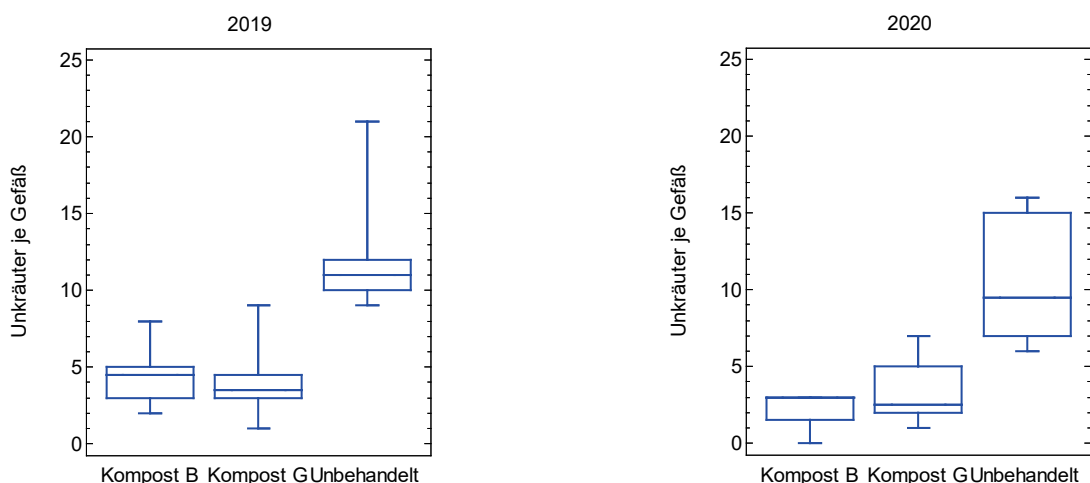
Feldversuch	A	B*	C°	D	E
Kompost	10,07	8,68	3,82	9,72	10,42
Unbehandelt	10,07	11,11	8,33	10,07	10,42

* signifikante Differenz nach Mann-Whitney-Test,

° nicht gewertet wegen großflächiger Pflanzenverluste in allen Parzellen

Gefäßversuche

In den Gefäßversuchen A und B reduzierten sowohl der Biogut- als auch der Grüngut-Kompost den Unkrautauflauf in beiden Versuchsjahren deutlich. Dabei spielte weder die Kompostart, noch die Schichtdicke oder der Wassergehalt des Komposts eine Rolle, d.h. zwischen den Behandlungen gab es keine signifikanten Unterschiede. In beiden Versuchsjahren waren die Hemmungseffekte durch die Kompostmaterialien ähnlich stark (Abb. 3).

**Abbildung 3** Wirkung von Biogut-Kompost (Kompost B) und Grüngut-Kompost (Kompost G) auf die Auflaufrate der Unkräuter im Vergleich zu Unbehandelt (Gefäßversuche A und B, 2019 und 2020).**Figure 3** Effect of organic compost (Kompost B) and green cut compost (Kompost G) on the weed emergence compared to untreated (pot experiments A and B, 2019 and 2020).

Die Untersuchungen zu den artspezifischen Komposteffekten auf Unkräuter (Gefäßversuch C) zeigten zwar signifikante Unterschiede, allerdings waren bei einigen Unkrautarten die Auflaufraten auch in der unbehandelten Variante sehr gering (Tab. 4). Eine stärkere Kompostauflage führte entgegen den Erwartungen nicht grundsätzlich zu einer größeren Reduktion der Auflaufquote. Die Auflaufquote der Zuckerrüben wurde nicht signifikant durch den Kompost beeinträchtigt (Ergebnisse nicht dargestellt).

Tabelle 4 Auflaufraten (%) verschiedener Unkrautarten und der Zuckerrübe durch Kompostauflage (* kennzeichnen signifikante Unterschiede zu Unbehandelt, ermittelt nach Mann-Whitney-Test, Gefäßversuch C, 2019)**Table 4** Emergence rates (%) of various weed species and sugar beet by compost layer (* indicate significant differences to untreated according to the Mann-Whitney test, pot experiment C, 2019)

Gefäßversuch	ABUTH	AMARE	CHEAL	MERAN	SOLNI	Z-Rübe
A	86	50*	63*	22*	46*	96
B	65*	98	133	21*	18*	99

Diskussion

Die erwünschte Minderung des Unkrautauflaufs durch Kompostauflagen konnte bestätigt werden. Allerdings fällt auf, dass die Effekte in den Gefäßversuchen wesentlich stärker waren als in den Feldversuchen. Auch wenn es dort zu signifikanten Effekten durch den Kompost kam, sind sie in den Auswirkungen zu schwach, um praxisrelevante Konsequenzen zu haben. Die angestrebten Einsparungen bei den manuellen Hackarbeiten werden sich betriebswirtschaftlich kaum auswirken, vor allem, wenn man den technischen Mehraufwand durch das Ausbringen des Komposts berücksichtigt.

In anderen Untersuchungen wurden ebenfalls starke Keimhemmungseffekte durch Kompost bzw. organische Materialien nachgewiesen, die aber zum Teil stark artspezifisch waren (STURM et al., 2016; YORDANOVA et al., 2015).

Warum die Wirkungen in den Gefäßversuchen so viel stärker waren als in den Feldversuchen, lässt sich anhand dieser Untersuchungen nicht erklären. Eine Ursache könnte darin liegen, dass in den Gefäßversuchen zwischen der Bodenbewegung und der Bedeckung mit Kompost technisch bedingt sehr viel weniger Zeit lag als in den Feldversuchen. Dies könnte auch die Keim-Induzierung bzw. -Hemmung beeinflussen. Eine andere Ursache könnte sein, dass die Konzentration biologisch wirksamer Hemmstoffe methodisch bedingt in den Gefäßen höher ist als im Feld. Die sonstigen Bedingungen (Kompostart, Feuchtigkeit von Boden und Kompost, Unkrautartenspektrum) waren vergleichbar. Aus der Literatur geht nicht eindeutig hervor, ob biochemische Vorgänge für die Wirkung verantwortlich ist, oder ob allein der Lichtausschluss durch die Kompostauflage die Keimung von Unkräutern reduziert.

Tendenziell waren die Effekte umso geringer, je höher der Rottegrad der Komposte war. In der Literatur finden sich neben der Unkrautwirkung auch Hinweise auf weitere positive Wirkungen durch die Ausbringung von Kompostmaterialien, insbesondere auf die Bodeneigenschaften (z.B. Temperatur, Struktur, Humusgehalt). Allerdings werden auch negative Effekte auf das Pflanzenwachstum festgestellt. So kann es beispielsweise bei einer Verwendung von Komposten mit geringem Rottegrad zu einer verstärkten Stickstofffixierung kommen. BEESE (2020) stellte darüber hinaus in Feldversuchen betriebswirtschaftliche Nachteile durch das Kompostbandverfahren fest, obwohl er höhere Zuckerrüben-Erlöse und auch unkrautmindernde Wirkungen nachweisen konnte. Grundsätzlich ist das Kompostband-Verfahren dann ökonomisch vorteilhaft, wenn die Kosteneinsparung bei der Handhacke den finanziellen Aufwand für die Kompostbeschaffung und -ausbringung übersteigt. Dies wiederum wird einerseits durch die Höhe der Arbeitslöhne, andererseits durch den Grad der Verunkrautung bzw. den Standort beeinflusst.

Abschließend muss man festhalten, dass es methodisch nicht gelungen ist, die starken und grundsätzlich belegten biologischen Effekte der Keimhemmung in dem beschriebenen Ausmaß im Freiland zu bestätigen. Weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten müssen klären, ob sich die Wirkung im Freiland durch technische Optimierungen steigern lässt. Erfolgversprechender könnte das Kompostband-Verfahren z.B. sein, wenn die Aussaat der Zuckerrüben zusammen mit der Ausbringung des Komposts in einem Arbeitsgang erfolgt. Auch der Einfluss von Zusammensetzung und Rottegrad des Komposts auf die Verunkrautung muss noch gründlicher untersucht werden.

Danksagung

Wir danken Frau Katrin Hampe vom aha-Zweckverband Abfallwirtschaft Region Hannover für die sehr umfangreiche technische und fachliche Unterstützung.

Literatur

BEESE, C., 2021: Untersuchung der Unkrautunterdrückenden Wirkung zweier Kompostarten und deren ökonomischen Auswirkungen am Beispiel eines Feldversuchs im ökologischen Zuckerrübenanbau.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online
Masterarbeit im wissenschaftlichen Studiengang Agrarwissenschaften an der Georg-August-Universität
Göttingen, Fakultät für Agrarwissenschaften.
- KUN, C., D.J. STURM, M. SÖKEFELD, R. GERHARDS, 2017: Weed Suppression and Early Sugar Beet Development
under Different Cover Crop Mulches. *Plant Protection Science* **53**:187-193.
<https://doi.org/10.17221/109/2016-PPS>.
- STURM, D.J., C. KUNZ, R. GERHARDS, 2016: Inhibitory effects of cover crop mulch on germination and growth of
Stellaria media (L.) Vill., *Chenopodium album* L. and *Matricaria chamomilla* L.. *Crop Protection* **90**:125-
131. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.032>.
- YORDANOVA, M. , N. GERASIMOVA, 2015: Effect of mulching on weed infestation and yield of beetroot (*Beta
vulgaris* ssp. *rapaceae atrorubra* Krass). *Organic Agriculture* **6**:133-138, <https://doi.org/10.1007/s13165-015-0122-6>.

Monitoring von Winden (*Convolvulus* sp.) mit Drohnen

Low-cost monitoring of Convolvulus sp. with drones

Maike Krauss*, Jeremias Niggli, Hansueli Dierauer

Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Departement für Bodenwissenschaften, Frick, Schweiz

*maike.krauss@fibl.org

DOI: 10.5073/20220125-060651

Zusammenfassung

Wurzelunkräuter vermehren sich weitgehend vegetativ über ihr Wurzelsystem und treten inhomogen in Nestern auf. Diese sind auf Feldebene visuell schwer zu erfassen. Drohnenflüge in Verbindung mit einer Segmentierung des Beikrauts eröffnen die Möglichkeit zur Langzeitkartierung und Erfolgskontrolle von Regulierungsmaßnahmen. Für Winden (*Convolvulus* sp.) wurde in einem ersten Ansatz eine spektrale Segmentierung vor dem Hintergrund von abreifendem Getreide (grün versus gelb) auf Basis eines random forest Algorithmus erarbeitet. Trainings- und Testdaten wurden über georeferenzierte und visuell kartierte 1x1 m Subplots in einem Bodenbearbeitungsexaktversuch mit Orthofotos verknüpft. Diese wurden mit einer RGB Kamera der Drohne DJI Phantom 4Pro in 40 m Flughöhe erfasst. Der Algorithmus erzielte eine Präzision von 91% mit einer Falschklassifikation von 12-14%. Angewendet auf neuen Testdaten des gleichen Aufnahmezeitpunktes und –feldes, erzielte eine mit $R^2 = 0.7$ signifikante Korrelation. Der Bodenbearbeitungsexaktversuch konnte damit erfolgreich ausgewertet werden. Die Evaluierung an zusätzlichen Orthofotos von Praxisschlägen zeigte jedoch, dass eine allgemeine Verunkrautung und Lagerstellen im Getreide stören. Ein Deep Learning Algorithmus, der neben spektralen Informationen auch Muster erkennen kann, wird zur Weiterentwicklung vorgeschlagen.

Stichwörter: *Convolvulus* sp., Drohne, Kartierung, Segmentierung, Wurzelunkraut

Abstract

Perennial weeds mainly spread through their rooting system resulting in an inhomogeneous distribution. This is hard to monitor visually and offers the opportunity for drone monitoring. Segmentation of weeds in contrast to crops can provide maps for long-term observation and success monitoring. Bindweed (*Convolvulus* sp.) in senescing cereals was visually scored in 1x1 m subplots in a tillage trial and intersect with the respective orthofoto. The RGB information of the drone images taken with a DJI Phantom 4Pro in 40m flight height was taken for spectral segmentation (green versus yellow) with a random forest algorithm. Precision was 90% with 12-14% incorrect classifications. Applied to new subplot data of the same field and date resulted in a significant correlation of visually scores with segmented bindweed pixels ($R^2 = 0.7$). The tillage trial was therefore successfully evaluated by drone imaging. Yet, tested with orthofotos of real life on-farm fields, general weed infestation and lodging of cereals have shown to be problematic. Further development of a deep learning algorithm including spectral and pattern information is envisaged.

Keywords: *Convolvulus* sp., drone monitoring, perennial weeds, segmentation

Einleitung

Winden (*Convolvulus* sp.) sind Beikräuter im Ackerbau, die sich vorwiegend vegetativ über ihr Wurzelsystem verbreiten. Im Biolandbau wird auf synthetische Herbizide verzichtet. Die Regulierung von Wurzelunkräutern ist dadurch schwierig. Metastudien zeigen, dass eine Kombination intensiver Bodenbearbeitung mit zusätzlicher Konkurrenz durch Kulturpflanzen bisher das erfolgsversprechende Vorgehen ist (DAVIS et al., 2018; ORLOFF et al., 2018). Erfahrungen aus der Praxis zeigen jedoch, dass dies

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

nicht reicht und gezielte Regulierungsmaßnahmen notwendig sind. Die Entwicklung in der konventionellen Landwirtschaft hin zu einer Pestizidreduktion lässt darüber hinaus vermuten, dass Wurzelunkräuter in den nächsten Jahren allgemein zu einem Problem werden. Die Erarbeitung von Regulierungsmaßnahmen ist dabei die eine Herausforderung, das Monitoring die Andere. Die Verbreitung von Wurzelunkräutern und im spezifischen von *Convolvulus* sp. im Feld ist nicht homogen. Sie kommen in Form von Nestern vor, von denen ausgehend die Verbreitung stattfindet. Eine Erfolgskontrolle von Regulierungsmaßnahmen erfordert daher eine genaue Kartierung. Dies ist auf Feldebene mit einem hohen Aufwand verbunden. Drohnen versprechen nicht nur eine Vereinfachung der Kartierung, sondern auch eine Weiterverwendung der Karten für ortsspezifische Interventionen, wie z.B. die Studie von RASMUSSEN et al. (2019) an Disteln zeigt. Damit nicht nur in der Forschung, sondern auch in der Praxis Drohnen zu einer Langzeitbeobachtung herangezogen werden können, stellt sich die Frage, ob der Einsatz günstiger Drohnen mit RGB Kameras für eine Kartierung ausreicht. Als vielversprechender Zeitpunkt für die Detektion von Winden hat sich abreifendes Getreide (BBCH 80-90) erwiesen. Im braun-gelben Getreidebestand ist die in vollem Wachstum befindende und daher grüne Winde spektral gut voneinander zu trennen.

Material und Methoden

Auf Basis eines einjährigen Exaktversuches zur Regulierung von Winden durch verschiedene Bodenbearbeitungsmaßnahmen, wurden Orthofotos vor dem Beginn des Versuches in der Vorkultur Dinkel (Juli 2019) und vor der Ernte der Versuchskultur Weizen (Juli 2020) per Drohne (DJI Phantom 4Pro, RGB Kamera, 4864 x 3648 Pixel Auflösung) erstellt, um den Erfolg der Bearbeitungsmaßnahmen abzuschätzen. Ein Flugplan (Litchi App, VC Technology Ltd) in 40 m Höhe, die Ausführung der Flüge am späten Vormittag bei vollem Sonnenschein und die Georeferenzierung über Ground control points garantierten die Vergleichbarkeit. Eine visuelle Bonitur mit einer Skala (0 = keine Winde, 4 = mit Winden überwachsen) wurde 2020 zusätzlich in Subplots von 1x1 m Grösse durchgeführt, um den Segmentierungsalgorithmus zu erarbeiten und zu testen. Darüber hinaus wurden im Juli 2020 verschiedene Weizenfelder von Praxisbetrieben im Einverständnis der Landwirte überfolgen, um den Klassifikationserfolg auf seine Tauglichkeit für die Praxis zu prüfen. Die Drohnenbilder wurden mit der Software Metashape (Agisoft LLC, Russia) zu Orthofotos pro Schlag vereint und in QGIS (QGIS.ORG, 2021) georeferenziert.

Die Erarbeitung der Segmentierung erfolgte an Hand der Subplots mit dem Score 0 (=Getreide) und 4 (=Winde). Sie wurden mit dem Orthofoto in R (R CORE TEAM, 2021) unter Verwendung der packages „raster“ (HIJMANS and VAN ETEN, 2012) und „rgdal“ (BIVAND et al., 2021) verschnitten. Die ausgeschnittenen Rasterdaten wurden als csv-Datei extrahiert. Diese enthielt pro extrahiertem Pixel die spektrale Information der Kamera (Rot, Grün, Blau) und den visuell erhobenen Winden-Score (0, 4). Der Datensatz wurde in einen Trainings- (80 %) und Testdatensatz (20 %) unterteilt und ersterer mit einem random forest Ansatz aus dem package „caret“ (KUHN, 2008) modelliert. Der resultierende Algorithmus wurde mit dem Testdatensatz validiert. Anschliessend wurden alle vorhandenen Orthofotos mit dem Algorithmus segmentiert, um i) den Exaktversuch quantitativ im Vergleich zu den restlichen Subplots auszuwerten und ii) die Praxistauglichkeit qualitativ zu testen.

Ergebnisse und Diskussion

Das Segmentierungsergebnis an Hand des Testdatensatzes mit der binären Einteilung in «Winde» und «Getreide» lag bei einer Präzision von 91 % (Tab. 1). Es wurden 12-14 % der Pixel falsch zugeordnet.

Tabelle 1 Ergebnis der Segmentierung durch einen random forest Algorithmus.**Table 1** Segmentation result by the random forest algorithm

Konfusionsmatrix	Winde	Getreide
Winde	46176	3167 (12 %)
Getreide	3614 (14 %)	22217
Statistik		
Accuracy : 0.9098	95% CI : (0.9077, 0.9118)	P-Wert: < 0.001
Sensitivity : 0.9274	Specificity : 0.8752	Detection Rate : 0.6143

Bei der Korrelation des Segmentierungsergebnisses mit der visuellen Bonitur von 2020 an Hand der restlichen im Feld erhobenen Subplots war die Präzision mit rund 70 % tiefer, aber dennoch signifikant (Abb. 1). Dies kann zum einen daran liegen, dass die Segmentierung auf Pixelbasis im Vergleich zu dem übergeordneten visuellen Scoring der 1x1 m großen Subplotflächen Unschärfe mit sich bringt. Zum anderen waren Kleebestände zum gleichen Zeitpunkt grün und daher potentiell als Winde falsch klassifiziert (Rot unterlegt in Abb. 1). Da in diesen Subplots jedoch auch Winden vorhanden waren, lag die Falschklassifikation des Klees innerhalb der Streuung.

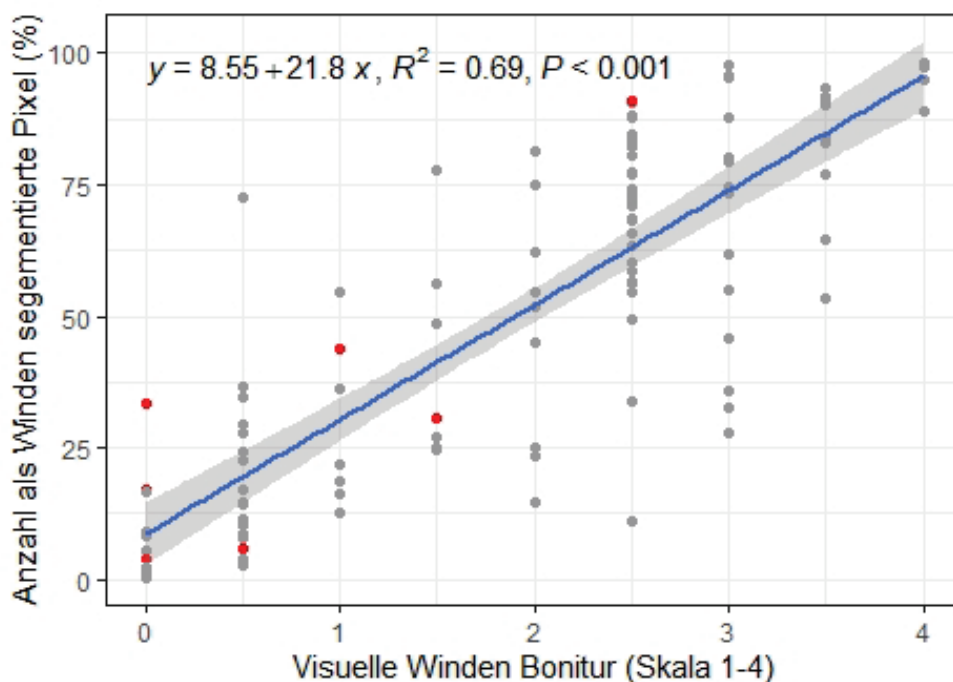


Abbildung 1 Korrelation der visuellen Windenbonitur durch Subplots (Skala 1-4) mit der als Winde klassifizierten Pixel (%) berechnet durch die Segmentierung. Daten aus dem Weizen Exaktversuch 2020. Rote Punkte kennzeichnen die potentielle Falschklassifikation von Kleebeständen.

Figure 1 Correlation of the visual field assessment of *Convolvulus* sp. (Scoring 1-4) with the number of pixels classified as *Convolvulus* sp. (%) extracted and classified from the respective Orthofoto. Data were collected in the wheat field trial in 2020. Red dots mark the potential misclassification of clover.

Der Segmentierungsalgorithmus wurde zur Auswertung des Bodenbearbeitungsversuches herangezogen. Kernparzellen von 3x30 m wurden aus den Orthofotos von 2019 und 2020 herausgeschnitten, mit dem Algorithmus segmentiert und der Anteil an Winden klassifizierten Pixel statistisch mit einer Varianzanalyse ausgewertet (Tab. 2). Im Bodenbearbeitungsversuch wurde der Einfluss der Bewirtschaftung zwischen der Dinkelernte Ende Juli 2019 bis zur Herbstsaat von Weizen im Oktober 2019 auf die Entwicklung der Winden und den Weizenertrag im Folgejahr verglichen. Die Referenz (Pflug und mehrmaliges Eggen,

Schwarzbrache) entspricht der aktuellen Empfehlung zur Sanierung von Winden mit maximaler Bodenbearbeitungsintensität.

Während das mittlere Windenvorkommen 2019 zu Beginn des Versuches bei rund 25 % lag und durch die beabsichtigte gleichmäßige Verteilung der Parzellen zwischen den Verfahren keinen statistischen Unterschied zeigte, nahm der Windenbesatz im Schnitt aller Verfahren um 14 % auf 39 % in 2020 zu. Die Kombination von Pflügen mit der sofortigen Saat einer Gründüngung (UFA Lepha) zeigte die geringste Zunahme von Winden bei einem marginal kleineren Weizenertrag im Vergleich zur Referenz. Das Verfahren Flächenrotte mit der sofortigen Direktsaat der Gründüngung und anschließendem Einfräsen ergab nicht nur ein schlechtes Auflaufen sowohl der Gründüngung als auch des Weizens, sondern auch eine Zunahme der Winden um 24 % und eine Reduktion des Weizenertrages um 45 %. Die Tatsache, dass der Windenbesatz allgemein zunahm und manche Bewirtschaftungsmaßnahmen zusätzlich Winden förderten zeigt, dass Bewirtschaftungsfehler problematisch sein können, die Windenregulierung jedoch eine übergeordnete längerfristige Strategie erfordert.

Tabelle 2 Mittelwerte (Standardabweichung) des Anteils als Winden klassifizierte Pixel (%) innerhalb der Kernparzellen im Vergleich der Jahre 2019 und 2020 und des Weizenkornertages von 2020 (t TS ha⁻¹) zwischen vier Bodenbearbeitungsverfahren. Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p < 0.05, Tukey Test) zwischen den Verfahren pro Spalte

Table 2 Means (standard deviation) of the share of pixels classified as *Convolvulus* sp. (%) within core plots in 2019 and 2020 and the winter wheat grain yield in 2020 (t TS ha⁻¹) distinguished by four different tillage treatments. Letters indicate significant differences (p < 0.05, Tukey Test) between treatments per column

Verfahren (Dauer 2,5 Monate zwischen Dinkelernte Ende Juli und Weizensaat Mitte Oktober 2019)	Anteil Winden klassifizierte Pixel (%)			Weizenertrag 2020 (t TS ha ⁻¹)
	2019	2020	Delta 2020-2019	
Referenz: Pflügen (25 cm) und 3-maliges eggen (Schwarzbrache)	25.0 (9.76) a	36.0 (14.1) ab	11.0 (11.3) b	3.79 (0.60) a
Pflügen (25 cm) und sofortige Saat einer Gründüngung	26.2 (7.59) a	33.2 (15.5) b	6.93 (12.0) b	3.19 (0.30) a
Stoppelbearbeitung mit Flachgrubber (2 Durchgänge, 6-10 cm) mit Saat einer Gründüngung ca. 1.5 Monate vor Weizensaat	22.7 (8.26) a	36.1 (14.3) ab	13.4 (12.0) ab	2.02 (0.49) b
Sofortige Direktsaat einer Gründüngung, Flächenrotte: Einfräsen mit Einspritzen von Milchsäurebakterien (Rottelenker) 14 Tage vor Weizensaat	25.5 (10.6) a	49.0 (17.9) a	23.5 (11.3) a	1.72 (0.25) b

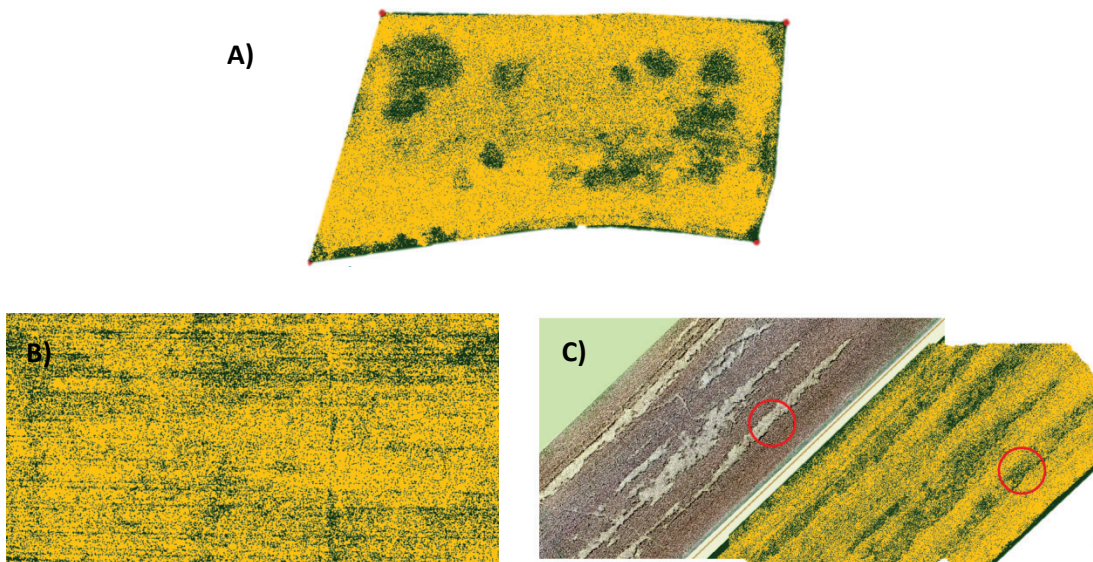


Abbildung 2 Klassifizierte Orthofotos (grün = Winde, gelb = Weizen) von Praxis schlägen A) eines konventionellen Betriebes ohne weiteres Beikraut, B) eines Biobetriebs mit viel Beikraut und C) eines Biobetriebs mit lagerndem Weizen.

Figure 2 Classified orthofotos (green = bindweed, yellow = wheat) of farmers fields of A) a conventional farm with no other weeds than bindweed, B) an organic farm with high weed pressure and C) an organic farm with lodged wheat.

Die qualitative Evaluierung von segmentierten Orthofotos verschiedener Praxis schläge zeigte, dass der Segmentierungsalgorithmus gute Karten hervorbringt solange die Schläge nur mit Winden verunkrautet sind (Abb. 2A). Sobald Felder eine allgemein hohe Verunkrautung (Abb. 2B) oder Lagerstellen im Getreide mit langsamerer Abreife (Abb. 2C) aufweisen, ist die Differenzierung zwischen Winde und Hintergrund mit dem vorliegenden Algorithmus auf alleiniger Basis spektraler Information nicht ausreichend. Deep Learning Algorithmen wären vermutlich erfolgreicher. Sie können neben der spektralen Information auch die Muster der Verteilung von Winden im Feld berücksichtigen und daher die Segmentierung verbessern. Dies setzt allerdings eine große Datenbank an annotierten Orthofotos voraus.

Danksagung

Wir danken dem Coop Fonds für Nachhaltigkeit für die finanzielle Unterstützung des Projektes.

Literatur

- BIVAND, R., T. KEITT, B. ROWLINGSON, rgdal (1.5-25). <https://rgdal.r-forge.r-project.org/index.html>.
- DAVIS, S., J. MANGOLD, F. MENALLED, N. ORLOFF, Z. MILLER, E. LEHNHOFF, 2018: A Meta-Analysis of Filed Bindweed (*Convolvulus arvensis*) Management in Annual and Perennial Systems. *Weed Science* **66** (4), 540-547, DOI: 10.1017/wsc.2018.25.
- HIJMANS, R.J., J. VAN ETEN, 2012: raster: Geographic analysis and modeling with raster data. R package version 2.0-12. <http://CRAN.R-project.org/package=raster>.
- KUHN, M., 2008: caret package. *Journal of Statistical Software*, 28(5) <https://github.com/topepo/caret/>.
- ORLOFF, N., J. MANGOLD, Z. MILLER, F. MENALLED, 2018: A meta-analysis of field bindweed (*Convolvulus arvensis* L.) and Canada thistle (*Cirsium arvense* L.) management in organic agricultural systems. *Agriculture Ecosystems & Environment* **254**, 264-272, DOI: 10.1016/j.agee.2017.11.024.
- QGIS.ORG, 2021: QGIS Geographic Information System. ASSOCIATION., Q. <http://www.qgis.org>.
- R CORE TEAM, 2021: R (Version 4.0.3): A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.

30. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. – 24. Februar 2022 online

RASMUSSEN, J., J. NIELSEN, J.C. STREIBIG, J.E. JENSEN, K.S. PEDERSEN, S.I. OLSEN, 2019: Pre-harvest weed mapping of *Cirsium arvense* in wheat and barley with off-the-shelf UAVs. *Precision Agriculture* **20** (5), 983-999, DOI: 10.1007/s11119-018-09625-7.

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

30. 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 und Alternativen im Unkrautmanagement. 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).

30th 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 and alternatives in weed management. The aim of the symposium is to facilitate a discussion among experts coming from universities, industry, plant protection advisory services and administration.

The conference is organized by the Julius Kühn-Institute (JKI), the Institute for Geoecology of the Technical University Braunschweig and the Weed Science Working Group of the German Phytomedical Society (DPG).

