

Print: ISSN 1867-0911  
Internet: ISSN 1867-0938  
Band 75 | Nr. 11-12  
2023



# Journal für Kulturpflanzen

Journal of Cultivated Plants



**Online Version:** <https://ojs.openagrar.de/index.php/Kulturpflanzenjournal/index>

### Journal für Kulturpflanzen vereint mit Pflanzenbauwissenschaften

Print: ISSN 1867-0911, Internet: ISSN 1867-0938

Website: <https://ojs.openagrar.de/index.php/Kulturpflanzenjournal>

### Charakteristik

Bei uns steht die Kulturpflanze mit all ihren Facetten im Mittelpunkt. Alle publizierten Beiträge haben einen starken Bezug zur angewandten Forschung und unterstreichen die Bedeutung und Chancen der gewonnenen Erkenntnisse für die land- und gartenbauliche Praxis. Im Bereich der Forschung an Kulturpflanzen nehmen wir Beiträge aus allen einschlägigen Fachgebieten entgegen, z. B. Bodenkunde, Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft, Garten-, Obst- und Weinbau, Pflanzengenetik und Pflanzenzüchtung, Pflanzenschutz und Pflanzengesundheit sowie Agrartechnik.

Wir publizieren deutsch- und englischsprachige Original- und Übersichtsarbeiten sowie Kurzmitteilungen. Im redaktionellen Teil der Zeitschrift erscheinen außerdem Nachrichten, Personalien und Buchbesprechungen sowie Mitteilungen einschlägiger Fachgesellschaften.

### Verantwortlicher Herausgeber / Editor-in-Chief

Prof. Dr. Frank Ordon, Präsident und Professor des Julius Kühn-Instituts – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg

### Schriftleitung / Managing Editor

Dr. Anja Hühnlein, Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg, Tel.: 03946/47-2206, E-Mail: [journal-kulturpflanzen@julius-kuehn.de](mailto:journal-kulturpflanzen@julius-kuehn.de)

### Co-Schriftleitung

Dr. Heike Riegler (JKI Quedlinburg)

### Redaktionsbeirat / Editorial Board

Dr. Sabine Andert (JKI Braunschweig)  
Prof. Dr. Henryk Flachowsky (JKI Dresden)  
Prof. Dr. Simone Graeff-Hönniger (Universität Hohenheim)  
Prof. Dr. Jörg Michael Greef (JKI Braunschweig)  
Prof. Dr. Johannes Hallmann (JKI Braunschweig)  
Prof. Dr. Henrik Hartmann (JKI Quedlinburg)  
Prof. Dr. Johannes Jehle (JKI Darmstadt)  
Dr. Hella Kehlenbeck (JKI Kleinmachnow)  
Dr. Heinz-Josef Koch (Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen)  
Dr. Andrea Krähmer (JKI Berlin)  
Prof. Dr. Carola Pekrun (Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen)  
Dr. Jens Pistorius (JKI Braunschweig)  
Dr. Bernhard Carl Schäfer (JKI Braunschweig)  
Prof. Dr. Frank Marthe (JKI Quedlinburg)  
Prof. Dr. Benjamin Stich (JKI Groß Lüsewitz)

Prof. Dr. Hartmut Stützel (Leibniz Universität Hannover)

Prof. Dr. Friedhelm Taube (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel)

Prof. Dr. Reinhard Töpfer (JKI Siebeldingen)

Dr. Ute Katharina Vogler (JKI Braunschweig)

Prof. Dr. Jens Karl Wegener (JKI Braunschweig)

Dr. Ralf Wilhelm (JKI Quedlinburg)

### Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr.-Ing. Frank Beneke (Georg-August-Universität Göttingen)

Prof. Dr. Klaus Dittert (Georg-August-Universität Göttingen)

Prof. Dr. Wolfgang Friedt (Justus-Liebig-Universität Gießen)

Prof. Dr. Hans-Peter Kaul (Universität für Bodenkultur Wien)

Elmar Pfülb (Bundessortenamt Hannover)

Mag. Astrid Plenk (AGES - Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH)

Dr. Ellen Richter (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen)

Prof. Dr. Joseph-Alexander Verreet (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel)

### Manuskripteinreichung

Bitte reichen Sie Original- und Übersichtsarbeiten sowie Kurzmitteilungen und Nachrichten über das elektronische Zeitschriftenverwaltungssystem ein:

<https://ojs.openagrar.de/index.php/Kulturpflanzenjournal>.

Um die Einreichung zu beginnen, registrieren Sie sich als Nutzer der Zeitschrift über einen Klick auf „Registrieren“ im oberen rechten Bildschirmrand. Nach erfolgreicher Manuskripteinreichung erhalten Sie eine Bestätigung per E-Mail. Indem Sie sich mit Ihrem Benutzernamen und Passwort im System anmelden, können Sie jederzeit den Status Ihrer Einreichung einsehen.

Bei Fragen zur Manuskripteinreichung kontaktieren Sie gern die Schriftleiterin Dr. Anja Hühnlein (Tel.: 03946 47-2206, E-Mail: [journal-kulturpflanzen@julius-kuehn.de](mailto:journal-kulturpflanzen@julius-kuehn.de)).

### Verlag

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg

### Realisierung

Layout-Design: Anja Wolck (JKI Berlin)

Technische Implementierung und Produktion: mediaTEXT Jena GmbH, Richard-Sorge-Straße 6 a/b, 07747 Jena.

### Druck

ROCO Druck GmbH, Neuer Weg 48 A, 38302 Wolfenbüttel.

### Copyright

Seit Januar 2019 werden alle Beiträge im Journal für Kulturpflanzen als Open-Access-Artikel unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

Kathrin Grobbauer<sup>1</sup>, Anke Dietzsch<sup>2</sup>, Robert Brodschneider<sup>1</sup>

## Landschaft bestäuberfreundlich gedacht – Wie landwirtschaftliche Flächen für Bienen (Apiformes) lebenswerter werden

Landscape thought pollinator friendly – how agricultural areas become livable environments for bees (Apiformes)

### Affiliationen

<sup>1</sup>Universität Graz, Institut für Biologie, Graz, Österreich.

<sup>2</sup>Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Bienenschutz, Braunschweig.

### Kontaktanschrift

BSc Kathrin Grobbauer, Universität Graz, Institut für Biologie, Universitätsplatz 2, 8010 Graz, Österreich, E-Mail: k.grobbauer@gmx.at

Mag. Dr. Robert Brodschneider, Universität Graz, Institut für Biologie, Universitätsplatz 2, 8010 Graz, Österreich, E-Mail: robert.brodschneider@uni-graz.at

## Zusammenfassung

Bienen sind wichtige Bestäuber sowohl für Wild- als auch Kulturpflanzen, aber gängige Landwirtschaftsmethoden machen ihnen das Überleben schwer. Weltweit gibt es einen Rückgang der Bienendiversität. Sowohl Honigbienen als auch Wildbienen werden von anthropogenen Einflüssen und landwirtschaftlichen Anbaumethoden beeinflusst. In Österreich, Deutschland und der Schweiz werden zwischen 32 und 47 Prozent der Landesfläche landwirtschaftlich genutzt. Die Intensivierung der Landwirtschaft und der damit einhergehende Verlust von Randstrukturen sowie der Einsatz von Pestiziden führt zu einem Verlust von Nahrungspflanzen und Nistplatzhabitaten für Bienen. In diesem Artikel beschreiben wir Möglichkeiten einer kompetitiven Landwirtschaft ohne große Ertragsverluste, wie sie sich unsere Bienen wünschen würden. Wir diskutieren bienenfreundliche alternative Wirtschaftsmethoden wie Permakultur oder Agroforst, behandeln die Schaffung von Blühflächen, natürlichen Nistplätzen und Reduktion des Pestizideinsatzes. Fauna und Flora schonende Grünlandwirtschaft in Bezug auf Mähhäufigkeit, Mähtechnik und Düngung von Grünflächen werden ebenfalls besprochen. Dieser Artikel bietet Basiswissen für die Ausbildung von Landwirten für eine nachhaltige und bienenfreundliche Landwirtschaft sowie Vorschläge für ein Monitoring der Auswirkungen.

## Stichwörter

**Grünlandwirtschaft, Pestizide, Wildbienen, Hummeln, *Apis mellifera*, Monitoring, Biodiversität, Fördermaßnahmen**

## Abstract

One of the main reasons of a worldwide decline in bee diversity is the intensification of agriculture. In Austria, Germany and Switzerland, between 32 and 47 percent of the state

area is used for agriculture. The decline of field edge structures, the use of pesticides and an associated loss of forage and habitats affect both honey bees and wild bees negatively. This work summarizes agricultural measures to maintain or restore bee habitats, for example by creating flowering areas, natural nesting sites or alternative management methods such as permaculture or agroforestry. Usage of pesticides and associated consequences for bees are discussed, as well as approaches to reduce insect loss due to multiple mowing in intensively managed grassland areas. Implementation of bee-friendly, yet economically feasible management methods is only accomplishable in reciprocal dialogue between science and the designers of agricultural landscapes – the farmers. Communicating ecological relationships between the preservation of bees, pollination services and environmental sustainability via continuing education and training of next generation farmers is crucial to increase sustainability in agricultural practices. This article aims at providing the basic knowledge for bee-friendly agriculture as well as suggestions for monitoring to assess the impact.

## Keywords

**grassland farming, pesticides, wild bees, bumblebees, *Apis mellifera*, monitoring, biodiversity, subsidy measures**

## Einleitung

Bienen (Apiformes) sind eine mehr als 20.000 Arten umfassende, ökologisch sehr heterogene Gruppe der Insekten mit einer großen Bedeutung für den Menschen und die Biodiversität. Weltweit gibt es einen Rückgang von bestäubenden Insekten (Hallmann et al., 2017; Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019; Wagner, 2020). Der Insektenrückgang ist in der Wissenschaft unumstritten, eine ungenaue wissenschaftliche Kommunikation und übertriebene Darstellung können jedoch



(c) Die Autoren/Die Autorinnen 2023

Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

Zur Veröffentlichung eingereicht/angenommen: 24. Januar 2023/30. August 2023

eher kontraproduktiv für den Insektenschutz sein, weshalb es besonders wichtig ist, sachliche Wissenschaftskommunikation zu betreiben (Cardoso et al., 2019; Saunders et al., 2020; Didham et al., 2020). Die wichtige Gruppe der Bienen ist in Europa davon ebenfalls betroffen (Rasmont et al., 2005; Biesmeijer et al., 2006; Fitzpatrick et al., 2006; Patiny et al., 2009; Ockermüller et al., 2023; Zimmermann et al., 2023). In Österreich sind im Moment 707 Wildbienenarten bekannt (Wiesbauer, 2023). Deutschland und die Schweiz weisen mit 585 beziehungsweise 615 Wildbienenarten weniger Arten auf (Amiet, 1994; Scheuchl et al., 2018). Mit etwa 52 Prozent aller in Deutschland bekannten Arten sind mehr als die Hälfte der Wildbienen bestandsgefährdet (Westrich et al., 2008; 2011). In der Schweiz werden 45 Prozent der Bienen der Roten Liste als gefährdet eingestuft (Amiet, 1994). In diesem Artikel behandeln wir alle in diesen Ländern vorkommenden Bienen, und sprechen diese in ihrer Gesamtheit als „Bienen“ an. Wenn Honigbienen oder Hummeln gemeint sind, werden explizit diese Begriffe verwendet, „Wildbienen“ bezeichnet alle Bienen, exklusive der Honigbiene.

Bienen benötigen neben einem zum Teil artspezifischen Futterangebot auch geeignete Nistplätze. Der Rückgang von Bienen hat mehrere Ursachen: ein wichtiger Aspekt ist der Verlust von Lebensräumen (Kevan & Chan, 2023) und der damit verbundene Rückgang von geeigneten Futterpflanzen und Nistplätzen ausgelöst durch die landwirtschaftliche Nutzung (Nieto et al., 2014). Des Weiteren sind der Einsatz von Pestiziden sowie der Klimawandel Treiber dieses Verlusts (Venter et al., 2006; Winfree, 2010; Nieto et al., 2014).

Die anthropogene Intensivierung der Landwirtschaft hinsichtlich der Flächennutzung und dem Einsatz von Pestiziden führt zu einem verminderten Blütenangebot in der Landschaft (Goulson, 2003a; Carvell et al., 2006; Kleijn & Raemakers, 2008). Der Verlust der Blütendiversität resultiert in einer qualitativen und quantitativen Nahrungsknappheit für Bienen und somit sinkenden Populationszahlen. Durch das Verschwinden von Rainen als Lebensraum für Wildkräuter, den Einsatz von Pestiziden und Monokulturen werden Futterpflanzen für Bienen in der Landschaft immer rarer. In Österreich findet man etwa 2,67 Millionen ha landwirtschaftliche Nutzfläche, das entspricht etwa 32 Prozent der Landesfläche (Abb. 1). Davon sind circa 1,32 Millionen ha Ackerland und circa 1,26 Millionen ha Dauergrünland gewidmet. Der größte Teil davon entfällt auf konventionelle Landwirtschaft, etwa 27 Prozent werden als BIO zertifiziert geführt. In der Schweiz findet sich bei 1,45 Millionen Hektar (etwa 35 Prozent der Gesamtfläche) vergleichbar definierter landwirtschaftlicher Gesamtfläche etwa 17 Prozent in biologischer Landwirtschaft (Abb. 1). In Deutschland beträgt die landwirtschaftliche Nutzfläche circa 16 Millionen Hektar (mehr als 46 Prozent der Gesamtfläche), wovon nur 8 Prozent auf Biolandwirtschaft entfallen (BMLRT, 2021). Der Mehrheit der deutschen Landwirte ist bewusst, dass es einen Verlust von Insektenarten gibt; sie wären auch geneigt, insektenfreundlichen Maßnahmen in der Landwirtschaft umzusetzen (Busse et al., 2021). Dennoch fühlen sie sich aufgrund des Preisdruckes der Erzeugnisse gezwungen, Pestizide einzusetzen und gängige landwirtschaftliche Praktiken in Monokulturen anzuwenden.

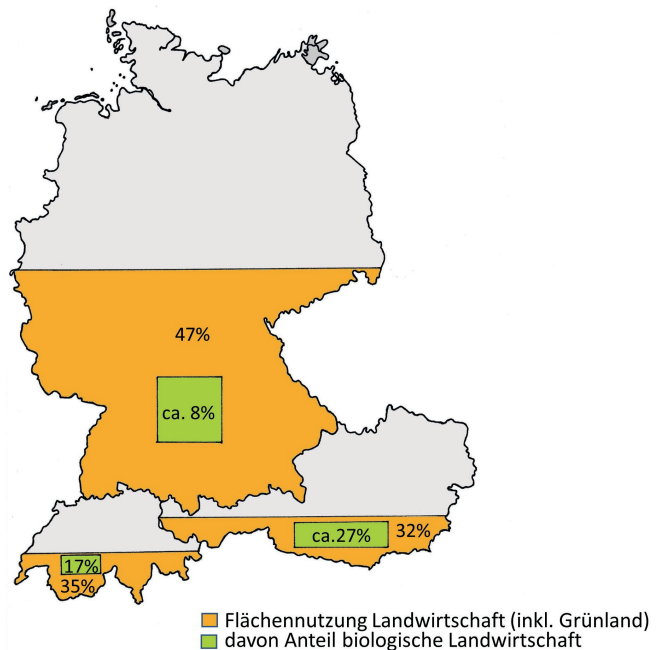


Abb. 1. Anbauflächen in Millionen Hektar in Österreich, Deutschland und der Schweiz, nach konventioneller und biologischer Anbaufläche. Datenquellen: Österreich: BMLRT (2021); Deutschland: BMLRT (2021), Die Bundesregierung (2021); Schweiz: BFS (2021, 2022).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist das Überdenken vorherrschender landwirtschaftlicher Praktiken. Hierbei sollte die Schuld für das Artensterben nicht bei Landwirten gesucht werden. Es sollen vielmehr Missstände aufgelistet und Ideen oder Alternativen ausformuliert werden, wie Landwirtschaft sowohl für Bienen als auch für Landwirte funktionieren kann. Wenn sich unsere Landschaft nachhaltig insektenfreundlicher verändern soll, dann geht das nur im Dialog mit jenen, die zu einem großen Teil unseren und den Lebensraum der Bienen gestalten – den Landwirten.

## Landwirtschaft und Bienen

Etwa 70 Prozent der global angebauten Feldfrüchte sind auf tierische Bestäuber angewiesen, wobei für eine optimale Bestäubung und damit Frucht- und Samenbildung sowohl Honigbienen als auch Wildbienen benötigt werden (Klein et al., 2007). Eine Studie zeigt am Beispiel der Schweiz den großen ökonomischen Wert der Bestäubungsleistung, welcher von Honigbienen und Wildbienen erbracht wird. Alleine der direkte jährliche Produktionswert beläuft sich etwa auf 340 Millionen Schweizer Franken (Sutter et al., 2021). Leclercq et al. (2023) konnten zeigen, dass bei der Bestäubung von Apfelblüten der Honigbienenanteil weltweit stark schwankt und Wildbienen eine entscheidende Rolle beim Blütenbesuch spielen. Diese und viele weitere Studien zeigen, wie wichtig es für die Nahrungsmittelproduktion ist, dass der landwirtschaftlich genutzte Raum Nahrung für Honig- und Wildbienen liefert und Lebensraum für Wildbienen ist.

Das Überleben von Wildbienen und anderen bestäubenden Insekten hängt von drei wesentlichen Faktoren ab: ausrei-

chend Nahrung, Nistplätze und der Möglichkeit, Partner zur Fortpflanzung zu finden. Bestäuber besuchen Blüten in erster Linie zur eigenen Nahrungsaufnahme und zum Sammeln von Nahrung für die Brut. Teilweise dienen ihnen Blüten auch als Schlaf- oder Ruhestätte sowie zur Partnerfindung (Westrich, 1990). Kultur- sowie auch Wildpflanzen können nach Kugler (1970) in unterschiedliche Blütentypen eingeteilt werden. Aus dieser rein morphologischen Einteilung der Blüten lässt sich erkennen, dass schon allein aufgrund der Körpergröße oder Rüssellänge nicht jede Blüte für jeden Bestäuber zur Nahrungsaufnahme geeignet ist.

Die meisten Bienenarten benötigen für die Ernährung und zur Aufzucht der Larven Pollen sowie Nektar, wobei sich der Proteingehalt des Pollens und der Zuckergehalt, die Nektarmenge und die Zuckerzusammensetzung des Nektars von unterschiedlichen Kultur- und Wildpflanzen stark unterscheidet (Pamminger et al., 2019a; 2019b). Die unterschiedliche inhaltliche Zusammensetzung des Pollens führt zu einem gesunden Immunsystem, wodurch Bienen Stress, den Einfluss von Pestiziden und Krankheiten besser tolerieren können. Pollen verschiedener Pflanzenarten können ernährungsphysiologisch von unterschiedlicher Qualität sein, eine Mischernährung mit mehreren unterschiedlichen Arten unterstützt die Entwicklung von Hummeln oder Honigbienen am besten (Tasei & Aupinel, 2008; Omar et al., 2017). Dies konnte auch unter Freilandbedingungen (Hanley et al., 2008; Castle et al., 2022) und für Solitärbienen nachgewiesen werden (Castle et al., 2023). Eine ausgewogene Ernährung wirkt sich vermutlich auch positiv auf die Toleranz gegenüber Agrochemikalien aus (Castle et al., 2023). Die Art der angebauten Pflanzen wirkt sich direkt und indirekt auf die Gesundheit von Bienen aus (Lau et al., 2023).

Nicht jede Blüte bietet Pollen und Nektar an, ein Beispiel für eine solche Kulturpflanze wären manche Sorten der Sonnenblume, die sich hinsichtlich der Zuckerkonzentration des Nektars unterscheiden (Chabert et al., 2020). Der Steirische Ölkürbis bietet Nektar mit 40 Prozent Zuckergehalt, welcher gerne von Honigbienen und Hummeln aufgenommen wird (Nepi et al., 2001). Der Pollen von einigen Kürbisgewächsen allerdings wird von keiner heimischen Bienenart gesammelt und gilt für Honigbienen sowie Hummeln als schädlich (Brochu et al., 2020). In Südamerika, dem Ursprungsland der Kürbisgewächse, gibt es Bienen welche auch den Pollen der Kürbisblüten sammeln. Deshalb ist es bei heimischen Kürbisfeldern wichtig, neben der Nektarquelle (Kürbisblüten) auch geeignete Pollenspenden für Bienen anzubieten.

Eine ausgiebige Pollenquelle für Bienen stellen Sonnenblumen dar. Obwohl reiner Sonnenblumenpollen von geringer Qualität für Honigbienen ist (Omar et al., 2017), werden Sonnenblumenblüten gerne von Wildbienen besucht. Honigbienen bevorzugen zum Pollensammeln andere Blüten, besuchen aber zum Nektarsammeln auch Sonnenblumen (Mallinger & Prasifka, 2017). Eine Beimengung von Sonnenblumenpollen in der Diät kann sogar positive Auswirkungen auf Bienen haben (Giacomini et al., 2018). Eine Infektion mit dem Darmpathogen *Crithidia bombi* führte bei Hummeln zu einer verminderten Gesamtfitness, was sich negativ auf die Fortpflanzung auswirken kann (Yourth et al., 2008). Giacomini et al. (2022) konnten zeigen, dass Sonnenblumenpollen die

Darmtransitzeit bei Hummeln reduzierte und aufgrund der beschleunigten Darmfunktion zu einer verringerten Infektionshäufigkeit und Intensität mit dem Darmprotozoon führte. Das Glycosid Amygdalin ist ein weiteres Beispiel für einen natürlichen Pathogenhemmer. Der in Mandelblüten vorkommende Stoff ist in der Lage die Viruslast bei Honigbienen zu reduzieren (Tauber et al., 2020).

Wildbienen brauchen geeignete Nistplätze und die Möglichkeit Partner zu finden. Besonders in Landschaften mit wenig struktureller Vielfalt und großen zusammenhängenden Acker- oder Wiesenflächen wird die Suche nach Fortpflanzungspartnern für Bestäuber zunehmend zur Herausforderung (Kline & Joshi, 2020). Früher verliefen zwischen den Feldern Raine, welche ein gewisses Blütenangebot über einen langen Zeitraum hinweg bereitstellten. Diese meist unbewirtschafteten Wiesenflächen dienten zur Trennung verschiedener Landbesitzer und Feldfrüchte. Heute findet man in der Agrarlandschaft kaum noch Raine – Felder werden mit großen Maschinen bearbeitet und bis zu den Rändern bebaut. Dies führt zu einem verminderten Blütenangebot in landwirtschaftlich genutzten Regionen. Sind Raine vorhanden, werden diese zum Teil mit Herbiziden behandelt, bekommen Insektizide von der Nachbarkultur ab oder werden sehr häufig gemäht. Gerade diese Randstrukturen aber bieten Bestäubern in der Landschaft ein großes Potential (Abb. 2). Am Beispiel der Hummeln zeigt sich, dass einer der Hauptgründe für deren Rückgang Habitatverlust durch die Intensivierung der Landwirtschaft ist (Vanbergen & Insect Pollinators Initiative, 2013). Qualitativ hochwertige Lebensräume mit einem reichhaltigen Blütenangebot hingegen wirken sich positiv auf die Hummelpopulationen in den Folgejahren aus (Carvell et al., 2017).

Die landwirtschaftliche Intensivierung führt in Europa zu immer geringerer taxonomischer und funktioneller Diversität von Ackerbeikräutern (Carmona et al., 2020). Der Mangel an ganzjähriger und qualitativ hochwertiger Nahrung in landwirtschaftlicher Umwelt kann ein limitierender Faktor für Hummeln (Requier et al., 2020), aber auch für Honigbienen sein (Requier et al., 2017). Generell ist die Intensivierung der Landwirtschaft und die damit verbundene Reduktion eines vielfältigen Futterangebotes durch Wildpflanzen einer der Hauptgründe für den Diversitätsverlust bei Bienen (Kleijn et al., 2009; Walker et al., 2012; Vaudo et al., 2015). Die strukturelle Vereinfachung der Landschaft wirkt sich stark negativ auf den Artenreichtum und die Abundanz von Wildbienen aus (Ockermüller et al., 2023). Die für die Ernährung des Menschen notwendige Landwirtschaft kann nicht abgeschafft, aber durch geeignete Maßnahmen bestäuberfreundlicher werden.

## Was Bienen in der Landwirtschaft brauchen

### Nahrung in blühenden Netzwerken

Gut durchdachte, mehrjährige Biodiversitätsstreifen mit ganzjährigem Blütenangebot, dem sogenannten Trachtfließband, Totholzstrukturen und offenen Bodenstellen, welche die Land-



Abb. 2. Bei der Gestaltung des Rains kommt es auf die Details an. Obere Reihe: Die mit Pestiziden behandelten Randstrukturen von Apfelplantagen – hier können keine Wildpflanzen wachsen. Unten links: lange, schmale Randstruktur eines Getreidefeldes mit Wildpflanzen als Nahrung und Nistplatz für Bienen. Unten rechts: ein sehr großes Getreidefeld wurde mithilfe eines Blühstreifens in der Mitte geteilt und bietet so Bienen Nahrung.

schaft durchziehen, können Bienen als Habitat mit Nistplätzen und Nahrungspflanzen dienen. Neben Feldrändern, Rainen und Brachflächen können Blühstreifen eine Nahrungsquelle für Bestäuber darstellen. Vor allem in der blütenarmen Zeit zwischen Raps- und Sonnenblumenblüte sichern Blühstreifen die Versorgung mit floralen Ressourcen für Bienen in agrarisch

intensiv genutzten Gebieten. Bei Honigbienen hat sich gezeigt, dass durch vielfältige Pollenquellen wie Beikräuter in der Landwirtschaft die Brutentwicklung gefördert wird (Wintermantel et al., 2019). Geringes Pollenvorkommen durch den Rückgang vieler Wildpflanzen kann bei Hummeln massive Auswirkungen auf das Überleben haben (Kleijn & Raemakers, 2008).

Die Anlage von Blühstreifen zwischen Ackerflächen kann zur Erhaltung der Biodiversität in der Landwirtschaft beitragen (Dietzel et al., 2019). In diesem Artikel beziehen wir uns auf blühende Strukturen in landwirtschaftlich genutzten Gebieten. Diese können im Zuge eines Förderprogramm angelegt worden oder auch durch Schaffung von nicht bewirtschafteten Flächen entstanden sein. Gerade für Hummeln ist ein früh im Jahr blühender Streifen zwischen noch kahlen Feldern als Nahrungsquelle wichtig (Scheper et al., 2015). Auch andere Wildbienen profitieren von zeitig im Jahr blühenden Pflanzen. Für Honigbienen konnte in einer Simulation gezeigt werden, dass die Größe und der Flächenanteil hochwertiger Blühstreifen auf Landschaftsebene positiv mit der Volksstärke korreliert (Baden-Böhm et al., 2022). Für viele Wildbienen hingegen spielt die Größe der Blühstreifen eine untergeordnete Rolle – schon schmale Streifen können die Anzahl der vorkommenden Arten signifikant erhöhen (Misiewicz et al., 2023; Van Drunen et al., 2022). Donkersley et al. (2023) zeigten mit Hilfe von Simulationsdaten, dass schmale Blühstreifen die Diversität der Bienen fördern, wobei die Entfernung der Blühstreifen zueinander und zu geeigneten Nistplätzen besonders für kleine Solitärarten ausschlaggebend ist. Bienen mit einer Körpergröße von 6 bis 15 Millimeter können maximal 150 m Flugdistanz zurücklegen, damit die Samelflüge noch effizient bleiben (Hofmann et al., 2020).

Bei der Anlage von Blühstreifen sollten bevorzugt heimische, an den Standort angepasste Pflanzenmischungen verwendet werden. Heimische Pflanzen sind an Witterungsbedingungen und das regionale Klima angepasst, können sich selber aussäen und sind dadurch beständiger. Heimische Bestäuber sind an diese Pflanzen angepasst und können die Blüten zur Nahrungsaufnahme verwenden. Regionales Saatgut führt zu besseren Besuchsraten durch bestäubende Insekten (Bucharova et al., 2021). Allerdings können auch gebietsfremde Arten Bestäuber unterstützen (Vilà et al., 2009) und sind unter Umständen besser an ein sich wandelndes Klima angepasst. Blühmischungen mit vielen unterschiedlichen Blühpflanzen fangen früher zu blühen an und sind so für ein breiteres Spektrum von Bestäubern attraktiv (Nichols et al., 2022). Eine

Analyse der Artenherkunft und Artenzahl von 16 im Jahr 2021 im Deutschsprachigen Raum erhältlichen Saatgutmischungen ist in Abb. 3 dargestellt. In diesen Saatgutmischungen waren mit Büschelschön (*Phacelia tanacetifolia*), Sonnenblume (*Helianthus annuus*) und Ringelblume (*Calendula officinalis*) nicht heimische Arten am häufigsten zu finden. Die Kornblume (*Centaurea cyanus*) an vierter Stelle, war die am häufigsten verwendete heimische Art.

Decourtye et al. (2010) präsentieren eine Zusammenstellung von Pflanzen zur Unterstützung von Honigbienen in der Landwirtschaft inklusive Einsaatdichte und Honigpotential. Eine generelle, optimale Einsaatdichte ist aufgrund unterschiedlicher Bodenbedingungen schwer festzulegen. Gut gedüngte Ackerböden weisen einen hohen Unkrautdruck auf, weshalb eine hohe Saatdichte verwendet werden sollte. Dennoch ist zu beachten, dass konkurrenzschwache Arten, wie die meisten Blühpflanzen, eher geringere Saatkichten benötigen, um sich besser etablieren zu können. Eine für Wildbienen gut geeignete Futterpflanze in Blühmischungen ist der Gewöhnliche Hornklee (*Lotus corniculatus*), welcher mit einer Saatkichte von 25 bis 50 Kilogramm pro Hektar angebaut werden sollte (Decourtye et al., 2010). Weitere für Bienen geeignete Pflanzen einer Blühmischung wären beispielsweise verschiedene Klee-Arten, Büschelschön, Senfarten (*Sinapis* spp.) oder Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*).

Blühstreifen direkt neben mit Pestiziden behandelten Ackerflächen können für Insekten, die diese Pflanzen besuchen, durch Pestizidabdrift eine Gefährdung darstellen (Ward et al., 2022), wenn Rückstände in Konzentrationen vorliegen, die für Bienen ein Risiko darstellen. Sind in der Landschaft aber genügend solcher Strukturen vorhanden, können Insekten eventuelle Verluste leichter und schneller ausgleichen. Dennoch ist die Minimierung von Pestiziden in Rainen wünschenswert. Vorteile und Nachteile bei der Anlage eines Blühstreifens aus Sicht der Landwirte heben sich auf (Uyttenbroeck et al., 2016), hinsichtlich der wirtschaftlichen Auswirkungen von Blühstreifen besteht allerdings weiterhin Forschungsbedarf. Durch eine größere Vielfalt an Bestäubern in

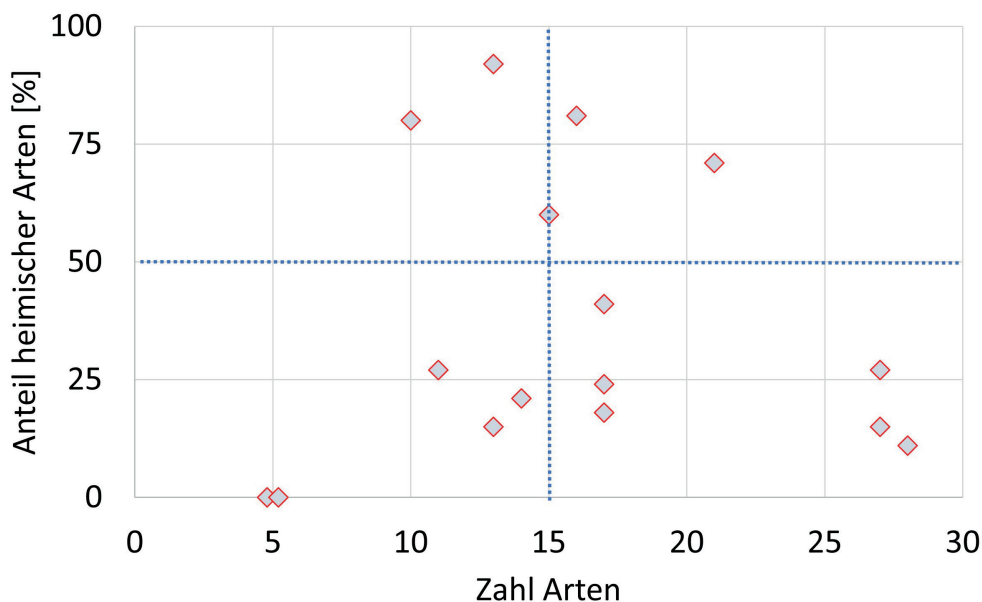


Abb. 3. Zahl der Arten und Anteil der heimischen Arten von 16 im Jahr 2021 erhältlichen Bienenweide-Saatgutmischungen. Im rechten oberen Quadranten befinden sich Saatgutmischungen, welche eine hohe Artenzahl und einen großen Anteil heimischer Arten aufweisen. Im linken unteren Quadranten befinden sich Saatgutmischungen, welche wenige Arten und einen geringen Anteil heimischer Arten aufweisen. Mitarbeit: Jana Göpfert, im Rahmen ihrer Bachelorarbeit.

der Kulturlandschaft durch die Anlage von Blühstreifen könnten auch Kulturpflanzen besser bestäubt werden, was wiederum zu einem finanziellen Vorteil für Landwirte führen kann.

Wie gut Blühstreifen von Bienen besucht werden, hängt von der Umgebung der Flächen ab. Untersaaten und Zwischensaaten können ebenso einen Beitrag zur Bereitstellung von Blütenressourcen in Agrarlandschaften leisten (Mallinger et al., 2019). Angelegte Blühflächen in Obstplantagen liefern Futter für eine Vielzahl an bestäubenden Insekten, selbst wenn Honigbienen die häufigsten Blütenbesucher von Apfelblüten sind (Barda et al., 2023). Neben Wildbienen profitieren auch Honigbienen vom vermehrten Futterangebot durch angelegte Blühstreifen. Wie in der Studie von Zhang et al. (2023) nachgewiesen wurde, erhöhen vielfältige, mehrjährige Blühstreifen an Mais- und Sojafeldern die von Honigbienen gesammelten Pollenmengen um bis zu 50 Prozent und führen zu verbesserten Überwinterungsraten. Je älter Blühflächen sind, desto wertvoller sind sie für die Biodiversität (Albrecht et al., 2020).

Etwa ein Drittel der heimischen Wildbienen benötigt neben Pollen und Nektar auch nicht-florale Ressourcen. Harze, Blattstücke, Honigtau oder auch zuckerhaltige Sekrete aus extrafloralen Nektarien werden von manchen Bienenarten zum Nestbau oder zur Erhaltung der Gesundheit benötigt (Requier & Leonhardt, 2020). Viele dieser Ressourcen finden sich an holzigen Strukturen. Deshalb erhöht sich die Abundanz gefundener Bienen auf Blühflächen mit vorhandenen Solitärbäumen, Windschutzgürteln oder Wäldern in näherer Umgebung dieser Flächen (Kratschmer et al., 2018; 2019). Neben der Erhöhung der Blütenanzahl in der Landschaft sollte daher der Erhalt und die Anlage von Holzstrukturen, beispielsweise in Form von Hecken oder Windschutzgürteln, forciert werden (Requier & Leonhardt, 2020). Um die Gesundheit der Bienen erfassen zu können, benötigt es ein Verständnis für die komplexen Wechselwirkungen zwischen Bienen und Landschaft, beispielsweise in Bezug auf unterschiedliche Pollen- und Nektarqualitäten vorhandener Blüten und nicht nur die Anzahl geöffneter Blüten (Parreño et al., 2022).

### Nistmöglichkeiten

Der Großteil heimischer Wildbienenarten nistet im Boden und ist daher auf offene, vegetationsfreie und gut besonnte Bodenstellen angewiesen (Zurbuchen & Müller, 2012; Gardein et al., 2022). Nur etwa 30 Prozent der Arten nistet oberirdisch (Westrich, 2015). Natürliche Strukturen wie Totholz, Fels- und Steinstrukturen sowie Pflanzenstängel und Schneckenhäuser bieten natürliche Nistmöglichkeiten für Wildbienen (Zurbuchen & Müller, 2012). Um heimische Wildbienen zu unterstützen, werden häufig Nisthilfen in Form von sogenannten „Insektenhotels“ aufgestellt. Der Begriff „Insektenhotel“ ist jedoch irreführend, da es weder von allen Insekten genutzt werden kann, noch als kurzzeitliche Übernachtungsstätte dient. Im Wesentlichen handelt es sich um Nisthilfen für eine geringe Anzahl von Wildbienen- und Wespenarten, welche ihre Brut dort ablegen können. Meist bestehen solche Nisthilfen aus Schilfrohr, Bambusröhrchen oder Holzstücken mit verschieden großen Löchern. Standardisiert angewendet, können Nisthilfen beim Bienenmonitoring, zur Untersuchung

von Umwelteinflüssen auf Bienenpopulationen und zur Verbesserung der Bestäubungssituation herangezogen werden (MacIvor, 2017). In der Landwirtschaft können Nisthilfen mit hohlen Stängeln oder Holzblöcken demnach Bestäuber anlocken (Rahimi et al., 2021).

Viele im Handel erhältliche Nisthilfen beinhalten für Bienen unbrauchbare Materialien wie Kiefernzapfen, Sägespäne oder ungeeignete Holzsorten, welche leicht einreißen und so ein Verschimmeln der Brut fördern. Auch im Handel erhältliche Acrylglasröhrchen, zur leichteren Beobachtung von solitären Wildbienen, sind als künstliche Nisthilfen bedenklich. Die Röhrchen werden zwar besiedelt, durch die Verwendung eines Wasserdampf-undurchlässigen Materials kann allerdings das Brutfutter und in weiterer Folge auch die Brut schnell verschimmeln (Prell et al., 2015; Westrich 2015-2023). Problematisch hinsichtlich der unkontrollierten Vermarktung solcher Nisthilfen finden wir die falsche Botschaft an die Bevölkerung. „Insektenhotel“ ist nicht gleich Bienenschutz. Nistkästen fördern keine bedrohten Arten und werden nur von wenigen Stängel bewohnenden Bienenarten besiedelt, welche in einer natürlichen Umgebung genügend Nistmöglichkeiten finden würden (Geslin et al., 2022). Nisthilfen sind auch ökologisch bedenklich, da sie von invasiven, gebietsfremden Arten besiedelt werden können und so deren Ausbreitung erleichtern (Geslin et al., 2020). Als Beispiel ist hier die Asiatische Mörtelbiene (*Megachile sculpturalis*) zu nennen. Diese aus dem asiatischen Raum stammende Art wurde versehentlich in Europa eingeführt und breitet sich aufgrund von klimatischen Veränderungen seitdem stetig aus. Die Asiatische Mörtelbiene nimmt Nisthilfen gerne an und ist eine der häufigsten dort zu findenden Arten (Geslin et al., 2020). Neben der Förderung durch Nisthilfen kann auch die Klimaerwärmung mit ausschlaggebend für die Besiedelung von wärmeliebenden Arten sein (Fechtler et al., 2021). Zur Sensibilisierung der Bevölkerung eingesetzt, können Nisthilfen jedoch einen kleinen Teil zum Artenschutz beitragen, beispielsweise an Schulen. Sie unterstützen das Bewusstsein und die Aufmerksamkeit der Bevölkerung für bienenfördernde Maßnahmen auch im privaten Bereich.

Um die Gesamtheit heimischer Wildbienen zu fördern, ist es wichtig, eine möglichst große Vielfalt an natürlichen Strukturen, wie beispielsweise Hecken, trockene und feuchte Bodenstellen und Totholz, in der Landschaft zu erhalten beziehungsweise bereit zu stellen. Die Erhöhung der Anzahl vegetationsfreier Bodenstellen in Kombination mit nahegelegenen Blütenangebot führt zur Erhöhung der Anzahl von Nestern bodennistender Arten (Gardein et al., 2022). Eine gute Fördermaßnahme für bodennistende Arten in der Landwirtschaft stellen angelegte Nisthügel dar. In einer deutschen Studie konnte gezeigt werden, dass das Bereitstellen von vegetationsfreien Nisthügeln mit horizontalen und vertikalen Nistmöglichkeiten die lokale Bienenpopulation positiv beeinflusst (Neumüller et al., 2022). Viele Hummelarten nisten gerne unterirdisch in verlassenen Mäusenestern, sind aber auch in Steinhäufen, Heuaufgaben oder Holzstapeln zu finden. Zum Teil besiedeln Hummeln auch aufgestellte Hummelnistkästen. Allerdings ist die Anschaffung beziehungsweise der Bau solcher Nistkästen mit einigem Aufwand verbunden. Eine einfache und kostengünstige Alternative dazu können bereits in



Zersetzung befindliche Strohballen darstellen (Lindström et al., 2022).

## Bienenfreundliche Landwirtschaft

### *Biolandwirtschaft und Reduktion von Agrochemikalien*

Die biologische Landwirtschaft ist eine besonders ressourcenschonende, nachhaltige Form der Landwirtschaft und beinhaltet unter anderem folgende Prinzipien: möglichst geringer Einsatz von Pestiziden, Nutzung von natürlichen Selbstregulierungsmechanismen und Umweltschonung (Niggli & Fließbach, 2009; Haller et al., 2020). Bezogen auf den Anteil biologisch bewirtschafteter Fläche an der landwirtschaftlich genutzten Fläche liegt Österreich mit etwa 27 Prozent an der Spitze aller EU-Staaten (BMLRT, 2021). Biologische Wirtschaftsweisen, egal ob bei insekten- oder windbestäubten Kulturen, fördern nachweislich die Diversität und höhere Individuenzahlen von Bienen und Bestäubern allgemein (Morandin & Winston, 2005; Clough et al., 2007; Holzschuh et al., 2007; 2008; Haller et al., 2020). Krogmann et al. (2019) verweisen in ihrem “9 Punkte Plan gegen das Insektensterben” auf die Wichtigkeit der Reduktion von Pestiziden sowie der Extensivierung der Landwirtschaft zum Schutz von Insekten. Im Biolandbau sind keine chemisch-synthetischen Pestizide zugelassen, der Schädlingsdruck wird hauptsächlich durch Stärkung der Pflanzengesundheit über nachhaltige Bodenbewirtschaftung und die Einhaltung der Fruchtfolge sowie den Einsatz biologischer Pflanzenschutzmittel erreicht. Wie in der konventionellen Landwirtschaft auch, richtet sich der Pflanzenschutzmitteleinsatz nach den Maßgaben des integrierten Pflanzenschutzes, d. h. nur im Bedarfsfall werden Pflanzenextrakte, Mineralien oder Reinelemente wie Kupfer oder Schwefel je nach Kultur (z. B. im Obst- und Weinbau) unter Umständen auch regelmäßig angewendet. Im Gegensatz zu chemisch-synthetischen Pestiziden sind manche Biopestizide, welche auf Basis lebender Organismen hergestellt werden, im biologischen Landbau zugelassen. Biopestizide gelten generell als unbedenklicher für Bienen (Cappa et al., 2022). Dennoch können sie tödliche oder auch subletale Wirkungen auf Bienen haben (Steinigeweg et al., 2023). Forschung in diesem Bereich, vor allem für die große Gruppe der Solitärbienen, ist notwendig (Cappa et al., 2022; Catania et al., 2023). Der Verzicht auf chemisch-synthetische Pestizide fördert die Erhaltung der Biodiversität (Zaller, 2020).

Rückstände aus chemisch-synthetischen und biologischen Pestiziden in Pollen und Nektar können das Mikrobiom von Bienen verändern und haben wahrscheinlich indirekte, schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit der Bienen (Rothman et al., 2020; Alkassab et al. 2022). Kriterien für das Ausbringen von Pestiziden, wie Umgebungstemperatur oder Attraktivität der Kulturpflanzen, können nicht garantieren, dass Bienen beim Einsatz von Pestiziden nicht direkt in Kontakt mit den Chemikalien kommen (Decourtye et al., 2023).

Die meisten Studien, welche sich mit der Auswirkung von Pestiziden auf Bienen beschäftigen, werden mit Hilfe von Pollengeneralisten durchgeführt (vgl. aber Jütte et al., 2023).

*Osmia brevicornis*, ein Pollenspezialist auf Kreuzblütlerpollen, wie beispielsweise Raps, wäre als alternativer Modellorganismus sowohl im Labor als auch im Freiland geeignet (Hellström et al., 2023). In welchem Ausmaß Pollenspezialisten, wie beispielsweise einige auf Weiden spezialisierte *Andrena*-Arten, einer Exposition mit Pestiziden ausgesetzt sind, ist jedoch noch nicht untersucht.

Zur Beikrautregulierung wird im Biolandbau oft mechanische Bodenbearbeitung eingesetzt. Diese Methode ist einerseits positiv hinsichtlich des Verzichts auf Pestizide zu bewerten, andererseits können durch wiederholte Störung Nester von bodennistenden Bienenarten zerstört werden. Unabhängig von der Bodenbearbeitung werden Ackerflächen aber von zahlreichen Bienenarten als Nistorte genutzt (Tschanz et al., 2023). Bedenken bezüglich Beikrautdruck durch pestizidlose Wirtschaftsmethoden hält viele Landwirte von der Umstellung auf Biolandwirtschaft ab. Es hat sich jedoch gezeigt, dass mit der Dauer biologischer Bewirtschaftung in gemischtwirtschaftlich geführten Betrieben weder der Unkrautdruck steigt, noch die Erträge sinken (Honegger et al., 2014). Die biologische Landwirtschaft ist im Moment die verbreitetste Alternative zur konventionellen Landwirtschaft, dennoch spielt womöglich die Landschaftsdiversität, vor allem die Feldgröße (siehe unten), für die Bienen Diversität eine noch größere Rolle (Tschanz et al., 2021). Wir schließen uns der Meinung von Brühl et al. (2022) an, dass biologische Landwirtschaft durch den Verzicht von synthetischen Pestiziden viele Vorteile für Bienen bringt, und wünschen uns für Bienen einen hohen Anteil von Biolandwirtschaft auf kleinen Feldflächen.

### Insektizide

Pflanzenschutzmittel, zum Beispiel aus den Gruppen der Organophosphate, Pyrethroide oder Neonikotinoide, sind Nervengifte, die die Reizweiterleitung bei Insektenneuronen unterbinden. Sie werden als Mitgrund für den Rückgang von Bienenarten verantwortlich gemacht (Woodcock et al., 2016; Straub et al., 2022; Yordanova et al., 2022). Einige Studien haben gezeigt, dass Neonikotinoide in feld-realistischen Konzentrationen subletale Effekte bei Hummeln hervorrufen, die Volksentwicklung verschlechtern und die Zahl produzierter Jungköniginnen verringern können (Whitehorn et al., 2012; Rundlöf et al., 2015). Bei *Osmia bicornis* kann die Anzahl der Nachkommen reduziert werden und das Geschlechterverhältnis in Richtung Männchen verschoben werden (Sandrock et al., 2014). In Zuckerrübenfeldern, bei denen die Pflanzen aus mit Thiamethoxam gebeiztem Saatgut stammten, konnten Rückstände von Neonikotinoiden im Nistmaterial von *O. bicornis* nachgewiesen werden (Odemer et al., 2023). Woodcock et al. (2017) konnten nachweisen, dass höhere Neonikotinoidrückstände in Nestern von *Bombus terrestris* sowie *O. bicornis* negativ mit dem Fortpflanzungserfolg korrelierten. Andere Arbeiten finden keine signifikant negativen Effekte von Neonikotinoiden auf Hummeln oder *O. bicornis* (Cutler et al., 2014; Ruddle et al., 2018; Dietzsch et al., 2019).

Bienen sind häufig einem Cocktail mehrerer unterschiedlicher Insektizide und Hilfsstoffen ausgesetzt (Gill et al., 2012; Pettis et al., 2013; Traynor et al., 2021). Die einzelnen Mischungs-

partner sind im Rahmen der Zulassung oft umfangreich geprüft, in Mischung allerdings können unvorhersehbare synergistische Effekte auftreten (Wernecke & Castle, 2020). Hilfsstoffe unterliegen keiner regulatorischen Risikobewertung und können ebenfalls in Mischung mit Pflanzenschutzmitteln zu unerwünschten Effekten, wie beispielsweise zu einer erhöhten Sterblichkeit bei Honigbienen, führen (Wernecke et al., 2022).

### Fungizide

Fungizide sind die häufigsten Rückstände in Bienen, wenn auch für sie selbst ungefährlich oder nur mäßig gefährlich. Für die in der EU zugelassenen Fungizide Dithianon, Difenoconazol und Fludioxonil konnte allerdings ein Einfluss auf die mitochondriale Atmung bei Hummeln nachgewiesen werden (Syromyatnikov et al., 2017). Fungizide, die die Sterol-Biosynthese inhibieren, können außerdem die Toxizität von Insektiziden aus der Gruppe der Neonikotinoide und der Pyrethroide stark erhöhen (Iverson et al., 2019; Schuhmann et al., 2022). Das Fungizid Fluxapyroxad in feldrealistischen Konzentrationen steigert die Toxizität des Insektizids Sulfoxaflor für *O. bicornis* und *Apis mellifera* (Azpiazu et al., 2021). Castle et al. (2023) konnten nachweisen, dass eine Mischung aus dem Fungizid Prochloraz mit dem Insektizid Chlorantraniliprol sich bei Hummeln negativ auswirken kann. Dasselbe Fungizid in Kombination mit dem Insektizid Thiacloprid hat negative Auswirkungen auf den Fortpflanzungserfolg bei *O. bicornis* (Alkassab et al., 2020).

### Herbizide

Herbizide beeinflussen Bienen und andere Bestäuber indirekt durch die Reduktion von Nahrungspflanzen. Es wurden allerdings auch direkte Wirkungen von Herbiziden auf Honigbienen, Hummeln und Solitärbiene nachgewiesen (Belsky & Joshi, 2020). Das weltweit am meisten benutzte Herbizid zur Bekämpfung von Unkraut ist Glyphosat. Es galt lange als unschädlich für Bienen, da es ein Enzym zur Synthese aromatischer Aminosäuren (EPSP) blockiert, welches nur in Pflanzen und Mikroorganismen vorkommt. Allerdings konnte in Laborstudien bei Honigbienen nach Glyphosatbehandlung eine Störung des Darmmikrobioms nachgewiesen werden, infolgedessen eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Krankheitserregern und eine erhöhte Sterblichkeit festgestellt wurde (Motta et al., 2018; Castelli et al., 2021). Glyphosat beeinflusst bei Honigbienen auch kognitive Fähigkeiten negativ (Balbuena et al., 2015). Im Gegensatz dazu gibt es (Feld-) Studien, die keine dramatischen Folgen einer chronischen Glyphosatexposition auf Honigbienen gefunden haben (Odemer et al., 2020). Bei Hummeln führte die über 30 Tage dauernde chronische Exposition mit Glyphosat zu einer verringerten Fähigkeit, erforderliche Bruttemperaturen bei Nahrungsknappheit zu generieren (Weidenmüller et al., 2022). Bei Hummeln zeigen Laborstudien zu den Auswirkungen auf das Darmmikrobiom sowie die Sterblichkeit nach Exposition mit Glyphosat widersprüchliche Ergebnisse (Motta & Moran, 2023, Straw et al. 2023). Kontakt mit Glyphosat kann bei Hummeln die Feinfarbunterscheidung beeinträchtigen, welche wichtig für individuellen Erfolg und Fitness der Kolonie ist

(Helander et al., 2023). Insgesamt werden die Auswirkungen von Glyphosat auf Bienen, auch aufgrund fehlender Feldstudien, weiterhin kontrovers diskutiert (Straw, 2021). Trotz der niedrigen direkten Letalität von Herbiziden können subletale Konzentrationen Auswirkungen auf Bestäuberpopulationen haben, die allerdings viel schwieriger zu erfassen sind. Bei chronischer Exposition mit Glyphosat konnten, selbst ohne beobachtbare Symptome, transkriptionale Veränderungen in verschiedenen Genen von Honigbienenlarven nachgewiesen werden (Vázquez et al., 2020). Dass die Toxizität von Glyphosat nicht immer mit dem Expositionsgrad verknüpft ist, sondern auch unter anderem vom Mischungsverhältnis mit anderen Pestiziden abhängt, zeigten Pal et al. (2022). Mechanische Unkrautregulierung und häufigere Bodenbearbeitung wie in der biologischen Landwirtschaft sollten dem Einsatz chemisch-synthetischer Herbizide vorgezogen werden, führen aber ebenfalls zum Verlust von Blühressourcen in der Agrarlandschaft.

### Dünger

Extensiv genutzte Wiesenflächen weisen im Durchschnitt eine größere Vielfalt an Pflanzenarten auf, als intensiv genutzte Flächen. Dies hängt hauptsächlich mit einem geringeren Stickstoffgehalt der Böden zusammen. In der Landwirtschaft werden sowohl Grünland- als auch Ackerflächen häufig mit Stickstoff gedüngt, und die kritische Belastungsgrenze wird vielerorts überschritten (Guntern et al., 2020). Der Pflanzenartenreichtum dieser Flächen steht in signifikant negativem Zusammenhang mit dem Stickstoffeintrag (Kleijn et al., 2009). Konkurrenzstarke Pflanzenarten verdrängen Arten, die auf Magerböden angepasst sind. Viele Wildpflanzen, die als Futterpflanzen für Insekten dienen, sind allerdings auf Magerböden spezialisiert. Nimmt deren Vielfalt ab, so sinkt auch die Diversität der abhängigen Insektenarten (Guntern et al., 2020). Der Einsatz von Stickstoffdüngung wirkt sich negativ auf den gesamten Bienenreichtum in einer Wiese aus (Ekroos et al., 2020). Um den Einsatz von Düngemitteln in der Landwirtschaft zu reduzieren und optimieren, ist es wichtig, die landwirtschaftliche Produktionsintensität an das Potential und die Tragfähigkeit des Standorts anzupassen.

### Antibiotika

Antibiotika werden nicht nur in der Tierzucht eingesetzt, auch im Pflanzenbau können sie Verwendung finden. Streptomycin ist eines der ältesten Antibiotika und wird seit 1950 im Obstbau gegen den bakteriellen Feuerbranderreger eingesetzt. Anfangs wurde dieses Antibiotikum bis zu 14-mal pro Jahr angewandt und direkt in die geöffneten Blüten der Obstbäume appliziert (Dudda, 2018). Seit 2004 gibt es für Streptomycin in der gesamten EU keine Zulassung mehr. Eine Exposition mit Streptomycin beeinflusst die Lernfähigkeit und Nahrungssuche bei Hummeln negativ (Avila et al., 2022). Antibiotika können außerdem die Zusammensetzung und Größe des Darmmikrobioms von Honigbienen stören (Raymann et al., 2017), was zu einer erhöhten Sterblichkeit führen kann. Während Bienen den Antibiotikaanwendungen im Pflanzenbau indirekt ausgesetzt sein können, werden Honigbienen in einigen Ländern auch direkt mit Antibiotika behandelt, beispielsweise

se gegen Faulbrut und *Nosema* spp. (Reybroeck et al. 2012). In der EU ist der Einsatz von Antibiotika in der Bienenhaltung jedoch nicht zugelassen.

### Permakultur

Die Permakultur wurde von dem australischen ökologischen Visionär Bruce Charles „Bill“ Mollison ins Leben gerufen (Fiebrig et al., 2020). Grundstein der Permakultur sind 12 Prinzipien mit „ganzheitlichem“ Nachhaltigkeitskonzept (Holmgren, 2015). Diese Prinzipien sollen langfristig auf einen Verzicht aller Pflanzenschutzmittel und synthetischen Dünger, Verringerung des Einsatzes von landwirtschaftlichen Nutzfahrzeugen, Reinigung des Grundwassers und eine Zunahme der Biodiversität abzielen (Gampe, 2021). Gerade der schonende Umgang mit landwirtschaftlichen Flächen und die Reduktion von Pestiziden können positive Auswirkungen auf Bienen und andere Flora- und Faunaelemente haben. Die Praktiken und Prinzipien von Permakultur und ökologischem Landbau sind kompatibel und verfolgen sehr ähnliche Ziele. Der ökologische Landbau ist über die Einhaltung genauer Regeln und Standards in der landwirtschaftlichen Praxis definiert. Permakultur auf der anderen Seite ist weniger genau definiert und weniger stringent bezüglich des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln wie Kupferpräparaten oder Neemöl sowie deren Höchstgrenzen (Fiebrig et al., 2020). Momentan werden Landwirte, Einzelakteure und Unternehmen, die den Ansatz der Permakultur verfolgen, mit erheblichen (bürokratischen) Hindernissen und Herausforderungen konfrontiert (z. B. bezüglich einer Vermarktung/eines Labels, Politisierung, Subventionen; Lager, 2019) und erreichen aus diesen und anderen Gründen nur schwer wirtschaftliche Rentabilität.

### Agroforst

Beim Agroforst handelt es sich um eine Landnutzungsform, bei der Gehölze mit Ackerkulturen und/oder Tierhaltung so auf einer Fläche kombiniert werden, dass zwischen den verschiedenen Komponenten ökologische und ökonomische Vorteilswirkungen entstehen (Nair, 1993). Neben den Vorteilen für Boden, Wasserhaushalt und Klima können Gehölzstreifen in Agroforstsystemen die Biodiversität bereichern (Zehlius-Eckert et al., 2020). Vor allem höhlenbewohnende, solitäre Bienenarten können von einer Kombination aus Ackerflächen und holzigen Elementen profitieren (Kay et al., 2020). Gut ein Drittel aller Bienenarten weltweit benötigen für Nestbau, zum Erhalt der Gesundheit oder als alternative Nahrungsquellen nicht-florale Ressourcen. Beispielsweise nutzen Honigbienen zuckerhaltige Sekrete anderer Insekten wie etwa Honigtau von Blattläusen auf holzigen Pflanzen. Gehölze liefern Ressourcen wie Harz oder Blattstücke (Requier & Leonhardt, 2020). Gehölzstreifen mit einer artenreichen Gehölzzusammensetzung und einer vielseitigen, in der Höhe gestaffelten Vegetationsstruktur können auch Arten fördern, welche sonst auf rein landwirtschaftlich genutzten Flächen nicht vorkommen. Die Qualität der Umgebung beeinflusst maßgeblich, welche Arten sich in einem Agroforst ansiedeln können (Zehlius-Eckert et al., 2020).

### Feldgröße und Randstruktur

Die mit der Ausweitung von Landwirtschaft einhergehende Schaffung großer, zusammenhängender, monokulturell bewirtschafteter Ackerflächen wirkt sich negativ auf die Biodiversität aus. Eine Verkleinerung der Felder, die Erhöhung der Vielfalt angebaute Nutzpflanzen auf den Feldern und die Diversifizierung der Ackerbegleitflora sind ein effektiver Weg, die Biodiversität in der Agrarlandschaft zu erhöhen (Bretagnolle & Gaba, 2015; Jorzik, 2019; Sirami et al., 2019; Tscharrnke et al., 2021). Die Erhöhung der Biodiversität ist auch ein Schlüsselfaktor bei der Bekämpfung von Insektenschädlingen (Bohlen & Barrett, 1990). In Gebieten mit intensiver Landwirtschaft bieten nur mehr Feldränder, Feldwege und Zaunlinien Nahrung und Lebensraum für viele Bestäuber. Große monokulturelle Ackerflächen bieten Wildbienen andererseits nicht genug Lebensraum, was sich negativ auf den Ertrag auswirken kann (Nicholls & Altieri, 2013).

Eine Möglichkeit, die Nutzpflanzenvielfalt auf einer Ackerfläche zu erhöhen, liegt in der landwirtschaftlichen Methode des Streifenanbaus. Dabei werden meist zwei Kulturen streifenweise angebaut, was die Anzahl der Grenzflächen deutlich erhöht. Weitere Vorteile dieser Bewirtschaftungsmethode sind der Erosionsschutz von Ackerböden (Seibert & Auerswald, 2020) oder die Reduktion der Kraut- und Knollenfäule bei Kartoffeln im Kombinationsanbau mit Weizen und Karotten (Finckh et al., 2008). Eine weitere Methode, um die Nutzpflanzenvielfalt auf der Ackerfläche zu erhöhen, ist der Anbau von Zwischenfrüchten. Mischanbau von Körnerleguminosen und Weizen sind in der Lage, den Mangel an Blütenressourcen zu mindern, und können sogar höhere Erträge pro Pflanze erreichen als Einzelkulturbestände (Kirsch et al., 2023).

### Grünbrache

Mit einer Gesamtfläche von etwa 50.000 ha jährlich zählen Brachen, nach Weizen, Mais, Gerste und Sojabohnen, zu den flächenmäßig wichtigsten Nutzungsformen in Österreich. In Deutschland beläuft sich die Fläche auf 373.100 ha (Statistisches Bundesamt, 2022). Brachflächen in der Landwirtschaft können als einjährige Rotationsbrachen oder über einen längeren Zeitraum als Dauerbrachen angelegt werden. Landwirtschaftliche Vorteile durch eine zeitweilige Stilllegung einer Ackerfläche sind etwa die Verbesserung der Bodenstruktur, Verminderung des Nährstofftransports und Zufuhr organischer Substanzen. Durch Ruhiglegen von Ackerflächen können eine Vielzahl an Blühpflanzen diese Flächen besiedeln und als Bienenahrung dienen. Im Vergleich zu Acker- und Grünlandflächen können auf Brachflächen mehr Insekten im Allgemeinen, und Bienen im Speziellen, gefunden werden (Steiner et al., 2002). Brachflächen können ein großes Potential für Bienen darstellen (Kuussaari et al., 2011), allerdings sollten beim Anlegen und der Bewirtschaftung einer solchen Fläche beachtet werden, dass Anbauzeitpunkt und Mähzeitpunkt zu für Bienen günstigen Zeiten erfolgen.

## Bienenfreundliche Grünlandwirtschaft

In Österreich entfallen circa 50 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf Grünlandfläche, in der Schweiz etwa 70 Prozent (BFS, 2021) und in Deutschland sind es weniger als 30 Prozent (Statistisches Bundesamt, 2022). In Österreich wird davon etwa die Hälfte extensiv und die andere intensiv bewirtschaftet. Als intensive Wiese wird das ertragsfähige Grünland ("Wirtschaftsgrünland") bezeichnet, mit drei oder mehr Nutzungen jährlich (BMLRT, 2021). Zu extensiv bewirtschafteten Wiesen zählen Almen und Bergmäher, Mähwiesen mit höchstens zwei Nutzungen und Grünbrachen. In Österreich gelten 90 Prozent der extensiven Flächen als gefährdet (BMLRT, 2021), in der Schweiz sind seit 1900 in etwa 95 Prozent aller Trockenwiesen verschwunden (Brülisauer & Güttinger, 2022). Historische Blumenwiesen wiesen in Österreich die artenreichsten Lebensräume aus. Durch jahrhundertelange Beweidung und schonende Mähetechniken mit Hilfe der Handsense besiedelten eine Vielzahl von unterschiedlichen Tierarten eine Blumenwiese. Gerade die Beweidung mit Schafen kann die Artenzahlen von vorkommenden Wildbienen in einer Wiese erhöhen (Braun-Reichert, 2013). Die Anzahl von Grünlandbiotopen nimmt immer weiter ab und kann durch intensive Bewirtschaftung in wenigen Jahren zu "Grünen Wüsten" werden, also Flächen, welche für Insekten nicht mehr als Lebensraum zur Verfügung stehen (Bosshard, 2016). Grünflächen, welche nicht mehr genutzt werden, ob beweidet oder gemäht, werden in unserer Klimazone langfristig wieder zu Wald (Zaller, 2012). Trotz der einfachen Struktur des Ökosystems Grünland bieten die unterschiedlichen Strata einer Wiese einer Vielzahl an Arten einen Lebensraum. Höhere Kräuter bieten blütenbesuchenden Insekten Nahrung. Gerade diese Schicht wird bei der Mahd stark beeinträchtigt. Durch die Bereitstellung extensiver Wiesenflächen sind Grünlandwirtschaften in der Lage, vermehrt geeignete Futterpflanzen und Nisthabitate für Bestäuber bereitzustellen.

Entscheidend für die Artenvielfalt auf einer Wiese sind die verwendete Nutzungstechnik sowie der Zeitpunkt und die Häufigkeit der Nutzung (Zaller, 2012; Gorthner, 2022). Die schonendste Methode zur Erhaltung einer Wiese ist eine zeitweilige Beweidung auf großen Flächen. Heutzutage wird das meiste Wirtschaftsgrünland mit unterschiedlichen Geräten gemäht. Das älteste insektenfreundliche Mähwerkzeug ist die Handsense. Aufgrund der Größe und des dichten Pflanzenbestandes der heutigen Fettwiesen ist die Sense jedoch nur bei kleineren Flächen und Böschungen eine Option. Hand- oder Traktorbalkenmäher mit einem Doppelmessermähwerk sind auf großen Flächen die Mähmethode mit der geringsten Sterberate bei Insekten (Humbert et al., 2010). Bei dieser Methode wird, entgegen gängiger Empfehlungen, das Gras in einer Höhe von 4 bis 8 cm über dem Boden abgeschnitten und das Mähgut fällt längs zusammen. Trommel- und Scheibenmäher hingegen fügen den Insekten erheblich mehr Schaden zu. Die höchsten Sterberaten werden bei Trommelmähern mit Aufbereitern gemessen (Humbert et al., 2010). Das reine Befahren der Wiesen mit dem Traktor, sowie die weiteren Ernteschritte haben ebenso einen negativen Einfluss auf Insekten (Humbert et al., 2010). Neben der verwendeten Mähetechnik sind weitere wesentliche Faktoren zum Erhalt der Biodiversität einer Wiese der Zeitpunkt der

ersten Mahd und die Häufigkeit der Nutzung (Zaller, 2012). Agrarökologische Maßnahmen wie etwa verzögertes Mähen oder der Verzicht von Aufbereitern wirken sich auch positiv auf den Überwinterungserfolg bei Honigbienen aus (Hernandez et al., 2023).

## Lösungsansätze zur Fauna schonenden Grünlandbewirtschaftung

### Mähetechnik

Die für den Artenschutz am wenigsten geeignete Methode der Wiesenpflege ist das Mulchen. Dabei werden die Pflanzen knapp über der Bodenoberfläche zerschlagen. Das Mulchgut ist sehr fein und kann kaum entfernt werden. In der Wiese befindliche Tiere werden dabei mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit getötet. Trommelmäherwerke mit Aufbereiter sind ebenfalls nicht zu empfehlen. Sie knicken mit großer Wucht die Grashalme, die darauf befindlichen Insekten werden verletzt oder getötet. Die auf großen Flächen insektenschonendste Methode ist die Mahd mit einem Balkenmäher. Dabei werden Insekten kaum getötet und fallen mit dem Mähgut um (Humbert et al., 2010; Gorthner, 2022). Das Befahren der Wiesen mit Traktoren trägt erheblich zur Sterberate bei der Mahd bei (Humbert et al., 2009). Deshalb empfehlen wir, die Befahrung auf ein Minimum zu reduzieren.

### Zeitpunkt der ersten Mahd und Häufigkeit der Nutzung

Optimal wäre eine späte Erstmahd. Einjährige Pflanzen können so noch absamen und verschwinden nicht von der Wiesenfläche. Auch die Entwicklungschancen von in der Wiese überwinterten Tieren werden dadurch erhöht (Zaller, 2012). Intensive Wirtschaftswiesen werden bis zu fünfmal pro Jahr gemäht. Für eine möglichst artenreiche Wiese wären ein oder zwei Nutzungen pro Jahr optimal (Mack et al., 2008). Bei günstigen Wetterverhältnissen werden meist alle Wiesen in der Umgebung zur gleichen Zeit gemäht. Dies stellt insofern ein Problem für Insekten dar, weil so auch für mobile Arten ein Abwandern aus der gemähten Fläche in benachbarte Wiesen nicht in Frage kommt. Es wird empfohlen, Teile der Vegetation stehen zu lassen und so Rückzugsrefugien für Insekten, vor allem stängelnistende Bienenarten, zu schaffen (Zaller, 2012). Empfohlen wird, dass circa 10 Prozent der Wiese bei der Mahd ausgespart werden und so Refugien zum Rückzug entstehen können (Humbert et al., 2010).

### Monitoring

Begleitende Überwachungsmaßnahmen sind sinnvoll, um die Wirksamkeit der vorgeschlagenen Förder- und Schutzmaßnahmen zu überprüfen. Honigbienen ermöglichen mit ihrem viele Quadratkilometer umfassenden Sammelgebiet das Monitoring einer Vielzahl von Umweltschadstoffen in unterschiedlichen Honigbienenprodukten (Bargańska et al., 2016). So konnten Capela et al. (2022) zum Beispiel zeigen, dass es eine lineare Konzentrationszunahme von Acetamidrid in Honig und Pollen in Zusammenhang mit der Größe der

behandelten Flächen in einem Eukalyptuswald gibt. Papierbasierte Lateral-Flow-Tests könnten in Zukunft einen raschen und kostengünstigen Nachweis dieser Substanz im Feld ermöglichen, erlauben allerdings bislang meist nur qualitative oder semi-quantitative Ergebnisse (Jara et al., 2022). Eine weitere passive und zerstörungsfreie Methode des Pestizidmonitorings sind mit Tenax beschichtete Apistreifen, die ins Bienenvolk eingehängt werden und danach in zertifizierten Laboren untersucht werden (Murcia-Morales et al., 2020); auch hier kann allerdings nur die Präsenz nachgewiesen und keine quantitativen Aussagen getroffen werden. Über die von Honigbienen gesammelten und mittels Pollenfallen relativ einfach zu sammelnden Pollenhöschen oder auch Bienenbrotproben können Rückschlüsse auf die Blühpflanzendiversität des Habitats gezogen (Brodtschneider et al., 2019) und über Laboranalysen aussagekräftige, quantitative Aussagen zu Pestizidrückständen getroffen werden (Calatayud-Vernich et al., 2018; DeBiMo 2021; Murcia-Morales et al., 2022).

Um den Gefährdungsstatus von Wildbienen einschätzen zu können, benötigt es Daten zu deren Verbreitung, Abundanz und Lebensweise. Etwa bei der Hälfte der Wildbienen reicht der derzeitige Kenntnisstand nicht aus, um ihre Gefährdung auch nur abschätzen zu können (Nieto et al., 2014). Um Diversitäts- und Habitatbewertungen vorhandener landwirtschaftlicher Strukturen und Maßnahmen zur Biodiversitätsförderung in der Landwirtschaft durchzuführen, sind Wildbienen als Indikatorgruppe sehr gut geeignet (Westrich, 2011). Aktuell werden im Bienenmonitoring unterschiedliche Methoden angewandt: Farbschalen, Abkeschern der Tiere mit Streifkescher, Beobachten ohne Abtöten, Sichtfang, Malaisefallen und Nisthilfen (Portman et al., 2020; Krahnert et al., 2021; Schuch et al., 2020). Unterschiedliche Fangmethoden bilden auch unterschiedliche Artspektren ab, da nicht alle Arten mit jeder Methode zu gleichen Teilen erfasst werden können (Krahnert et al., 2021). Manche Fallentypen können sich aufgrund der großen Anzahl gefangener Tiere negativ auf lokale Bienenpopulationen auswirken (Gibbs et al., 2017). Im Gegensatz dazu ist die Keschermethode selektiver und schonender zu bewerten. Farbschalen basieren auf unterschiedlich gefärbten Schalen und einer Flüssigkeit, in der angelockte Bienen ertrinken. Ein großer Nachteil dieser Methode ist, dass nicht alle Bienenarten gleich angelockt werden. Hauptsächlich findet man in diesen Fallen Individuen aus der Familie der Halictidae. Arten, die weniger stark angelockt werden, sind unterrepräsentiert (Portman et al., 2020). Bienenmonitoring mit Hilfe von Farbschalen hat jedoch auch einige Vorteile, so kann ein standardisiertes Monitoring auf vielen Flächen gleichzeitig durchgeführt werden, um Standorte miteinander zu vergleichen (Krahnert et al., 2021). Erhobene Daten durch Kescherfänge oder Beobachtung können je nach Erfahrung des Beobachters stark variieren. Für ein umfangreiches Bienenmonitoring sollte man sich deshalb nicht auf eine einzelne Sammelmethode verlassen, eine Kombination aus mehreren Methoden ist hier zu bevorzugen. Wir sind der Meinung, ein solches Wildbienen-Monitoring sollte unter anderem folgende Punkte umfassen:

### Blühpflanzenerhebung

Kurzrüsselige Bienen bevorzugen Blüten mit kurzen Kronröhren, langrüsselige Arten bevorzugen Blüten mit langen Kronröhren (von Hagen, 2003). Neben dem Vorkommen unterschiedlicher Pflanzenarten und der entsprechenden Blütenform auf einer definierten Fläche ist auch die Anzahl der zum Messzeitpunkt geöffneten Blüten allgemein ein wichtiges Kriterium, um eine im Gebiet potenziell auftretende Bienenart überhaupt beobachten und damit erfassen zu können. Auf einer Probefläche könnten geeignete, aber zu wenige Blüten vorhanden sein, um eine bestimmte Bienenart anzulocken; oder eine wenig mobile Art findet nicht ausreichend Nahrung, um im Gebiet zu überleben. Ein umfassendes Bienenmonitoring sollte deshalb sowohl die Anzahl der zum Messzeitpunkt geöffneten Blüten als auch die vorhandenen Blütenpflanzenarten erfassen. Ein sinnvolles Blühpflanzenmonitoring sollte in zeitlicher Verbindung mit einem Bienenmonitoring stehen und beispielsweise einmal im Monat zwischen April und Oktober stattfinden. Dabei werden alle Blühpflanzen und die Anzahl der geöffneten Blüten zum Zeitpunkt der Erhebung aufgenommen. Blühpflanzen können entweder entlang eines linearen Transektes oder mittels im Vorhinein ausgewählter Flächen erhoben werden.

### Kescherfang

Das Abfangen und Bestimmen von Wildbienen spielt im umfassenden Bienenmonitoring eine wichtige Rolle. Wenn möglich, kann eine Bestimmung lebender Tiere im Freiland erfolgen, andernfalls müssen gefangene Tiere abgetötet und mithilfe von Experten auf Artniveau bestimmt werden. Der Mangel an Experten für eine Vielzahl von Insektengruppen kann beim Monitoring im Freiland ein praktisches Problem darstellen. Neue Identifizierungsmethoden wie DNA-Metabarcoding können praktikable Alternativen zur herkömmlichen Bestimmung bieten. Keine dieser Methoden ist allerdings fehlerfrei (Herrera-Mesías et al., 2022). Beim Keschern der Tiere ist es sinnvoll, die besuchte Blüte, sowie das Sammelverhalten (pollen- oder nektarsammelnd) zu notieren. Es sollten zudem mehrere Begehungen mit dem Kescher pro Untersuchungsjahr und zu unterschiedlichen Uhrzeiten erfolgen, um die verschiedenen Aktivitätszeiten unterschiedlicher Arten zu berücksichtigen. Diese sehr arbeitsaufwändige und zeitintensive Methode ist nicht für alle Monitoring-Projekte geeignet, da oft zeitgleiches Beprobieren mehrerer Flächen (z. B. über Farbschalen) notwendig ist.

### Nistplatzmonitoring

Die Anzahl potenzieller Nistmöglichkeiten, wie Totholz oder offene Bodenstellen, beeinflusst, wie viele und welche Bienenarten sich in einem Gebiet etablieren und erhalten können. Natürliche oder angelegte Strukturen, welche Wildbienen als Nistmöglichkeit nutzen können, sollten daher bei einem umfassenden Monitoring ebenfalls erhoben werden. Sowohl bei Hummeln als auch bei einigen anderen Wildbienenarten ist es möglich, aktiv Nester zu zählen (Iles et al., 2019), um so die Populationsgröße in einem Gebiet abzuschätzen. Fussell & Corbet (1991) konnten mit Hilfe von künstlich ge-

schaffen Ziegelnestern ein Hummelmonitoring in England durchführen. Die Solitärbiene *Osmia inermis* nistet bevorzugt an der Unterseite von Steinen. Für die Förderung dieser Art sowie ein Nistplatzmonitoring wurden umgedrehte Blumentöpfe ausgebracht, welche von dieser Art gerne angenommen wurden (Sheffield et al., 2014). Für Solitärbienen, welche oberirdisch in Holz und Pflanzenstängeln nisten, eignen sich für ein Monitoring auch künstlich angelegte Nisthilfen. Die Auswertung der Belegung solcher Nisthilfen kann einerseits dazu dienen, die Bienendiversität sowie Populationsgrößen abzuschätzen, andererseits können Umweltfaktoren und ihre Auswirkungen auf Bienen untersucht werden (Maclvor, 2017).

### Erhebung von Landschaftsstrukturen

Die Flugdistanzen, welche von Wildbienen zurückgelegt werden können, hängen stark von deren Körpergröße ab (Gathmann & Tscharrntke, 2002). Größere Arten, wie Hummeln, sind in der Lage, bei der Futtersuche Strecken um die zwei Kilometer zurückzulegen (Walther-Hellwig & Frankl, 2003). Kleine Arten, wie Maskenbienen, fliegen oft nur wenige hundert Meter (Zurbüchen et al., 2010). Daher müssen sie in einem begrenzten Aktionsradius um ihr Nest sowohl Futter als auch Paarungspartner finden. Randstrukturen, Wälder und Windschutzgürtel sind gerade zur Überwinterung oder im Frühjahr für viele Bienenarten überlebensnotwendig. Anthropogen verbaute Flächen hingegen können gerade für kleinere Arten unüberwindbare Hindernisse darstellen. Deshalb sollen auch umliegende Landschaftsstrukturen um landwirtschaftliche Flächen erhoben werden (Kratschmer et al., 2018; 2021). Die Erhaltung intakter, natürlicher Lebensräume und Strukturen ist wichtig für die Erhaltung widerstandsfähiger und vielfältiger Bienengemeinschaften (Olynyk et al., 2021).

### Institutionelle Umsetzung und Paradigmenwechsel

Pionierbetriebe, engagierte Landwirte und willige Konsumenten sind notwendig, damit sich bienenfreundliche Landwirtschaft langfristig etablieren kann. Engagement in der Gestaltung der Agrarflächen, hin zu bestäuberfreundlichen Maßnahmen, kann in unterschiedlichen Projekten und Produkten prämiert, gekennzeichnet und beworben werden. Ein Beispiel dafür wäre der BioBienenApfel, ein Projekt, das sich zum Ziel gesetzt hat, insgesamt 1.200 Hektar Bienenwiesen in Apfelanbaugebieten anzulegen (Frutur, 2023). Für die Produktion des „Iss echt steirisch/Steirisches Kürbiskernöl g.g.A.“-Kernöls werden nur österreichische Kürbiskerne verwendet, die auf Feldern wachsen, an denen Blühstreifen angelegt werden. Auch in der Milchwirtschaft sind nachhaltige, bienenfreundliche Bewirtschaftungsmethoden umsetzbar, wie am Beispiel der deutschen Sternenmilch gezeigt wurde. Hierbei handelt es sich um das Produkt von Milchbetrieben, die auf Glyphosat verzichten, kein importiertes Futtermittel verwenden und auf faire Bezahlung der Landwirte achten (Kunz, 2019). Ein weiteres Projekt rund um den Schutz der Biene wird von einem Stromanbieter nahe der Schwäbischen Alb durchgeführt. Mit der Schaffung des sogenannten „Bie-

nenstroms“, wofür ehemalige Maisfelder in blütenreiche Wiesenflächen umgewandelt werden, können Bienenpopulationen unterstützt werden (Kunz, 2019). All diese Projekte haben aber eines gemeinsam: umgesetzt können sie derzeit nur werden, wenn der Konsument bereit ist, für das jeweilige Produkt, sei es Apfel, Kernöl, Milch oder Strom, auch einen höheren Preis zu bezahlen.

Die Intensivierung der Landwirtschaft und der damit einhergehende Einsatz von Pestiziden, Monokulturen und Verarmung der Landschaft ist einer der Hauptgründe für den Verlust der Artenvielfalt und wurde in den letzten Jahrzehnten wissenschaftlich fundiert nachgewiesen (Goulson, 2003b; Carvell et al., 2006; Kleijn & Raemakers, 2008; Wagner, 2020; Wolf, 2023). Nun gilt es, dieses Wissen an die Personengruppe weiterzuleiten, die maßgeblich unsere Landschaft gestaltet – Landwirte. Wir sind der Meinung, dass Weiterbildungen zum Thema bienenfreundliche Landwirtschaft in Form von Vorträgen und Workshops mit persönlichem Kontakt zwischen Landwirten und Wissenschaftlern eine wichtige Voraussetzung sind, um Bewirtschaftungsweisen nachhaltig zu verändern. Schulungen für Landwirte könnten über die Landwirtschaftskammer oder den Bauernbund angeboten werden. Gerade Landwirtschaftsschulen, die die nächste Generation der Gestalter unserer Agrarlandschaft ausbilden, sollten in ihrem Lehrplan mehr Bewusstsein für die Wichtigkeit ökologischer Zusammenhänge verpflichtend vermitteln. Landwirte zerstören nicht mutwillig große Teile unserer Kulturlandschaft, aber manche heute als nicht mehr nachhaltig erachtete Bewirtschaftungsmethoden sind über Jahre hinweg zur Routine geworden, wurden weitergegeben oder dienen kurzfristig der Ertragssteigerung. Neue Vorschriften zum Thema Umweltschutz werden von den Landwirten oft nicht umgesetzt, wenn keine finanzielle Gegenleistung oder Förderung dafür angeboten wird. Hier ist vor allem das Fehlen von Informationen über die Bedeutung sinnvoller Maßnahmen einer der Hauptgründe, warum die langfristige Umsetzung nicht gelingt. Langfristig kann sich nur etwas ändern, wenn Landwirtschaft und Wissenschaft auf Augenhöhe miteinander versuchen, unsere Kulturlandschaft für Bienen zu verbessern.

Einen wesentlichen Beitrag zur bienenfreundlichen Landwirtschaft könnten Politik, Industrie und Wirtschaft leisten. Lehrpläne und Förderprogramme können durch die Schaffung politischer Rahmenbedingungen umgesetzt werden. Nicht zuletzt ist es notwendig, dass viele dieser Maßnahmen auch von der Gesellschaft mitgetragen werden, denn es sind oft die Konsumenten, die den höheren Preis für ökologische Bewirtschaftung mittragen.

### Diskussion

Ökologische Lebensmittelproduktion und Agrarwende sind aus vielerlei Gründen ein Gebot der Stunde. Wir beziehen hier Stellung für eine Landwirtschaft, die einer der wichtigsten Gruppen von Bestäubern bessere Lebensmöglichkeit bietet. Wir behandeln in diesem Artikel Bienen, weil es sich dabei um eine in der Gesellschaft beliebte, aber vor allem ökologisch wichtige, und relativ gut untersuchte Insektengruppe handelt. Diese Gruppe ist in ihren ökologischen Bedürfnissen

sehr divers, was sich in einer großen Bandbreite von Empfehlungen widerspiegelt. Maßnahmen zum Schutz von Bienen kommen auch anderen Bestäubern zugute. Wildbienen verzeichnen Populationsrückgänge aufgrund der großflächigen Nutzung der Landschaft für Monokulturen und der Verringerung des Futterpflanzenangebotes (Biesmeijer et al., 2006; Rasmont et al., 2005; Ockermüller et al., 2023). Honigbienenvölker entwickeln sich schlechter oder sterben durch schlechte Nahrungsversorgung und Pestizideinsatz, zusätzlich zu den bekannten Krankheitserregern und Parasiten (Pettis et al., 2013; Goulson et al., 2015; Requier et al., 2017; Traynor et al., 2021). Allerdings fehlen oftmals noch Langzeitstudien und Monitoringprogramme. Gerade für solitär lebende Wildbienen, welche einen wichtigen Beitrag zur Bestäubung vieler Feldfrüchte leisten und diese zum Teil effizienter bestäuben als Honigbienen (Kevan et al., 1990; Javorek et al., 2002), gibt es nur wenige Studien. Vor allem oligolektische, solitäre Arten sind kaum untersucht und benötigen dringend Monitoringprogramme. Weltweit stammen die statistisch belastbarsten Daten zum Rückgang der Bienen aus der EU und Nordamerika (Zattara & Aizen, 2021). Ein wichtiges Instrument zum Artenschutz können Rote Listen darstellen. Auf europäischer Ebene liegt mit der “European Red List of Bees” eine solche Liste vor (Nieto et al., 2014). Obwohl der Rückgang der Bienendiversität mittlerweile längst bestätigt wurde, gibt es in Österreich noch immer keine Rote Liste für Bienen. Dies hängt auch mit der unvollständigen Information über den Bedrohungsstatus aufgrund von fehlendem Monitoring einzelner Arten zusammen (Kratschmer et al., 2021).

Alle Bienen brauchen unter anderem ausreichend Pollen- und Nektarquellen in artspezifischer Flugdistanz zu ihrem Nistplatz für eine optimale Entwicklung, und zwar während der Anlage der Brutzellen und der Verproviantierung dieser. Bei Hummeln muss beispielsweise Nahrung für die Königin zeitig im Frühjahr zur Nestgründung bis zum Abschluss der Entwicklung der Arbeiterinnen und Geschlechtstiere über mehrere Wochen vorhanden sein. Natürliche Randstrukturen wie Felldränder oder angelegte Blühstreifen mit heimischen Wildpflanzen können Nahrung in Form von Pollen und Nektar bereitstellen. Mit zunehmender Anzahl von blühenden Pflanzen in der Landschaft nimmt der Artenreichtum und die Häufigkeit von Bienen zu (Pffner et al., 2018). Blühstreifen, welche die Landschaft durchziehen, dienen dem Erhalt der Biodiversität und fördern eine Vielzahl von Bestäubern (Dietzel et al., 2019). Wie gut diese Strukturen besucht werden, hängt von der Entfernung der Blühflächen zueinander und anderer natürlicher Strukturen ab, denn kleine Wildbienenarten können nur wenige Hundert Meter Flugdistanz überwinden. Die Bestäubung von Kulturpflanzen ist in unmittelbarer Nähe von Blühflächen gesteigert (Albrecht et al., 2020). Bei der Anlage solcher Biodiversitätsstreifen sollte darauf geachtet werden, eine Vielzahl heimischer Blühpflanzen mit verschiedenen Blütenformen zu verwenden, um Insekten mit unterschiedlichen Rüssellängen ein Nahrungsangebot zu schaffen. Die Blühstreifen sollten so weit möglich von Pestiziden verschont werden. Solcherlei angelegte Blühflächen sind von Landwirten gepflegte Kulturräume, die nicht mit über Jahrhunderte entstandenen Ökosystemen zu verwechseln und auch kein vollwertiger Ersatz für diese sind. Konsequenterweise ist der

Einsatz gebietsfremder Arten als Unterstützung für Bestäuber auch zu diskutieren.

Damit sich Wildbienen in der Landschaft etablieren können, sind geeignete Nistplätze notwendig. Der Großteil heimischer Wildbienen nistet im Boden und benötigt offene, vegetationsfreie Stellen (Zurbuchen & Müller, 2012; Gardein et al., 2022). Zur Förderung in der Landwirtschaft eignen sich künstlich angelegte Nisthöhlen (Neumüller et al., 2022) besser als Hohlraum-Nisthilfen. Eine einfache Maßnahme zur Förderung von Hummeln ist das Bereitstellen von bereits in Zersetzung befindlichen Strohballen, welche gerne als Nistplatz angenommen werden (Lindström et al., 2022). Bienenhotels hingegen werden nur von wenigen, meist häufig vorkommenden Arten angenommen und sind somit kein ideales Werkzeug für den Artenschutz.

Pestizide in der Landwirtschaft sind ein weiterer Grund für den Rückgang der Bienendiversität. Herbizide, aber auch mechanische Bekämpfung von Ackerbeikräutern nimmt in Zeiten von mangelndem Blühangebot den Bienen wichtige Nahrungsquellen. Der Einsatz von Pestiziden sollte auf das notwendige Maß reduziert und nicht zur gängigen Praxis werden (Steinmann, 2013; Schneider et al., 2023). Der Ökolandbau leistet einen wichtigen Beitrag für mehr Umweltschutz in der Landwirtschaft, hat aber in vielen Bereichen noch großes Verbesserungspotential (Haller et al., 2020). Vor allem die Erträge pro Fläche sind hier wichtige Parameter, die bei der Umsetzung für Landwirte eine Rolle spielen. Im Gegensatz zum Ökolandbau wird der Flächenverbrauch zur Nahrungsmittelproduktion bei konventioneller Landwirtschaft als geringer angenommen (Maurer, 2022). Fest steht, dass eine biologische Bewirtschaftungsweise, die auf Pestizide verzichtet, eine höhere Individuenzahl und Artenvielfalt von Bienen und Bestäubern (Morandin & Winston, 2005, Clough et al., 2007, Holzschuh et al., 2008) erreicht. Neben dem biologischen Landbau sind Permakultur und Agroforst, mit der Schaffung und Erhaltung von Randstrukturen und Verkleinerung der Anbauflächen, mögliche Alternativen zur konventionellen Landwirtschaft. Grünlandwirtschaft macht einen beträchtlichen Teil der landwirtschaftlich genutzten Fläche aus. Intensiv bewirtschaftetes Grünland weist durch die Häufigkeit der Mahd wenige Pflanzenarten auf und kann somit vielen Insekten nicht mehr als Habitat dienen. Blühwiesen benötigen magerere, nährstoffarme Böden. Der Einsatz von Dünger (egal ob mineralisch oder organisch), Mulchern und Herbiziden steht im Gegensatz zur Förderung von Biodiversität im Grünland.

Zahlreiche Lösungsansätze und Empfehlungen wurden in diesem Artikel basierend auf wissenschaftlichen Erkenntnissen vorgestellt. Für die Umsetzung in die Praxis wünschen wir uns eine verstärkte Bewusstseinsbildung in der Landwirtschaft und die Entwicklung von Anreizsystemen. Die in diesem Artikel zusammengefassten Erkenntnisse sollen Verwendung in der Aus- und Weiterbildung finden. Uns ist es wichtig, darauf hinzuweisen, dass nicht eine einzelne Maßnahme ausreicht, sondern Maßnahmen in Kombination angewandt werden sollten. Ähnlich Pffner & Müller (2016) oder Krogmann et al. (2019) sind wir der Meinung, dass es für die Förderung der Bienen vieler Maßnahmen, wie Reduktion von Pestiziden, Extensivierung der Landwirtschaft, Erhöhung der Artenvielfalt im Grünland und Einbeziehung der Landwirte, bedarf.

Letzteres ist wichtig, weil Landwirte die Bedürfnisse der Gesellschaft umsetzen; dabei steht oftmals der Wunsch nach einer nachhaltigen Landwirtschaft, die gesunde Lebensmittel produziert, dem Wunsch nach Lebensmitteln zu niedrigen Preisen entgegen. Wir empfehlen den persönlichen Kontakt in Landwirtschaftsschulen und bei Weiterbildungen für Landwirte in Form von Workshops und Vorträgen. Die Umsetzung vieler Maßnahmen wird nur im Dialog mit Landwirten möglich sein. Die Bedürfnisse derer zu verstehen, die täglich unsere Landschaft gestalten und unsere Ernährung sichern, ist essenziell.

## Danksagung

Danke an Adrian Wolfgang für die Unterstützung bei Abbildung 1 und Jana Göpfert bei Abbildung 3.

## Erklärung zu Interessenskonflikten

Die Arbeit an diesem Artikel wurde durch finanzielle Unterstützung der Firmen SPAR und FRUTURA an der Universität Graz durchgeführt. Die Förderung hatte keinen Einfluss auf den Inhalt.

## Literatur

- Albrecht, M., D. Kleijn, N.M. Williams, M. Tschumi, B.R. Blaauw, R. Bommarco, [...], L. Sutter 2020:** The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecology Letters* **23** (10), 1488–149, DOI: 10.1111/ele.1357610.1111/ele.13576.
- Alkassab, A.T., N. Kunz, G. Bischoff, J. Pistorius, 2020:** Comparing response of buff-tailed bumblebees and red mason bees to application of a thiaclopid-prochloraz mixture under semi-field conditions. *Ecotoxicology* **29**, 846–855, DOI: 10.1007/s10646-020-02223-2.
- Alkassab, A.T., Beims, H., Janke, M., J. Pistorius, 2022:** Determination, distribution, and environmental fate of *Bacillus thuringiensis* spores in various honeybee matrices after field application as plant protection product. *Environmental Science and Pollution Research* **29**, 25995–26001, DOI: 10.1007/s11356-022-19414-5.
- Amiet, F., 1994:** Rote Liste Der Gefährdeten Bienen Der Schweiz. Rote Listen Der Gefährdeten Tierarten in Der Schweiz, BUWAL, Bern. URL: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00913/index.html>.
- Avila, L., E. Dunne, D. Hofmann, B.J. Brosi, 2022:** Upper-limit agricultural dietary exposure to streptomycin in the laboratory reduces learning and foraging in bumblebees. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **289** (1968), 20212514, DOI: 10.1098/rspb.2021.2514.
- Azpiazu, C., J. Bosch, L. Bortolotti, P. Medrzycki, D. Teper, R. Molowny-Horas, F. Sgolastra, 2021:** Toxicity of the insecticide sulfoxaflor alone and in combination with the fungicide fluxapyroxad in three bee species. *Scientific Reports* **11** (1), 1–9, DOI: 10.1038/s41598-021-86036-1.
- Baden-Böhm, F., J. Thiele, J. Dauber, 2022:** Response of honeybee colony size to flower strips in agricultural landscapes depends on areal proportion, spatial distribution and plant composition. *Basic and Applied Ecology* **60**, 123–138, DOI: 10.1016/j.baae.2022.02.005.
- Balbuena, M.S., L. Tison, M.L. Hahn, U. Greggers, R. Menzel, W.M. Farina, 2015:** Effects of sublethal doses of glyphosate on honeybee navigation. *Journal of Experimental Biology* **218** (17), 2799–2805, DOI: 10.1242/jeb.117291.
- Barda, M., F. Karamaouna, V. Kati, D. Perdakis, 2023:** Do patches of flowering plants enhance insect pollinators in apple orchards? *Insects* **14** (2), 208, DOI: 10.3390/insects14020208.
- Bargańska, Ż., M. Ślebioda, J. Namieśnik, 2016:** Honey bees and their products: Bioindicators of environmental contamination. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* **46** (3), 235–248, DOI: 10.1080/10643389.2015.1078220.
- Belsky, J., N.K. Joshi, 2020:** Effects of fungicide and herbicide chemical exposure on *Apis* and non-*Apis* bees in agricultural landscape. *Frontiers in Environmental Science* **8**, 81, DOI: 10.3389/fenvs.2020.00081.
- BFS, 2021:** Die Bodennutzung in der Schweiz: Resultate der Arealstatistik 2018. Neuchâtel, Bundesamt für Statistik, 32 S., ISBN: 978-3-303-02127-9
- BFS, 2022:** Landwirtschaft und Ernährung: Taschenstatistik 2022. Neuchâtel, Bundesamt für Statistik, 24 S.
- Biesmeijer, J.C., S.P.M. Roberts, M. Reemer, R. Ohlemüller, M. Edwards, T. Peeters, A.P. Schaffers, [...], W. E. Kunin, 2006:** Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* **313** (5785), 351–354, DOI: 10.1126/science.1127863.
- BMLRT, 2021:** Grüner Bericht 2021 – Die Situation in der Österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Wien, Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, 312 S.
- Bohlen, P.J., G.W. Barrett, 1990:** Dispersal of the Japanese Beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) in strip-cropped soybean agroecosystems. *Environmental Entomology* **19** (4), 955–960, DOI: 10.1093/ee/19.4.955.
- Bosshard, A. 2016:** Das Naturwiesland der Schweiz und Mitteleuropas. Verlag Haupt, Bern, Switzerland.
- Braun-Reichert, R., 2013:** Der Einfluss unterschiedlicher Beweidung auf die Wildbienen- und Wespenfauna von Kalkmagerrasen. Zeitpunkt, Frequenz und Kontinuität der Beweidung. Galathea-Berichte des Kreises Nürnberger Entomologen **29**, 7–22.
- 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.
- Brochu, K.K., M.T. van Dyke, N.J. Milano, J.D. Petersen, S.H. McArt, B.A. Nault, A. Kessler, B.N. Danforth, 2020:** Pollen defenses negatively impact foraging and fitness in a generalist bee (*Bombus impatiens*: Apidae). *Scientific Reports* **10** (1), 1–12, DOI: 10.1038/s41598-020-58274-2.



- Brodtschneider, R., K. Gratzner, E. Kalcher-Sommersguter, H. Heigl, W. Auer, R. Moosbeckhofer, K. Crailsheim, 2019:** A citizen science supported study on seasonal diversity and monoflorality of pollen collected by honey bees in Austria. *Scientific Reports* **9** (1), 1–12, DOI: 10.1038/s41598-019-53016-5.
- Brühl, C.A., J.G. Zaller, M. Liess, J. Wogram, 2022:** The rejection of synthetic pesticides in organic farming has multiple benefits. *Trends in Ecology and Evolution* **37** (2), 113–114, DOI: 10.1016/j.tree.2021.11.001.
- Brülisauer, A., R. Güttinger, 2022:** Biodiversität im Kanton St. Gallen – eine Übersicht. *Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft* **94**, 13–44.
- Bucharova, A., C. Lampei, M. Conrady, E. May, J. Matheja, M. Meyer, D. Ott, 2021:** Plant provenance affects pollinator network: Implications for ecological restoration. *Journal of Applied Ecology* **59** (2), 373–383, DOI: 10.1111/1365-2664.13866.
- Busse, M., F. Zoll, R. Siebert, A. Bartels, A. Bokelmann, P. Scharschmidt, 2021:** How farmers think about insects: Perceptions of biodiversity, biodiversity loss and attitudes towards insect-friendly farming practices. *Biodiversity and Conservation* **30** (11), 3045–3066, DOI: 10.1007/s10531-021-02235-2.
- Calatayud-Vernich, P., F. Calatayud, E. Simó, Y. Picó, 2018:** Pesticide residues in honey bees, pollen and beeswax: Assessing beehive exposure. *Environmental Pollution* **241**, 106–114. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.05.062.
- Cappa, F., D. Baracchi, R. Cervo, 2022:** Biopesticides and insect pollinators: Detrimental effects, outdated guidelines, and future directions. *Science of The Total Environment* **837**, 155714, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155714.
- Capela, N., M. Xu, S. Simões, H.M.V.S. Azevedo-Pereira, J. Peters, J.P. Sousa, 2022:** Exposure and risk assessment of acetamiprid in honey bee colonies under a real exposure scenario in *Eucalyptus* sp. landscapes. *Science of The Total Environment* **840**, 156485, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156485.
- Cardoso, P., V.V. Branco, F. Chichorro, C.S. Fukushima, N. Macías-Hernández, 2019:** Can we really predict a catastrophic worldwide decline of entomofauna and its drivers? *Global Ecology and Conservation* **20**, 00621, DOI: 10.1016/j.gecco.2019.e00621.
- Carmona, C.P., I. Guerrero, B. Peco, M.B. Morales, J.J. Oñate, T. Pärt, T. Tschardtke, [...], J. Bengtsson, 2020:** Agriculture intensification reduces plant taxonomic and functional diversity across European arable systems. *Functional Ecology* **34** (7), 1448–1460, DOI: 10.1111/1365-2435.13608.
- Carvell, C., A.F.G. Bourke, S. Dreier, S.N. Freeman, S. Hulmes, W.C. Jordan, J.W. Redhead, S. Sumner, J. Wang, M.S. Heard, 2017:** Bumblebee family lineage survival is enhanced in high-quality landscapes. *Nature* **543** (7646), 547–549, DOI: 10.1038/nature21709.
- Carvell, C., D.B. Roy, S.M. Smart, R.F. Pywell, C.D. Preston, D. Goulson, 2006:** Declines in forage availability for bumblebees at a national scale. *Biological Conservation* **132** (4), 481–489, DOI: 10.1016/j.biocon.2006.05.008.
- Castelli, L., S. Balbuena, B. Branchiccela, P. Zunino, J. Liberti, P. Engel, K. Antúnez, 2021:** Impact of chronic exposure to sublethal doses of glyphosate on honey bee immunity, gut microbiota and infection by pathogens. *Microorganisms* **9** (4), 845, DOI: 10.3390/microorganisms9040845.
- Castle, D., A.T. Alkassab, G. Bischoff, I. Steffan-Dewenter, J. Pistorius, 2022:** High nutritional status promotes vitality of honey bees and mitigates negative effects of pesticides. *Science of The Total Environment* **806**, 151280, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151280.
- Castle, D., A.T. Alkassab, I. Steffan-Dewenter, J. Pistorius, 2023:** Nutritional resources modulate the responses of three bee species to pesticide exposure. *Journal of Hazardous Materials* **443**, 130304, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.130304.
- Catania, R., M.A.P. Lima, M. Potrich, F. Sgolastra, L. Zappalà, G. Mazzeo, 2023:** Are botanical biopesticides safe for bees (Hymenoptera, Apoidea)? *Insects* **14** (3), 247, DOI: 10.3390/insects14030247.
- Chabert, S., C. Sénéchal, A. Fougeroux, J. Pousse, F. Richard, E. Nozières, O. Geist, [...], B. Vaissière, 2020:** Effect of environmental conditions and genotype on nectar secretion in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *OCL – Oilseeds and Fats, Crops and Lipids* **27** (51), 1–12, DOI: 10.1051/ocl/2020040.
- Clough, Y., A. Holzschuh, D. Gabriel, T. Purtauf, D. Kleijn, A. Kruess, I. Steffan-Dewenter, T. Tschardtke, 2007:** Alpha and beta diversity of arthropods and plants in organically and conventionally managed wheat fields. *Journal of Applied Ecology* **44** (4), 804–812, DOI: 10.1111/j.1365-2664.2007.01294.x.
- Cutler, G.C., C.D. Scott-Dupree, M. Sultan, A.D. McFarlane, L. Brewer, 2014:** A large-scale field study examining effects of exposure to clothianidin seed-treated canola on honey bee colony health, development, and overwintering success. *PeerJ* **2**, e652, DOI: 10.7717/peerj.652.
- DeBiMo, 2021:** Deutsches Bienenmonitoring – „DeBiMo“. Zwischenbericht, 91 Seiten, URL: [https://static1.square-space.com/static/62fe5049548fce26fd503807/t/642d4ff5ad52370dfde62d13/1680691193957/DeBiMo\\_Zwischenbericht\\_2021.pdf](https://static1.square-space.com/static/62fe5049548fce26fd503807/t/642d4ff5ad52370dfde62d13/1680691193957/DeBiMo_Zwischenbericht_2021.pdf), Zugriffsdatum: 18.10.2023.
- Decourtye, A., E. Mader, N. Desneux, 2010:** Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. *Apidologie* **41** (3), 264–277, DOI: 10.1051/apido/2010024.
- Decourtye, A., O. Rollin, F. Requier, F. Allier, C. Ruger, C. Vidau, M. Henry, 2023:** Decision-making criteria for pesticide spraying considering the bees' presence on crops to reduce their exposure risk. *Frontiers in Ecology and Evolution* **11**, 1062441, DOI: 10.3389/fevo.2023.1062441.
- Didham, R.K., Y. Basset, C.M. Collins, S.R. Leather, N.A. Littlewood, M.H. Menz, [...], C. Hassall, 2020:** Interpreting insect declines: seven challenges and a way forward. *Insect Conservation and Diversity* **13** (2), 103–114, DOI: 10.1111/icad.12408.
- Die Bundesregierung, 2021:** Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. Berlin, 391 S.

- Dietzel, S., F. Sauter, M. Moosner, C. Fischer, J. Kollmann, 2019:** Blühstreifen und Blühflächen in der landwirtschaftlichen Praxis – Eine naturschutzfachliche Evaluation. *ANLiegen Natur* **41** (1), 73–86.
- Dietzsch, A.C., N. Kunz, I.P. Wirtz, M. Stähler, U. Heimbach, J. Pistorius, 2019:** Does winter oilseed rape grown from clothianidin-coated seeds affect experimental populations of mason bees and bumblebees? A semi-field and field study. *Journal of Consumer Protection and Food Safety* **14** (3), 223–238, DOI: 10.1007/s00003-019-01225-5.
- Donkersley, P., S. Witchalls, E.H. Bloom, D.W. Crowder, 2023:** A little does a lot: Can small-scale planting for pollinators make a difference? *Agriculture, Ecosystems & Environment* **343**, 108254, DOI: 10.1016/j.agee.2022.108254.
- Drunen, S.G. van, J.E. Linton, G. Kuwahara, D.R. Norris, 2022:** Flower plantings promote insect pollinator abundance and wild bee richness in Canadian agricultural landscapes. *Journal of Insect Conservation* **26** (3), 375–386, DOI: 10.1007/s10841-022-00400-8.
- Dudda, E., 2018:** Antibiotika in der Landwirtschaft. URL: <https://www.schweizerbauer.ch/tiere/tiergesundheit/antibiotika-in-der-landwirtschaft/>. Zugriffsdatum: 08.06.2023
- Ekroos, J., D. Kleijn, P. Batáry, M. Albrecht, A. Báldi, N. Blüthgen, [...], H.G. Smith, 2020:** High land-use intensity in grasslands constrains wild bee species richness in Europe. *Biological Conservation* **241**, 108255, DOI: 10.1016/j.biocon.2019.108255.
- Fechtler, T., F. Pape, H. Gardein, S. Meyer, F. Grau, 2021:** Bemerkenswerte Wildbienen-Nachweise aus Südniedersachsen (Hymenoptera: Apiformes). *Ampulex* **12**, 54–70.
- Fiebrig, I., S. Zikeli, S. Bach, S. Gruber, 2020:** Perspectives on permaculture for commercial farming: Aspirations and realities. *Organic Agriculture* **10** (3), 379–394, DOI: 10.1007/s13165-020-00281-8.
- Finckh, M. R., F. Hayer, E. Schulte-Geldermann, C. Bruns, 2008:** Diversität, Pflanzenernährung und Prognose: Ein integriertes Konzept zum Management der Kraut- und Knollenfäule in der ökologischen Landwirtschaft. *Gesunde Pflanzen* **60** (4), 159–170, DOI: 10.1007/s10343-008-0192-4.
- Fitzpatrick, Ú., T.E. Murray, A.W. Byrne, R.J. Paxton, M.J.F. Brown, 2006:** Regional red list of Irish bees. Ireland, National Parks and Wildlife Service (Ireland) and Environment and Heritage Service.
- Frutura, 2023:** Wir schaffen Lebensraum. Obst & Gemüse Kompetenzzentrum GmbH, URL: <https://frutura.com/biobienapfel/>. Zugriffsdatum: 08.06.2023.
- Fussell, M., S.A. Corbet, 1991:** The nesting places of some British bumble bees. *Journal of Apicultural Research* **31** (1), 32–41. DOI: 10.1080/00218839.1992.11101258.
- Gampe, J., 2021:** Letzter Ausweg: Permakultur: So krepeln wir unsere Landwirtschaft um und sichern unser Überleben. Konzepte, Pläne, Hintergrundwissen. Innsbruck, Löwenzahn Verlag. ISBN 9783706629140.
- Gardein, H., Y. Fabian, C. Westphal, T. Tschardtke, A. Hass, 2022:** Ground-nesting bees prefer bare ground areas on calcareous grasslands. *Global Ecology and Conservation* **39**, e02289, DOI: 10.1016/j.gecco.2022.e02289.
- Gathmann A., T. Tschardtke, 2002:** Foraging ranges of solitary bees. *Journal of Animal Ecology* **71**, 757–764, DOI: 10.1046/j.1365-2656.2002.00641.x.
- Geslin, B., L. Ropars, M. Zakardjian, F. Flacher, 2022:** The misplaced management of bees. *Authorea Preprints*, 1–7, DOI: 10.22541/au.164319695.57033003/v1.
- Geslin, B., S. Gachet, M. Deschamps-Cottin, F. Flacher, B. Ignace, C. Knoploch, É. Meineri, [...], V. Le Féon, 2020:** Bee hotels host a high abundance of exotic bees in an urban context. *Acta Oecologica* **105**, 103556, DOI: 10.1016/j.actao.2020.103556.
- Giacomini, J.J., J. Leslie, D.R. Tarpay, E.C. Palmer-Young, R.E. Irwin, L.S. Adler, 2018:** Medicinal value of sunflower pollen against bee pathogens. *Scientific Reports* **8** (1), 14394, DOI: 10.1038/s41598-018-32681-y.
- Giacomini, J.J., N. Moore, L.S. Adler, R.E. Irwin, 2022:** Sunflower pollen induces rapid excretion in bumble bees: Implications for host-pathogen interactions. *Journal of Insect Physiology* **137**, 104356, DOI: 10.1016/j.jinsphys.2022.104356.
- Gibbs, J., N.K. Joshi, J.K. Wilson, N.L. Rothwell, K. Powers, M. Haas, L. Gut, D.J. Biddinger, R. Isaacs, 2017:** Does passive sampling accurately reflect the bee (Apoidea: Anthophila) communities pollinating apple and sour cherry orchards? *Environmental Entomology* **46** (3), 579–588, DOI: 10.1093/ee/nvx069.
- Gill, R.J., O. Ramos-Rodriguez, N.E. Raine, 2012:** Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. *Nature* **491** (7422), 105–108, DOI: 10.1038/nature11585.
- Gorthner, V. A., 2022:** Insektenfreundliche Wiesenpflege. *Naturschutz Alb-Neckar* **48** (1), 48–64.
- Goulson, D., 2003a:** Bumblebees: Their behaviour and ecology. Oxford, Oxford University Press. ISBN: 0 19 852606 5.
- Goulson, D., 2003b:** The conservation of bumblebees. *Bee World* **84** (3), 105–106, DOI: 10.1080/0005772X.2003.11099584.
- Goulson, D., E. Nicholls, C. Botias, E.L. Rotheray, 2015:** Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* **347** (6229), 1255957, DOI: 10.1126/science.1255957.
- Guntern, J., A. Eichler, F. Hagedorn, L. Pellissier, M. Schwikowski, O. Seehausen, C. Stamm, [...], F. Altermatt, 2020:** Übermäßige Stickstoff- und Phosphoreinträge schädigen Biodiversität. *Wald und Gewässer* **15**, 1–8, DOI: 10.5281/zenodo.4269631.
- Hagen, E. von, 2003:** Hummeln: Bestimmen, Ansiedeln, Vermehren, Schützen. Nottuln, Fauna-Verlag. ISBN 978-3-935980-32-6
- Haller, L., S. Moakes, U. Niggli, J. Riedel, M. Stolze, M. Thompson, 2020:** Entwicklungsperspektiven der ökologi-

- schen Landwirtschaft in Deutschland. Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt, 152 S.
- Hallmann, C.A., M. Sorg, E. Jongejans, H. Siepel, N. Hofland, H. Schwan, W. Stenmans, [...], 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.
- Hanley, M.E., M. Franco, S. Pichon, B. Darvill, D. Goulson, 2008:** Breeding system, pollinator choice and variation in pollen quality in British herbaceous plants. *Functional Ecology* **22**, 592–598, DOI: 10.1111/j.1365-2435.2008.01415.x.
- Helander, M., T.K. Lehtonen, K. Saikkonen, L. Despains, D. Nyckes, A. Antinoja, C. Solvi, O.J. Loukola, 2023:** Field-realistic acute exposure to glyphosate-based herbicide impairs fine-color discrimination in bumblebees. *Science of The Total Environment* **857**, 159298, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.159298.
- Hellström, S., V. Strobl, L. Straub, W.H. Osterman, R.J. Paxton, J. Osterman, 2023:** Beyond generalists: The Brassicaceae pollen specialist *Osmia brevicornis* as a prospective model organism when exploring pesticide risk to bees. *Environmental and Sustainability Indicators* **18**, 100239, DOI: 10.1016/j.indic.2023.100239.
- Hernandez, J., Y.D. Varennes, A. Aebi, V. Dietemann, A. Kretzschmar, 2023:** Agroecological measures in meadows promote honey bee colony development and winter survival. *Ecosphere* **14** (2), e4396, DOI: 10.1002/ecs2.4396.
- Herrera-Mesías, F., C. Bause, S. Ogan, H. Burger, M. Ayasse, A.M. Weigand, T. Eltz, 2022:** Double-blind validation of alternative wild bee identification techniques: DNA metabarcoding and in vivo determination in the field. *Journal of Hymenoptera Research* **93**, 189–214.
- Hofmann, M.M., A. Fleischmann, S.S. Rennen, 2020:** Foraging distances in six species of solitary bees with body lengths of 6 to 15 mm, inferred from individual tagging, suggest 150 m-rule-of-thumb for flower strip distances. *Journal of Hymenoptera Research* **77**, 105–117, DOI: 10.3897/jhr.77.51182.
- Holmgren, D., 2015:** Zwölf Design-Prinzipien für Permakultur. In: Helfrich, S., D. Bollier, Heinrich-Böll-Stiftung (Hrsg.). *Die Welt der Commons*, Bielefeld, transcript Verlag, 124–125, DOI: 10.1515/9783839432457-018.
- Holzschuh, A., I. Steffan-Dewenter, D. Kleijn, T. Tscharntke, 2007:** Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: Effects of farming system, landscape composition and regional context. *Journal of Applied Ecology* **44** (1), 41–49, DOI: 10.1111/j.1365-2664.2006.01259.x.
- Holzschuh, A., I. Steffan-Dewenter, T. Tscharntke, 2008:** Agricultural landscapes with organic crops support higher pollinator diversity. *Oikos* **117** (3), 354–361, DOI: 10.1111/j.2007.0030-1299.16303.x
- Honegger, A., R. Wittwer, D. Heggin, H.R. Oberholzer, A. de Ferron, P. Jeanneret, M. van der Heijden, 2014:** Auswirkungen langjähriger biologischer Landwirtschaft. *Agrarforschung Schweiz* **5** (2), 44–51.
- Humbert, J.Y., N. Richner, J. Sauter, T. Walter, G. Jaboury, 2010:** Wiesen-Ernteprozesse und ihre Wirkung auf die Fauna. *ART-Bericht* **724**, 1–12.
- Humbert, J.Y., J. Ghazoul, T. Walter, 2009:** Meadow harvesting techniques and their impacts on field fauna. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **130** (1-2), 1-8, DOI: 10.1016/j.agee.2008.11.014.
- Iles, D.T., G. Pugesek, N.Z. Kerr, N.N. Dorian, E.E. Crone, 2019:** Accounting for imperfect detection in species with sessile life cycle stages: A case study of bumble bee nests. *Journal of Insect Conservation* **23** (5–6), 945–955, DOI: 10.1007/s10841-019-00179-1.
- Iverson, A., C. Hale, L. Richardson, O. Miller, S. McArt, 2019:** Synergistic effects of three sterol biosynthesis inhibiting fungicides on the toxicity of a pyrethroid and neonicotinoid insecticide to bumble bees. *Apidologie* **50** (5), 733–744, DOI: 10.1007/s13592-019-00681-0.
- Jara, M.D.L., L.A.C. Alvarez, M.C.C. Guimarães, P.W.P. Antunes, J.P. de Oliveira, 2022:** Lateral flow assay applied to pesticides detection: recent trends and progress. *Environmental Science and Pollution Research* **29**, 46487–46508, DOI: 10.1007/s11356-022-20426-4.
- Javorek, S.K., K.E. Mackenzie, S.P. van der Kloet, 2002:** Comparative pollination effectiveness among bees (Hymenoptera: Apoidea) on lowbush blueberry (Ericaceae: *Vaccinium angustifolium*). *Annals of the Entomological Society of America* **95** (3), 345–351, DOI: 10.1603/0013-8746(2002)095[0345:CPEABH]2.0.CO;2.
- Jorzik, O., 2019:** Agrarlandschaften: Pflanzenmosaik fördern. *Earth System Knowledge Platform*. DOI: 10.2312/eskp.009.
- Jütte, T., A. Wernecke, F. Klaus, J. Pistorius, A.C. Dietzsch, 2023:** Risk assessment requires several bee species to address species-specific sensitivity to insecticides at field-realistic concentrations. *Scientific Reports*, DOI: 10.1038/s41598-023-48818-7.
- Kay, S., E. Kühn, M. Albrecht, L. Sutter, E. Szerencsits, F. Herzog, 2020:** Agroforestry can enhance foraging and nesting resources for pollinators with focus on solitary bees at the landscape scale. *Agroforestry Systems* **94** (2), 379–387, DOI: 10.1007/s10457-019-00400-9.
- Kevan, P.G., E.A. Clark, V.G. Thomas, 1990:** Insect pollinators and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture* **5** (1), 13–22, DOI: 10.1017/S0889189300003179.
- Kevan, P.G., S.W. Chan, 2023:** Promoting pollination and pollinators in farming. Sawston, UK, Burleigh Dodds Science Publishing, ISBN: 978-1-80146-101-6.
- Kirsch, F., A.L. Hass, W. Link, C. Westphal, C., 2023:** Intercrops as foraging habitats for bees: Bees do not prefer sole legume crops over legume-cereal mixtures. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **343**, 108268, DOI: 10.1016/j.agee.2022.108268.
- Kleijn, D., F. Kohler, A. Báldi, P. Batáry, E.D. Concepción, Y. Clough, M. Diaz, [...], J. Verhulst, 2009:** On the relationship between farmland biodiversity and land-use intensity in Eu-

- rope. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **276** (1658), 903–909, DOI: 10.1098/rspb.2008.1509.
- Kleijn, D., I. Raemakers, 2008:** A retrospective analysis of pollen host plant use by stable and declining bumble bee species. *Ecology* **89** (7), 1811–1823, DOI: 10.1890/07-1275.1.
- Klein, A.M., B.E. Vaissière, J.H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S.A. Cunningham, C. Kremen, T. Tschamtker, 2007:** Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **274** (1608), 303–313, DOI: 10.1098/rspb.2006.3721.
- Kline, O., N.K. Joshi, 2020:** Mitigating the effects of habitat loss on solitary bees in agricultural ecosystems. *Agriculture (Switzerland)* **10** (4), 115, DOI: 10.3390/agriculture10040115.
- Krahner, A., J. Schmidt, M. Maixner, M. Porten, T. Schmitt, 2021:** Evaluation of four different methods for assessing bee diversity as ecological indicators of agro-ecosystems. *Ecological Indicators* **125**, 107573, DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107573.
- Kratschmer, S., B. Pachinger, M. Schwantzer, D. Paredes, M. Guernion, F. Burel, A. Nicolai, [...], S. Winter, 2018:** Tillage intensity or landscape features: What matters most for wild bee diversity in vineyards? *Agriculture, Ecosystems & Environment* **266**, 142–152, DOI: 10.1016/j.agee.2018.07.018.
- Kratschmer, S., B. Pachinger, M. Schwantzer, D. Paredes, G. Guzmán, J.A. Gómez, J.A. Entrenas, [...], S. Winter, 2019:** Response of wild bee diversity, abundance, and functional traits to vineyard inter-row management intensity and landscape diversity across Europe. *Ecology and Evolution* **9** (7), 4103–4115, DOI: 10.1002/ece3.5039.
- Kratschmer, S., H. Zettel, E. Ockermüller, D. Zimmermann, S. Schoder, J. Neumayer, F. Gusenleitner, [...], M. Kuhlmann, 2021:** Threat ahead? An experts' opinion on the need for red lists of bees to mitigate accelerating extinction risks – the case of Austria. *Bee World* **98** (3), 74–77, DOI: 10.1080/0005772x.2021.1940734.
- Krogmann, L., O. Betz, J. Geldmann, D. Goulson, R. Menzel, U. Riecken, [...], W. Wägele, 2019:** Neun-Punkte-Plan gegen das Insektensterben – Die Perspektive der Wissenschaft. *Entomologische Zeitschrift* **128** (4), 247–249.
- Kugler, H., 1970:** Blütenökologie. Jena, Gustav Fischer Verlag, 345 S.
- Kunz, M., 2019:** Reaching for the stars: The will of people, bees, and politics. *Bee World* **96** (4), 114–116, DOI: 10.1080/0005772X.2019.1667619.
- Kuussaari M., T. Hyvönen, O. Härmä, 2011:** Pollinator insects benefit from rotational fallows. *Agriculture Ecosystems & Environment* **143**, 28–36, DOI: 10.1016/j.agee.2011.03.006.
- Lager, M.S., 2019:** Handlungsoptionen zur Förderung der Permakultur in der Schweizer Landwirtschaft – eine transdisziplinäre Analyse. Masterarbeit, Universität Bern, 284 S.
- Lau, P.W., I.L. Esquivel, K.A. Parys, K.L.J. Hung, P. Chakrabarti, 2023:** The nutritional landscape in agroecosystems: A review on how resources and management practices can shape pollinator health in agricultural environments. *Annals of the Entomological Society of America* **116** (5), 261–275, DOI: 10.1093/aesa/saad023
- Leclercq, N., L. Marshall, T. Weekers, P. Basu, D. Benda, D. Bevk, [...], N.J. Vereecken, 2023:** Global taxonomic, functional, and phylogenetic biogeography of bees in apple orchards. *Science of The Total Environment* **901**, 165933, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165933.
- Lindström, S.A.M., M. Rundlöf, L. Herbertsson, 2022:** Simple and farmer-friendly bumblebee conservation: Straw bales as nest sites in agricultural landscapes. *Basic and Applied Ecology* **63**, 196–205, DOI: 10.1016/j.baae.2022.06.008.
- Maclvor, J.S., 2017:** Cavity-nest boxes for solitary bees: A century of design and research. *Apidologie* **48** (3), 311–327, DOI: 10.1007/s13592-016-0477-z.
- Mack, G., T. Walter, C. Flury, 2008:** Entwicklung der Alpengung in der Schweiz: Ökonomische Bedeutung und ökologische Auswirkungen. *Yearbook of Socioeconomics in Agriculture* **1** (1), 259–300.
- Mallinger, R.E., J.R. Prasifka, 2017:** Bee visitation rates to cultivated sunflowers increase with the amount and accessibility of nectar sugars. *Journal of Applied Entomology* **141** (7), 561–573, DOI: 10.1111/jen.12375.
- Mallinger, R.E., J.G. Franco, D.A. Prischmann-Voldseth, J.R. Prasifka, 2019:** Annual cover crops for managed and wild bees: Optimal plant mixtures depend on pollinator enhancement goals. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **273**, 107–116, DOI: 10.1016/j.agee.2018.12.006.
- Maurer, R., 2022:** Ist ökologischer oder konventioneller Landbau besser für die Biodiversität? *Wirtschaftsdienst* **102** (4), 303–309.
- Misiewicz, A., L. Mikołajczyk, A.J. Bednarska, 2023:** Floral resources, energetic value and pesticide residues in provisions collected by *Osmia bicornis* along a gradient of oilseed rape coverage. *Scientific Reports* **13**, 13372, DOI: 10.1038/s41598-023-39950-5.
- Morandin, L.A., M.L. Winston, 2005:** Wild bee abundance and seed production in conventional, organic, and genetically modified canola. *Ecological Applications* **15** (3), 871–881, DOI: 10.1890/03-5271.
- Motta, E. V.S., K. Raymann, N.A. Moran, 2018:** Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **115** (41), 10305–10310, DOI: 10.1073/pnas.180388011.
- Motta, E. V., N.A. Moran, 2023:** The effects of glyphosate, pure or in herbicide formulation, on bumble bees and their gut microbial communities. *Science of The Total Environment* **872**, 162102, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162102.
- Murcia-Morales, M., J.J.M. van der Steen, F. Vejsnæs, F.J. Diaz-Galiano, J.M. Flores, A.R. Fernández-Alba, 2020:** APIStrip, a new tool for environmental contaminant sampling through honeybee colonies. *Science of The Total Environment* **729**, 138948, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138948.
- Murcia-Morales, M., H. Heinzen, P. Parrilla-Vázquez, M. del Mar Gómez-Ramos, A.R. Fernández-Alba, 2022:** Pres-

- ence and distribution of pesticides in apicultural products: A critical appraisal. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **146**, 116506. DOI: 10.1016/j.trac.2021.116506.
- Nair, P.K.R., 1993:** State-of-the-art of agroforestry research and education. *Agroforestry Systems* **23** (2–3), 95–119, DOI: 10.1007/BF00704909.
- Nepi, M., M. Guarnieri, E. Pacini, 2001:** Nectar secretion, re-absorption, and sugar composition in male and female flowers of *Cucurbita pepo*. *International Journal of Plant Sciences* **162** (2), 353–358, DOI: 10.1086/319581.
- Neumüller, U., H. Burger, A.V. Mayr, S. Hopfenmüller, S. Krausch, N. Herwig, R. Burger, [...], M. Ayasse, 2022:** Artificial nesting hills promote wild bees in agricultural landscapes. *Insects* **13** (8), 1–15, DOI: 10.3390/insects13080726.
- Nicholls, C.I., M.A. Altieri, 2013:** Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **33** (2), 257–274, DOI: 10.1007/s13593-012-0092-y.
- Nichols, R.N., J.M. Holland, D. Goulson, 2022:** Can novel seed mixes provide a more diverse, abundant, earlier, and longer-lasting floral resource for bees than current mixes? *Basic and Applied Ecology* **60**, 34–47, DOI: 10.1016/j.baae.2022.02.002.
- Nieto, A., S.P.M. Roberts, J. Kemp, P. Rasmont, M. Kuhlmann, M. García Criado, J.C. Biesmeijer, [...], D. Michez, 2014:** European red list of bees. IUCN Global Species Programm. DOI: 10.2779/77003
- Niggli, U., A. Fließbach, 2009:** Gut fürs Klima? Ökologische und konventionelle Landwirtschaft im Vergleich. In: *Agrar-Bündnis* (Hrsg.). *Der kritische Agrarbericht*, Hamm, ABL Verlag, 103–109, URL: <https://kritischer-agrarbericht.de/agrarberichte/2009>.
- Ockermüller, E., S. Kratschmer, C. Hainz-Renetzeder, N. Sauerer, H. Meimberg, T. Frank, [...], B. Pachinger, 2023:** Agricultural land-use and landscape composition: Response of wild bee species in relation to their characteristic traits. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **353**, 108540, DOI: 10.1016/j.agee.2023.108540.
- Odemer, R., A.T. Alkassab, G. Bischoff, M. Frommberger, A. Wernecke, I.P. Wirtz, J. Pistorius, F. Odemer, 2020:** Chronic high glyphosate exposure delays individual worker bee (*Apis mellifera* L.) development under field conditions. *Insects* **11** (10), 664, DOI: 10.3390/insects11100664.
- Odemer, R., E. Friedrich, I. Illies, S. Berg, J. Pistorius, G. Bischoff, 2023:** Potential risk of residues from neonicotinoid-treated sugar beet flowering weeds to honey bees (*Apis mellifera* L.). *Environmental Toxicology and Chemistry* **42** (5), 1167–1177, DOI: 10.1002/etc.5602.
- Olynyk, M., A.R. Westwood, N. Koper, 2021:** Effects of natural habitat loss and edge effects on wild bees and pollination services in remnant prairies. *Environmental Entomology* **50** (3), 732–743, DOI: 10.1093/ee/nvaa186.
- Omar, E., A.A. Abd-Ella, M.M. Khodairy, R. Moosbeckhofer, K. Crailsheim, R. Brodschneider, 2017:** Influence of different pollen diets on the development of hypopharyngeal glands and size of acid gland sacs in caged honey bees (*Apis mellifera*). *Apidologie* **48** (4), 425–436, DOI: 10.1007/s13592-016-0487-x.
- Pal, E., H. Almasri, L. Paris, M. Diogon, M. Pioz, M. Cousin, D. Sené, [...], L.P. Belzunces, 2022:** Toxicity of the pesticides imidacloprid, difenoconazole and glyphosate alone and in binary and ternary mixtures to winter honey bees: Effects on survival and antioxidative defenses. *Toxics* **10** (3), 104, DOI: 10.3390/toxics10030104.
- Pamminger, T., R. Becker, S. Himmelreich, C.W. Schneider, M. Bergtold, 2019a:** Pollen report: Quantitative review of pollen crude protein concentrations offered by bee pollinated flowers in agricultural and non-agricultural landscapes. *PeerJ* **7**, e7394, DOI: 10.7717/peerj.7394.
- Pamminger, T., R. Becker, S. Himmelreich, C.W. Schneider, M. Bergtold, 2019b:** The nectar report: Quantitative review of nectar sugar concentrations offered by bee visited flowers in agricultural and non-agricultural landscapes. *PeerJ* **7**, e6329, DOI: 10.7717/peerj.6329.
- Parreño, M.A., C. Alaux, J.L. Brunet, L. Buydens, M. Filipiak, M. Henry, A. Keller, [...], S. Leonhardt, 2022:** Critical links between biodiversity and health in wild bee conservation. *Trends in Ecology and Evolution* **37** (4), 309–321, DOI: 10.1016/j.tree.2021.11.013.
- Patiny, S., P. Rasmont, D. Michez, 2009:** A survey and review of the status of wild bees in the west-palaearctic region. *Apidologie* **40** (3), 313–331, DOI: 10.1051/apido/2009028.
- Pettis, J.S., E.M. Lichtenberg, M. Andree, J. Stitzinger, R. Rose, 2013:** Crop pollination exposes honey bees to pesticides which alters their susceptibility to the gut pathogen *Nosema ceranae*. *PLoS One* **8** (7), e70182, DOI: 10.1371/journal.pone.0070182.
- Pfiffner, L., A. Müller, 2016:** Faktenblatt Wildbienen und Bestäubung. Frick, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), ISBN 978-3-03736-293-8.
- Pfiffner, L., M. Ostermaier, S. Stoeckli, A. Müller, 2018:** Wild bees respond complementarily to ‘high-quality’ perennial and annual habitats of organic farms in a complex landscape. *Journal of Insect Conservation* **22**, 551–562, DOI: 10.1007/s10841-018-0084-6.
- Portman, Z.M., B. Bruninga-Socolar, D.P. Cariveau, 2020:** The state of bee monitoring in the United States: A call to refocus away from bowl traps and towards more effective methods. *Annals of the Entomological Society of America* **113** (5), 337–342, DOI: 10.1093/aesa/saaa010.
- Prell, S., K. Burmeister, U. Schulz, 2015:** Error analyses and options to optimize nesting aids for wild bees – Insights from literature research and empiric analyses. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie* **20**, 179–182.
- Rahimi, E., S. Barghjelveh, P. Dong, 2021:** How Effective Are Artificial Nests in Attracting Bees? A Review. *Journal of Ecology and Environment* **45** (1), 16, DOI: 10.1186/s41610-021-00192-z.

- Rasmont, P., A. Pauly, M. Terzo, S. Patiny, D. Michez, S. Iserbyt, Y. Barbier, E. Haubruge, 2005:** The survey of wild bees (Hymenoptera, Apoidea) in Belgium and France. Rome, Food and Agriculture Organisation, 18 S.
- Raymann, K., Z. Shaffer, N.A. Moran, 2017:** Antibiotic exposure perturbs the gut microbiota and elevates mortality in honeybees. *PLoS Biology* **15** (3), e2001861, DOI: 10.1371/journal.pbio.2001861.
- Requier, F., K.K. Jowanowitsch, K. Kallnik, I. Steffan-Dewenter, 2020:** Limitation of complementary resources affects colony growth, foraging behavior, and reproduction in bumble bees. *Ecology* **101** (3), e02946, DOI: 10.1002/ecy.2946.
- Requier, F., S.D. Leonhardt, 2020:** Beyond flowers: Including non-floral resources in bee conservation schemes. *Journal of Insect Conservation* **24** (1), 5–16, DOI: 10.1007/s10841-019-00206-1.
- Requier, F., J.F. Odoux, M. Henry, V. Bretagnolle, 2017:** The carry-over effects of pollen shortage decrease the survival of honeybee colonies in farmlands. *Journal of Applied Ecology* **54** (4), 1161–1170, DOI: 10.1111/1365-2664.12836.
- Reybroeck, W., E. Daeseleire, H.F. de Brabander, L. Herman, 2012:** Antimicrobials in beekeeping. *Veterinary Microbiology* **158** (1–2), 1–11, DOI: 10.1016/j.vetmic.2012.01.012.
- Rothman, J.A., K.A. Russell, L. Leger, Q.S. McFrederick, P. Graystock, 2020:** The direct and indirect effects of environmental toxicants on the health of bumblebees and their microbiomes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **287** (1937), 20200980, DOI: 10.1098/rspb.2020.0980.
- Ruddle, N., C. Elston, O. Klein, A. Hamberger, H. Thompson, 2018:** Effects of exposure to winter oilseed rape grown from thiamethoxam-treated seed on the red mason bee *Osmia bicornis*. *Environmental Toxicology and Chemistry* **37** (4), 1071–1083, DOI: 10.1002/etc.4034.
- Rundlöf, M., G.K. Andersson, R. Bommarco, I. Fries, V. Hedeström, L. Herbertsson, [...], H.G. Smith, 2015:** Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. *Nature* **521** (7550), 77–80. DOI: 10.1038/nature14420.
- Sánchez-Bayo, F., K.A. 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.
- Sandrock, C., L.G. Tanadini, J.S. Pettis, J.C. Biesmeijer, S.G. Potts, P. Neumann, 2014:** Sublethal neonicotinoid insecticide exposure reduces solitary bee reproductive success. *Agricultural and Forest Entomology* **16** (2), 119–128, DOI: 10.1111/afe.12041.
- Saunders, M.E., J.K. Janes, J.C. O’Hanlon, 2020:** Moving on from the insect apocalypse narrative: engaging with evidence-based insect conservation. *BioScience* **70** (1), 80–89, DOI: 10.1093/biosci/biz143.
- Sheffield, C.S., M.A. Wilkes, C.G. Cutler, L. Hermanutz, 2014:** An artificial nesting substrate for *Osmia* species that nest under stones, with focus on *Osmia inermis* (Hymenoptera: Megachilidae). *Insect Conservation and Diversity* **8** (2), 189–192, DOI: 10.1111/icad.12095.
- Scheper, J., R. Bommarco, A. Holzschuh, S.G. Potts, V. Riedinger, S.P.M. Roberts, M. Rundlöf, [...], D. Kleijn, 2015:** Local and landscape-level floral resources explain effects of wildflower strips on wild bees across four European countries. *Journal of Applied Ecology* **52** (5), 1165–75, DOI: 10.1111/1365-2664.12479.
- Scheuchl, E., H.R. Schwenninger, M. Kuhlmann, 2018:** Aktualisierung der Checkliste der Bienen Deutschlands. Stuttgart, Arbeitskreises Wildbienen-Kataster im Entomologischen Verein Stuttgart, 26 S., URL: <https://www.wildbienen-kataster.de/login/downloads/checkliste.pdf>.
- Schneider, K., J. Barreiro-Hurle, E. Rodriguez-Cerezo, 2023:** Pesticide reduction amidst food and feed security concerns in Europe. *Nature Food* **4**, 746–750, DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00834-6>.
- Schuch, S., H. Ludwig, K. Wesche, 2020:** Erfassungsmethoden für ein Insektenmonitoring. Bonn, Bundesamt für Naturschutz, 84 S., DOI 10.19217/skr565.
- Schuhmann, A., A.P. Schmid, S. Manzer, J. Schulte, R. Scheiner, 2022:** Interaction of insecticides and fungicides in bees. *Frontiers in Insect Science* **1**, 23, DOI: 10.3389/fin-sc.2021.808335.
- Seibert, S.P., K. Auerswald, 2020:** Hochwasserminderung im ländlichen Raum. Berlin, Heidelberg, Springer Spektrum, 236 S., DOI: 10.1007/978-3-662-61033-6.
- Sirami, C., N. Gross, A.B. Baillod, C. Bertrand, R. Carrié, A. Hass, L. Henckel, [...], L. Fahrig, 2019:** Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **116** (33), 16442–16447, DOI: 10.1073/pnas.1906419116.
- Statistisches Bundesamt, 2022:** Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Bodennutzung der Betriebe (Landwirtschaftlich genutzte Flächen). Fachserie 3, Reihe 3.1.2, 39 S.
- Steiner, N., J. Dauber, M. Hirsch, C. Knecht, A. Otte, T. Purtauf, D. Simmering, R. Waldhardt, V. Wolters, W. Köhler, 2002:** Modellierung der Artenvielfalt in Abhängigkeit vom Landschaftsmuster. *Berichte über Landwirtschaft* **80** (3), 468–481.
- Steinigeweg, C., A.T. Alkassab, S. Erler, H. Beims, I.P. Wirtz, D. Richter, J. Pistorius, 2023:** Impact of a microbial pest control product containing *Bacillus thuringiensis* on brood development and gut microbiota of *Apis mellifera* worker honey bees. *Microbial Ecology* **85** (4), 1300–1307, DOI: 10.1007/s00248-022-02004-w.
- Steinmann, H.H., 2013:** Glyphosat – Ein Herbizid in der Diskussion und die Suche nach dem ‘Notwendigen Maß’. *Gesunde Pflanzen* **65** (2), 47–56, DOI: 10.1007/s10343-013-0297-2.
- Straub, L., V. Strobl, O. Yañez, M. Albrecht, M.J.F. Brown, P. Neumann, 2022:** Do pesticide and pathogen interactions drive wild bee declines? *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* **18**, 232–243, DOI: 10.1016/j.ijpaw.2022.06.001.

- Straw, E.A., 2021:** Letter to the editors regarding: Is glyphosate toxic to bees? A meta-analytical review. *Science of The Total Environment* **790**, 147556, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147556.
- Straw, E.A., R. Mesnage, M.J.F. Brown, M.N. Antoniou, 2023:** No impacts of glyphosate or *Crithidia bombi*, or their combination, on the bumblebee microbiome. *Scientific Reports* **13**, 8949, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35304-3>.
- Sutter, L., D. Ganser, F. Herzog, M. Albrecht, J.-D. Charrière, V. Dietemann, [...], T. Steinger, 2021:** Bestäubung von Kulturpflanzen durch Wild- und Honigbienen in der Schweiz. *Agroscope Science* **127**, 48, DOI: 10.34776/as127 g.
- Syromyatnikov, M.Y., A.V. Kokina, A.V. Lopatin, A.A. Starkov, V.N. Popov, 2017:** Evaluation of the toxicity of fungicides to flight muscle mitochondria of bumblebee (*Bombus terrestris* L.). *Pesticide Biochemistry and Physiology* **135**, 41–46, DOI: 10.1016/j.pestbp.2016.06.007.
- Tasei, J.-N., P. Aupinel, 2008:** Nutritive value of 15 single pollens and pollen mixes tested on larvae produced by bumblebee workers (*Bombus terrestris*, Hymenoptera: Apidae). *Apidologie* **39** (4), 397–409, DOI: 10.1051/apido:2008017.
- Tauber, J.P., C.Ö. Tozkar, R.S. Schwarz, D. Lopez, R.E. Irwin, L.S. Adler, J.D. Evans, 2020:** Colony-level effects of amygdalin on honeybees and their microbes. *Insects* **11** (11), 783, DOI: 10.3390/insects11110783.
- Traynor, K.S., S. Tosi, K. Rennich, N. Steinhauer, E. Forsgren, R. Rose, G. Kunkel, [...], J. Evans, 2021:** Pesticides in honey bee colonies: Establishing a baseline for real world exposure over seven years in the USA. *Environmental Pollution* **279**, 116566, DOI: 10.1016/j.envpol.2021.116566.
- Tschanz, P., S. Vogel, A. Walter, T. Keller, M. Albrecht, 2023:** Nesting of ground-nesting bees in arable fields is not associated with tillage system per se, but with distance to field edge, crop cover, soil and landscape context. *Journal of Applied Ecology* **60**, 158–169, DOI: 10.1111/1365-2664.14317.
- Tscharntke, T., I. Grass, T.C. Wanger, C. Westphal, P. Batáry, 2021:** Beyond organic farming – harnessing biodiversity-friendly landscapes. *Trends in Ecology and Evolution* **36** (10), 919–930, DOI: 10.1016/j.tree.2021.06.010.
- Uyttenbroeck, R., S. Hatt, A. Paul, F. Boeraeve, J. Piqueray, F. Francis, S. Danthine, [...], A. Monty, 2016:** Pros and cons of flowers strips for farmers. A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* **20** (s1), 225-235, URL: <https://hdl.handle.net/2268/197120>.
- Vanbergen, A.J., The Insect Pollinators Initiative, 2013:** Threats to an ecosystem service: Pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment* **11** (5), 251–259, DOI: 10.1890/120126.
- Vaudo, A.D., J.F. Tooker, C.M. Grozinger, H.M. Patch, 2015:** Bee nutrition and floral resource restoration. *Current Opinion in Insect Science* **10**, 133-141, DOI: 10.1016/j.cois.2015.05.008.
- Vázquez, D.E, J.M. Latorre-Estivalis, S. Ons, W.M. Farina, 2020:** Chronic exposure to glyphosate induces transcriptional changes in honey bee larva: A toxicogenomic study. *Environmental Pollution* **261**, 114148, DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114148.
- Venter, O., N.N. Brodeur, L. Nemiroff, B. Belland, I.J. Dolinsek, J.W.A. Grant, 2006:** Threats to endangered species in Canada. *BioScience* **56** (11), 903–910, DOI: 10.1641/0006-3568(2006)56[903:TTESSIC]2.0.CO;2.
- Vilà, M., I. Bartomeus, A.C. Dietzsch, T. Petanidou, I. Stefan-Dewenter, J.C. Stout, T. Tscheulin, 2009:** Invasive plant integration into native plant–pollinator networks across Europe. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **276** (1674), 3887-3893, DOI: 10.1098/rspb.2009.1076.
- Wagner, D.L., 2020:** Insect declines in the Anthropocene. *Annual Review of Entomology* **65**, 457-480, DOI: 10.1146/annurev-ento-011019-025151.
- Walker, K.J., J.M. Bullock, R.F. Pywell, M.S. Heard, R.B. Bradbury, S. Hinsley, M. Nowakowski, 2012:** Wildlife-friendly farming benefits rare birds, bees and plants. *Biology Letters* **8** (5), 772-775, DOI: 10.1098/rsbl.2012.0367.
- Walther-Hellwig, K., R. Frankl, 2003:** Foraging habitats and foraging distances of bumblebees, *Bombus* spp. (Hym., Apidae), in an agricultural landscape. *Journal of Applied Entomology* **124** (7-8), 299-306, DOI: 10.1046/j.1439-0418.2000.00484.x.
- Ward, L.T., M.L. Hladik, A. Guzman, S. Winsemius, A. Bautista, C. Kremen, N.J. Mills, 2022:** Pesticide exposure of wild bees and honey bees foraging from field border flowers in intensively managed agriculture areas. *Science of The Total Environment* **831**, 154697, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154697.
- Weidenmüller, A., A. Meltzer, S. Neupert, A. Schwarz, C. Kleineidam, 2022:** Glyphosate impairs collective thermoregulation in bumblebees. *Science* **376** (6597), 1122–1126. DOI: 10.1126/science.abf7482.
- Wernecke, A., J.H. Eckert, R. Forster, N. Kurlemann, R. Odeimer, 2022:** Inert agricultural spray adjuvants may increase the adverse effects of selected insecticides on honey bees (*Apis mellifera* L.) under laboratory conditions. *Journal of Plant Diseases and Protection* **129** (1), 93-105, DOI: 10.1007/s41348-021-00541-z.
- Wernecke, A., D. Castle, 2020:** Auswirkungen von Pflanzenschutzmittel-Tankmischungen auf Honigbienen und mögliche physiologische Interaktionen. *Journal für Kulturpflanzen* **72** (5), 154-161, DOI: 10.5073/JfK.2020.05.05.
- Westrich, P., U. Frommer, K. Mandery, H. Riemann, H. Ruhnke, C. Saure, J. Voith, 2008:** Rote Liste der Bienen Deutschlands (Hymenoptera, Apidae) (4. Fassung, Dezember 2007). *Eucera* **1** (3), 33-87.
- Westrich, P., U. Frommer, K. Mandery, H. Riemann, H. Ruhnke, C. Saure, J. Voith, 2011:** Rote Liste und Gesamtartenliste der Bienen (Hymenoptera, Apidae) Deutschlands (5. Fassung). In: Binot-Hafke, M., S. Balzer, N. Becker, H. Gruttke, H. Haupt, N. Hofbauer, G. Ludwig, G. Matzke-Hajek, M. Strauch (Hrsg.). *Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. Band 3: Wirbellose Tiere (Teil 1)*, Münster, Landwirtschaftsverlag, 373–416.

- Westrich, P., 2015:** Wildbienen. Die Anderen Bienen. München, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, ISBN 978-3-89937-136-9.
- Westrich, P., 1990:** Wildbienen Baden-Württembergs. Stuttgart, E. Ulmer, ISBN 3800133075.
- Westrich, P., 2011:** Wildbienen – Die Anderen Bienen. München, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, ISBN 978-3-89937-136-9.
- Westrich, P., 2015-2023:** Untauglich oder schädlich: »Insektenhotels« »Nisthilfen«, die nicht geeignet und nicht zu empfehlen sind. URL: [https://www.wildbienen.info/artenschutz/untaugliche\\_nisthilfen\\_A.php](https://www.wildbienen.info/artenschutz/untaugliche_nisthilfen_A.php), Zugriff: 08.06.2023.
- Whitehorn, P.R., S. O'Connor, F.L. Wackers, D. Goulson, 2012:** Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science* **336** (6079), 351–352, DOI: 10.1126/science.1215025.
- Wiesbauer, H., 2023:** Wilde Bienen – Biologie, Lebensraum-dynamik und Gefährdung, Stuttgart, Verlag Ulmer, 528 S., ISBN 978-3-8186-1717-2.
- Winfree, R., 2010:** The conservation and restoration of wild bees. *Annals of the New York Academy of Sciences* **1195** (1), 169-197, DOI: 10.1111/j.1749-6632.2010.05449.x.
- Wintermantel, D., J.F. Odoux, J. Chadœuf, V. Bretagnolle, 2019:** Organic farming positively affects honeybee colonies in a flower-poor period in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology* **56** (8), 1960–1969, DOI: 10.1111/1365-2664.13447.
- Wolf, R., 2023:** Biodiversität im Anthropozän. *Natur und Recht* **45** (1), 6-22, DOI: 10.1007/s10357-022-4127-0.
- Woodcock, B.A., N.J.B. Isaac, J.M. Bullock, D.B. Roy, D.G. Garthwaite, A. Crowe, R.F. Pywell, 2016:** Impacts of neonicotinoid use on long-term population changes in wild bees in England. *Nature Communications* **7** (1), 1–8, DOI: 10.1038/ncomms12459.
- Woodcock, B.A., J.M. Bullock, R.F. Shore, M.S. Heard, M.G. Pereira, J. Redhead, [...], R.F. Pywell, 2017:** Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. *Science* **356** (6345), 1393-1395, DOI: 10.1126/science.aaa1190.
- Yordanova, M., S.E.F. Evison, R.J. Gill, P. Graystock, 2022:** The threat of pesticide and disease co-exposure to managed and wild bee larvae. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* **17**, 319, DOI: 10.1016/j.ijppaw.2022.03.001.
- Yourth, C.P., M.J.F. Brown, P. Schmid-Hempel, 2008:** Effects of natal and novel *Crithidia bombi* (Trypanosomatidae) infections on *Bombus terrestris* hosts. *Insectes sociaux* **55**, 86-90, DOI: 10.1007/s00040-007-0974-1.
- Zaller, J.G., 2012:** Grünlandfauna im Extensiv- und Intensivgrünland. Bericht zum 17. Alpenländisches Expertenforum „Bedeutung und Nutzung von Extensivgrünland“, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 43–50, ISBN: 978-3-902559-79-1.
- Zaller, J.G., 2020:** Insektensterben – Inwiefern sind Pestizide dafür mitverantwortlich? *Entomologica Austriaca* **27**, 285–295.
- Zattara, E.E., M.A. Aizen, 2021:** Worldwide occurrence records suggest a global decline in bee species richness. *One Earth* **4** (1), 114-123, DOI: 10.1016/j.oneear.2020.12.005.
- Zehlius-Eckert, W., P. Tsonkova, C. Böhm, 2020:** Umweltleistungen von Agroforstsystemen. *Freising, Agroforst-Info*, 55 S.
- Zhang, G., C.J. Murray, A.L. St. Clair, R.P. Cass, A.G. Dolezal, L.A. Schulte, [...], M.E. O'Neal, 2023:** Native vegetation embedded in landscapes dominated by corn and soybean improves honey bee health and productivity. *Journal of Applied Ecology* **60**, 1032–1043, DOI: 10.1111/1365-2664.14397.
- Zimmermann, D., S. Schoder, H. Zettel, C. Hainz-Renetzeder, S. Kratschmer, 2023:** Changes in the wild bee community (Hymenoptera: Apoidea) over 100 years in relation to land use: a case study in a protected steppe habitat in Eastern Austria. *Journal of Insect Conservation* **27**, 625–641, DOI: 10.1007/s10841-023-00486-8.
- Zurbuchen, A., L. Landert, J. Klaiber, A. Müller, S. Hein, S. Dorn, 2010:** Maximum foraging ranges in solitary bees: only few individuals have the capability to cover long foraging distances. *Biological Conservation* **143** (3), 669-676, DOI: 10.1016/j.biocon.2009.12.003.
- Zurbuchen, A., A. Müller, 2012:** Wildbienen-schutz - von der Wissenschaft zur Praxis. Zürich, Haupt Verlag AG, ISBN: 978-3-258-07722-2.



Benjamin Klauk , Maria Rosenhauer, Jan Petersen

## Experiences with electrophysical desiccation in early potatoes from Rhineland-Palatinate

Erfahrungen in der elektrophysikalischen Sikkation von Frühkartoffeln in Rheinland-Pfalz

### Affiliation

Bingen Technical University of Applied Sciences, Bingen am Rhein, Germany.

### Correspondence

Benjamin Klauk, Bingen Technical University of Applied Sciences, Berlinstraße 109, 55411 Bingen am Rhein, Germany, email: b.klauk@th-bingen.de

## Abstract

Electrophysical desiccation of early potatoes was tested as a non-chemical tool to reduce herbicide use. Therefore, the XPower device (Zasso®) was tested at three sites (Rhineland-Palatinate) in three trial years (2020–2022) with two driving speeds and in combinations with chemical and non-chemical desiccation tools. In addition, the role of N-fertilization and irrigation on the efficacy of electrophysical desiccation was analyzed. At 3 km h<sup>-1</sup> driving speed, a higher level of leaf and stem necrosis was obtained compared to 6 km h<sup>-1</sup> driving speed. The level of leaf and stem necrosis was comparable to chemical desiccation. The peel of the tubers was hardened in all desiccation treatments 14 days after desiccation. The occurrence of heel end necrosis in the electrophysical treatment was significantly reduced by increasing the driving speed and irrigation prior to desiccation.

## Keywords

*Solanum tuberosum* L., peel strength, tuber quality, heel end necrosis, vascular discoloration, electrophysical vegetation control

## Zusammenfassung

Die elektrophysikalische Sikkation bei Frühkartoffeln wurde als mögliche nicht-chemische Option zur Reduktion des Herbizideinsatzes untersucht. An drei Standorten in Rheinland-Pfalz wurden in drei Versuchsjahren (2020–2022) das XPower-Gerät (Zasso®) mit zwei Fahrgeschwindigkeiten und in Kombinationen mit chemischen und nicht-chemischen Verfahren der Kartoffelsikkation geprüft. Zudem wurden die Auswirkungen von N-Düngung- und Bewässerung auf die Wirkung der elektrophysikalischen Sikkation untersucht. Bei der Geschwindigkeit von 3 km h<sup>-1</sup> trat ein höherer Grad an Blatt- und Stängelnekrosen auf, während die Blatt- und Stängelnekrosen bei 6 km h<sup>-1</sup> dem Niveau bei der chemischen Sikkation glichen. Die Knollen waren in 14 Tage nach der Sikkation

schalenfest. Die häufiger, aber noch für die Vermarktung in vertretbarem Anteil, auftretenden Nabelendnekrosen in den elektrophysikalischen Varianten konnten durch erhöhte Fahrgeschwindigkeit und einer Bewässerung vor der Sikkation signifikant reduziert werden.

## Stichwörter

*Solanum tuberosum* L., Schalenfestigkeit, Knollenqualität, Nabelendnekrose, Gefäßbündelverbräunung, elektrophysikalische Krautsikkation

## Introduction

Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) are grown on approximately 250 thousand hectares per year in Germany, which corresponds to about 2% of the arable land (Ahrens, 2022). Despite this small proportion, this crop plays locally an important economic role for specialised farms. In particular, the cultivation of early potatoes, which are grown on sites with an early start of vegetation, offers an interesting economic option. In Germany, Palatinate is the main location for early potato cultivation. Early potatoes are defined as ‘potatoes harvested before they are completely mature, marketed immediately after their harvesting, and whose skin can be easily removed without peeling’ (UNECE, 2021). To promote uniform ripening, to induce proper skin set and to prevent the transmission of viral diseases from the leaves to the tubers, desiccation is commonly used in early potatoes production. Furthermore, it facilitates harvesting and decreases skinning injury (Lulai & Orr, 1993; Kempenaar & Struik, 2007). Different desiccation programs, which are well established methods for defoliation, have been proven. Mechanical methods for desiccation are performed e.g., with a flail beater, which is often used in organic production. The mechanical methods do not always achieve a sufficient effect on the haulm, especially in conditions with strong vegetative growth (Boydston et al., 2018). Therefore, desiccation programs with a sequence of methods are common. In contrast to mechanical methods, chemical desiccation is less labour and cost intensive (Kempenaar &



(c) The author(s) 2023

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Struik, 2007). For this purpose, contact herbicides like carfentrazone-ethyl, pyraflufen-ethyl, pelargonic acid or diquat are used (Zotarelli et al., 2016). The bipyridine diquat, which was mainly applied in the past, is no longer available for desiccation in Europe (Commission implementing regulation (EU) 2018/1532, 2018). In general, a paradigm shift in plant protection towards more non-chemical alternatives is emerging (Waldmann, 2021). Alternatives need to be evaluated to implement this paradigm shift. A long disregarded non-chemical tool represents the electrophysical vegetation control. Timmons (2005) cites early records suggesting to use electricity to control Johnsongrass (*Sorghum halepense* L.) as early as 1901. In the 1940s an attempt was made to promote the "electrovator", a device designed to emit electrical charge into plants, but was ultimately considered ineffective in perennial weed control. In the 1980s, experiments were carried out with electricity to control bolters of sugar beet with promising success. Due to technical reasons and low market opportunities, this device was not further developed (Diprose et al., 1985). To offer non-chemical-alternatives, use of electrophysical systems is one option for desiccation in potatoes. In 2016, Zasso® introduced the Electroherb™ technology with the XPower device. In 2020, the first prototypes of the XPower system were supplied and tested. The XPower system includes a generator unit and an application unit. The generator, which is connected at the rear of the tractor, supplies 230 V alternating current and converts it to 700 to 8000 V direct current by rectifier circuits mounted on the applicator. The applicator consists of three rows of electrodes (two positive and one negative), which touch the plants during application. The version used in the presented study had a working width of 3 m and provides a maximum output power of 72 kW (Koch et al., 2020). However, little is known on the integration of electrophysical systems in cultivation practices to date.

The objective of this study was to evaluate the efficacy of the Electroherb™ technology with the XPower device for the desiccation of early potatoes..

The following hypotheses were tested:

1. The haulm can be sufficiently desiccated by Electroherb™ technology with the XPower device system.
2. The efficacy of electrophysical desiccation is comparable to the efficacy of chemical desiccation.

3. Higher N-fertilization reduces the efficacy of the electrophysical system.
4. Dry soil conditions increase the proportion of tubers with reduced internal quality.

## Material and Methods

### Experimental Setup

For all field trials, the Electroherb™ technology, was used. Field trials were conducted at three sites in Rhineland-Palatinate: in Bingen am Rhein, Frankenthal and Mutterstadt, from 2020 to 2022. Planting date, N-fertilization and irrigation during the vegetation period differed between the field sites (Table 1). The different desiccation programs were conducted in BBCH 69–70. In 2020, potato varieties differ between the locations. In the following years 2021 and 2022, all investigations were focused on the variety 'Musica'. The planting distance of the tubers ranged between 33 and 38 cm. N-Fertilization was performed using stabilised urea fertiliser in Bingen and mixed fertiliser (N-content: 50% by weight both ammonium and nitrate) in Mutterstadt and Frankenthal. The entire N fertilizer was applied before planting.

The precipitation and the temperature were similar between the sites in the corresponding years (Table 2). During the growth period in the years 2020 and 2022, less precipitation fell than in 2021. Less precipitation was highly associated with higher temperature.

Eight different treatments were performed in the field trial in Bingen (Table 3). Two different driving speeds of XPower (3 and 6 km h<sup>-1</sup>), two combinations of flail beater followed by 6 km h<sup>-1</sup> XPower as well as 6 km h<sup>-1</sup> XPower followed by a herbicide I, a herbicide sequence consisting of two applications, driving speed with 3 km h<sup>-1</sup> and additional N-supply and driving speed with 3 km h<sup>-1</sup> without irrigation before desiccation were compared to an untreated control. Flail beating was simulated by cutting the haulm 5 cm above the potato ridge five days before electrophysical desiccation. Different nitrogen-levels were investigated, because higher levels of nitrogen exacerbate the haulm desiccation (Ivány et al., 1986). The

Table 1. Variety, planting date, nitrogen fertilization, irrigation and date of desiccation depending on the site and year

Site	Year	Variety	Planting date	N-level (kg ha <sup>-1</sup> )	Irrigation (l m <sup>-2</sup> )	Date of desiccation
Bingen	2020	Anabelle	20 Feb	120 <sup>a</sup>	110 <sup>b</sup>	24 Jun
Bingen	2021	Musica	25 Feb	120 <sup>a</sup>	150 <sup>b</sup>	8 Jul
Bingen	2022	Musica	28 Feb	120 <sup>a</sup>	160 <sup>b</sup>	7 Jun
Frankenthal	2020	Ivona	1 Apr	157	150	25 Jun
Frankenthal	2021	Musica	9 Apr	187	120	20 Jul
Frankenthal	2022	Musica	1 Apr	170	150	23 Jun
Mutterstadt	2020	Ivona	24 Mar	173	175	25 Jun
Mutterstadt	2021	Musica	22 Mar	187	195	20 Jul
Mutterstadt	2022	Musica	22 Mar	186	195	23 Jun

<sup>a</sup> 170 kg N ha<sup>-1</sup> in one treatment

<sup>b</sup> drip irrigation

Table 2. Precipitation and temperature from March to July, depending on site and year

Site	Year	Precipitation [L m <sup>-2</sup> ]					
		March	April	May	June	July	Sum
Bingen <sup>a</sup>	2020	35	13	36	28	10	122
	2021	19	17	51	68	90	245
	2022	28	26	27	65	2	148
Frankenthal <sup>b</sup>	2020	32	7	23	76	24	162
	2021	21	17	65	110	73	286
	2022	19	53	18	47	13	150
Mutterstadt <sup>c</sup>	2020	33	9	32	81	27	182
	2021	22	17	41	118	67	264
	2022	14	63	19	53	21	170

Site	Year	Temperature [°C]					
		March	April	May	June	July	Average
Bingen <sup>a</sup>	2020	7.5	12.3	14.1	18.6	20.7	14.6
	2021	6.5	8.1	11.9	20.7	19.5	13.3
	2022	6.4	9.7	16.7	20.2	22.1	15.0
Frankenthal <sup>b</sup>	2020	7.7	13.0	14.5	18.5	21.0	14.9
	2021	6.9	8.4	12.6	20.9	19.9	13.7
	2022	7.1	10.1	17.6	20.8	22.4	15.6
Mutterstadt <sup>c</sup>	2020	7.9	13.4	15.1	18.9	21.1	15.3
	2021	6.8	8.5	12.8	21.1	20.0	13.9
	2022	7.0	10.1	17.8	21.1	22.3	15.7

<sup>a</sup> weather station Bingen Gaulsheim<sup>b</sup> weather station Frankenthal-Eppstein<sup>c</sup> weather station Mutterstadt

Table 3. Description of the desiccation treatments conducted at Bingen in 2020, 2021 and 2022

Treatment	Desiccation program	Leaf desiccation	Stem desiccation	Speed during electrophysiological application (km h <sup>-1</sup> )	Irrigation before electrophysiological application (L m <sup>-2</sup> ) <sup>d</sup>
1	Control	-	-	-	10
2	Electrophysical		Electrophysical	3	10
3	Electrophysical		Electrophysical	6	10
4 <sup>a</sup>	Combination	Flail beater	Electrophysical	6	10
5	Combination	Electrophysical	Chemical <sup>b</sup>	6	10
6	Chemical	Chemical <sup>c</sup>	Chemical <sup>b</sup>		
7	Electrophysical		Electrophysical	3	-
8 <sup>e</sup>	Electrophysical		Electrophysical	3	10

<sup>a</sup> not in 2020<sup>b</sup> 1.0 L ha<sup>-1</sup> Shark\* (microemulsion, 60 g l<sup>-1</sup> carfentrazone-ethyl (HRAC: 14))<sup>c</sup> 0.8 L ha<sup>-1</sup> Quickdown\* (emulsion concentrate, 24.2 g l<sup>-1</sup> pyraflufen (HRAC: 14)) + 2.0 l ha<sup>-1</sup> Toil\* (adjuvant)<sup>d</sup> drip irrigation<sup>e</sup> + 50 kg N ha<sup>-1</sup>

maximum direct current of 8000 V was used for all trials. All herbicides for chemical desiccation were applied with a one-wheel plot sprayer (Baumann Saatzuchtbedarf, Germany; air mix 120-05 flat fan, spray pressure 210 kPa, spray volume 400 L ha<sup>-1</sup>, speed 4.5 km h<sup>-1</sup>) with a working width of 3 m.

In Frankenthal and Mutterstadt, only four treatments were performed (Table 4). The fields were provided by two potato producers annually.

Each treatment was repeated four times in all trial years. The plots (20 m × 3 m, i.e., four rows with 0.75 m width) were allocated using a randomized block design.

The soil moisture was measured shortly before the electro-physical desiccation using the TDR Fieldscout 350 (Spectrum Technologies, 3600 Thayer Court, Aurora). The plots in Frankenthal and Mutterstadt were not irrigated before the electro-physical desiccation (Table 5).

### Assessment of desiccation efficacy and tuber quality

To assess the efficacy of the XPower system and the other desiccation measures, the percentage of necrosis tissue was estimated visually 7 and 14 days after the last desiccation treatment separately for leaf and stem tissue. In addition, re-sprouting was monitored.

Tuber samples were taken from 20 plants per plot, 7 and 14 days after last desiccation treatment. The samples were sorted with sieves with mesh sizes of 30 and 60 mm and grouped in three tuber fractions with diameter sized of less than 30 mm, 30 to 60 mm and more than 60 mm. Tubers of the fraction 30 to 60 mm were used for subsequent assessments. Starch content was analyzed with the under-water weight method. Therefore, 5 kg tubers were washed. The calculated specific gravity (equation 1) was used to determine the starch content of the tubers (%) according to Lunden (1956) (equation 2).

$$\text{specific gravity} = \frac{5000}{(5000 - \text{underwater weight})} \quad (1)$$

$$\text{starch content (\%)} = -211.89 + 209.06 * \text{specific gravity} \quad (2)$$

The hardness of the tuber skin of 40 randomly selected tubers was tested separately for each sample. A scoring system was used to quantify, how easily the skin can be removed (Table 6). Even-numbered scores were assigned for transitions.

The same 40 tubers were used for the internal quality assessment. The tubers were halved to identify vascular discoloration and necrotized heel end. Both are symptoms that can occur due to desiccation (Headford & Douglas, 1967). A scoring system was used to validate the incidence as well as the severity of both symptoms separately (Table 7). Even-numbered scores were assigned for transitions.

Table 4. Description of the desiccation treatments conducted at Frankenthal and Mutterstadt in 2020, 2021, 2022

Treatment	Desiccation program	Leaf desiccation	Stem desiccation	Speed during electro-physical application (km h <sup>-1</sup> )
1	Control	-	-	-
2	Electro-physical		Electro-physical	6
3	Electro-physical		Electro-physical	3
4 <sup>a</sup>	Combination	Flail beater	Electro-physical	6

<sup>a</sup> not in 2020

Table 5. Soil moisture in 0-12 cm depth [volume water content (VWC), %] before electro-physical desiccation depending on the trial year and trial site, averaged for the specific field (n.a. = not available)

Trial year	Trial site	Soil moisture [VWC, %] ridge valley		Soil moisture [VWC, %] top of the ridge	
		Irrigated before desiccation	Non irrigated before desiccation	Irrigated before desiccation	Non irrigated before desiccation
2020	Bingen	27.47	25.90	13.72	16.10
	Frankenthal		30.39		15.77
	Mutterstadt		32.40		14.61
2021	Bingen	25.59	25.84	14.64	14.07
	Frankenthal		10.67		12.86
	Mutterstadt		10.62		9.87
2022	Bingen	20.63	16.27	11.50	7.53
	Frankenthal		n.a.		n.a.
	Mutterstadt		n.a.		n.a.

Table 6. Explanation of the scoring system used for the assessment of the hardness of the tuber skin

Score	Explanation
1	Tuber skin cannot be removed with the thumb
3	Tuber skin is removable with the thumb
5	Tuber skin can be easily removed with the thumb
7	Tuber skin begins to loosen from the flesh without any external influence
9	Tuber skin loosen from the flesh without any external influence

Table 7. Explanation of the scoring system used for the assessment of the severity of vascular discoloration and necrotized heel end

Score	Explanation for vascular discoloration	Explanation for necrotized heel end
1	Vascular ring invisible	No necrotized heel end
3	10–20% of the vascular ring is brown	Only initial part of heel end necrotized
5	40–50% of the vascular ring is brown	Necrotized heel end
7	70–80% of the vascular ring is brown	Area around the heel end necrotized
9	90–100% of the vascular ring is brown	Parts of the pith necrotized

### Statistical analysis

Statistical analysis was conducted with R, version 4.2.3 (R Core Team, 2023). All data were tested for normal distribution (Shapiro-Wilk test) and variance homogeneity (Levene test) using the R package *car* (Fox & Weisberg, 2019). Subsequently, a linear mixed effects model (LMM) was used to analyze the effect of the desiccation method (fix effect). For the treatments 1–4 (see Tables 3 and 4), which were performed at all sites and years, a LMM with two random factors (site and year) were carried out for all responsible variables. Only one random factor (year) was included in the LMM for the treatments 5–8, which were only performed in Bingen. Following responsible variables were analyzed: efficacy on leaf and stem tissue, starch content and the tuber size distribution. Furthermore, the effect of treatment on the proportion of tubers with vascular discoloration and necrotized heel end was tested. Adding the measured values of soil moisture as further factor, did not lead to any further explanations for the responsible variables proportion of tubers with vascular discoloration and necrotized heel end. The factor irrigation scenario with two factor levels (“irrigated”, “non-irrigated”) was included as fix effect. The package *lmerTest* was used for LMM (Kuznetsova et al., 2017). After the LMM, Tukey’s honestly significant difference (HSD) post hoc test ( $\alpha \leq 0.05$ ) was conducted by using the package *emmeans* (Lenth, 2023). Due to the ordinal scaled scores for the severity of the vascular discoloration, the necrotized heel end and the scores for the peel hardness, a non-parametric Kruskal-Wallis test was applied. Subsequently, a Nemenyi post hoc test was conducted. For both tests, the *PMCMRPlus* package was used (Pohlert, 2022).

### Results

The efficacy of electrophysical desiccation was analysed for all three sites and years. Averaged over all years and sites,

the leaves of potatoes treated by electrophysical desiccation were more necrotized 14 days after treatment compared to the untreated control (Fig. 1). No significant differences were observed between the desiccation programs for the leaf tissue. However, a speed of 6 km h<sup>-1</sup> reduced the proportion of the necrotized stem tissue compared to 3 km h<sup>-1</sup>. No resprouting was observed in the trials.

In addition to the electrophysical treatments performed at all trial sites, efficacy of chemical desiccation, of additional N treatment and of irrigation were tested in Bingen only. No significant differences in necrotized tissue were found between different N-levels and irrigation scenarios at a speed of 3 km h<sup>-1</sup> (Fig. 2). Furthermore, the combination of two chemical desiccants or chemical and electrophysical desiccation did not show a significant increase in necrotized tissue.

No differences in tuber yield were ascertained between all treatments (data not shown). The average total tuber yield was approximately 39 t ha<sup>-1</sup> and the marketable tuber yield approximately 35 t ha<sup>-1</sup>.

The peel strength was analysed for all three sites and years. The score for peel strength was significantly higher for the untreated control compared to desiccated treatments (Table 8). For the first assessment 7 days after desiccation, electrophysical desiccation had higher scores compared to the chemical desiccation program. Fourteen days after the desiccation, the scores of all treatments were similar.

The internal quality was assessed for all sites and treatments. Highest proportion of tubers with necrosis was assessed after treatment with 3 km h<sup>-1</sup> driving speed. In general, electrophysical desiccation led to higher proportions of tubers with necrotized heel end (Fig. 3). Fourteen days after desiccation, no significant difference between all treatments was shown for the proportion of tubers with vascular discoloration.

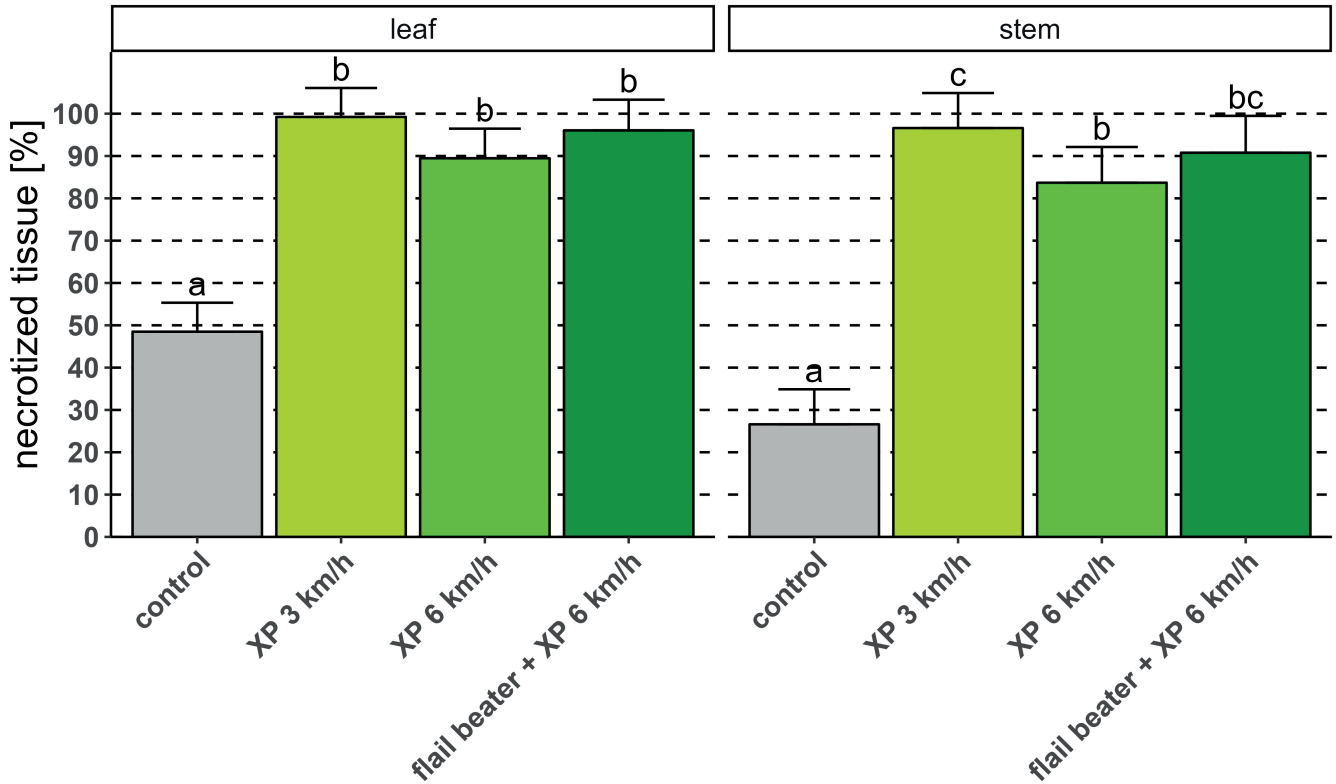


Fig. 1. Necrotized tissue [%] of leaf (left) and stem (right) 14 days after desiccation of potatoes, for all three trial years and sites (Bingen, Frankenthal and Mutterstadt), different letters indicate significant differences between desiccation program,  $p \leq 0.05$ , Tukey HSD test

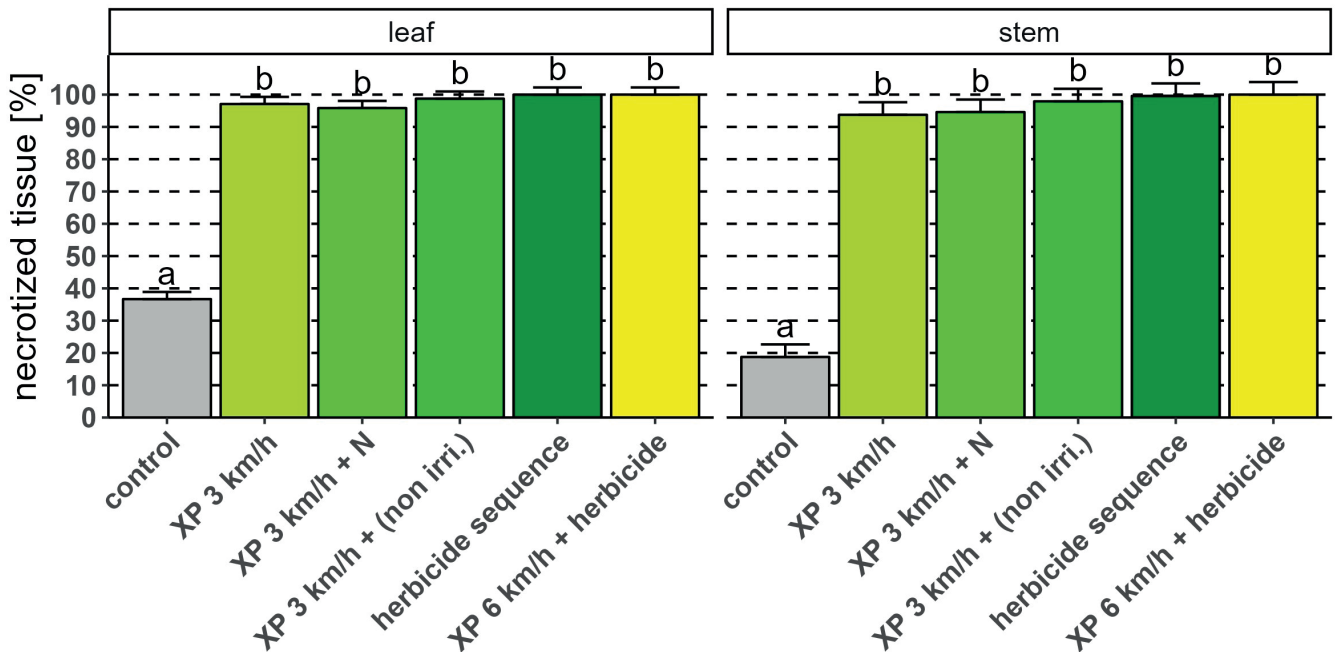


Fig. 2. Necrotized tissue [%] of leaf (left) and stem (right) 14 days after desiccation of potatoes, for all three trial years at the site Bingen (+N: additional 50 kg N ha<sup>-1</sup>, non-irri.: non irrigated before desiccation, herbicide sequence: 0.8 L ha<sup>-1</sup> Quickdown<sup>®</sup> + 2.0 l ha<sup>-1</sup> Toil<sup>®</sup> +: 1.0 L ha<sup>-1</sup> Shark<sup>®</sup>, in combination with electrophysical treatment only 1.0 L ha<sup>-1</sup> Shark<sup>®</sup>), different letters indicate significant differences between desiccation treatment,  $p \leq 0.05$ , Tukey HSD test

In Bingen, irrigation before desiccation significantly reduced the proportion of tubers with necrotized heel ends, but not the degree of vascular discoloration (Fig. 4).

The scores of necrotized heel end differ significantly between the treatments 7 and 14 days after desiccation, with lowest scores in the control group (Table 9). The vascular discolor-

Table 8. Score of peel strength 7 and 14 days after desiccation (DAD) of potatoes for treatments conducted at all sites (All) and treatments only conducted at Bingen (Bingen), different letters indicate significant differences between desiccation program,  $p \leq 0.05$ , Nemenyi test)

DAD	Site(s)	Desiccation program	Averaged score	S.E.	Significance level
7	All	Control	3.0	0.7	B
		3 km h <sup>-1</sup> XPower	2.2	0.7	A
		6 km h <sup>-1</sup> XPower	2.0	0.7	A
		Flail beater + 6 km h <sup>-1</sup> XPower	2.0	0.7	A
7	Bingen	Control	4.2	0.7	b
		3 km h <sup>-1</sup> XPower	3.5	0.7	ab
		3 km h <sup>-1</sup> XPower + N	3.7	0.7	ab
		3 km h <sup>-1</sup> XPower (non irri.)	3.6	0.7	ab
		6 km h <sup>-1</sup> XPower + chemical <sup>b</sup>	2.9	0.7	a
		chemical <sup>a</sup> + chemical <sup>b</sup>	2.9	0.7	a
14	All	Control	2.3	0.3	B
		3 km h <sup>-1</sup> XPower	1.3	0.3	A
		6 km h <sup>-1</sup> XPower	1.5	0.3	A
		Flail beater + 6 km h <sup>-1</sup> XPower	1.4	0.4	A
14	Bingen	Control	2.6	0.4	a
		3 km h <sup>-1</sup> XPower	1.7	0.4	a
		3 km h <sup>-1</sup> XPower + N	1.6	0.4	a
		3 km h <sup>-1</sup> XPower (non irri.)	1.7	0.4	a
		6 km h <sup>-1</sup> XPower + chemical <sup>b</sup>	1.6	0.4	a
		chemical <sup>a</sup> + chemical <sup>b</sup>	1.5	0.4	a

<sup>a</sup>0.8 L ha<sup>-1</sup> Quickdown<sup>®</sup> + 2.0 L ha<sup>-1</sup> Toil<sup>®</sup>

<sup>b</sup>1.0 L ha<sup>-1</sup> Shark<sup>®</sup>

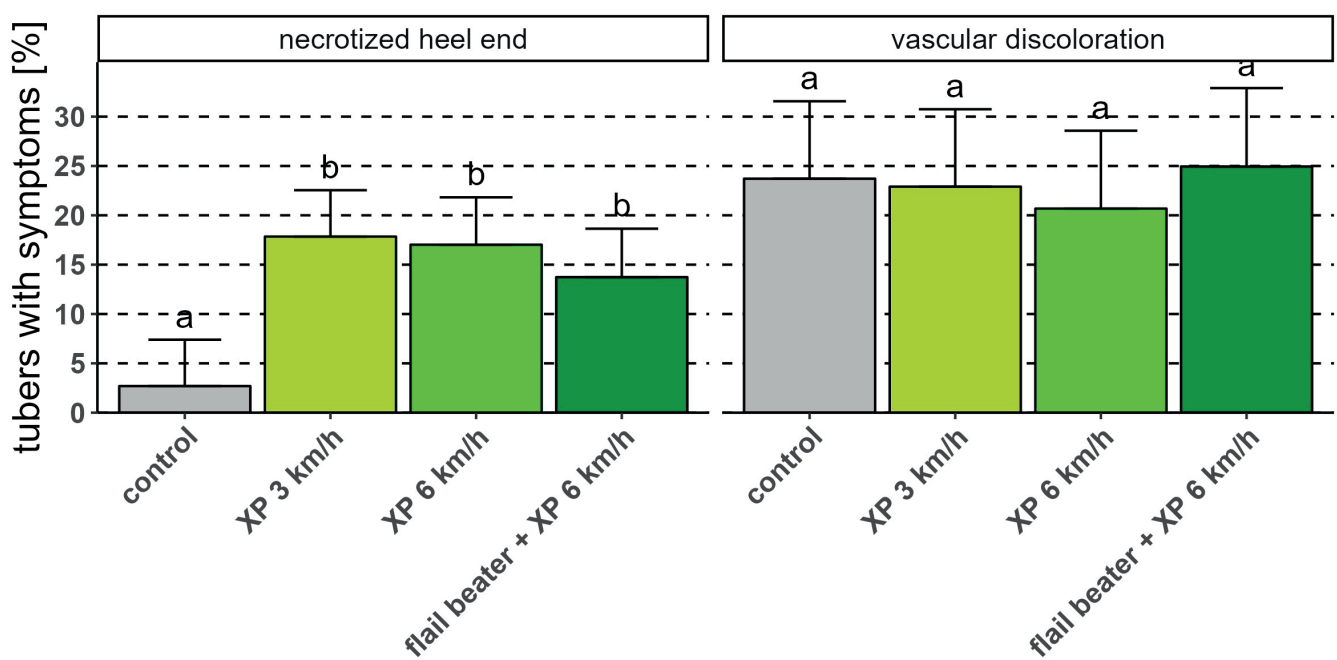


Fig. 3. Potato tubers with necrotized heel end or vascular discoloration [%] 14 days after desiccation, for all three trial years and sites (Bingen, Frankenthal and Mutterstadt), different letters indicate significant differences between desiccation programs,  $p \leq 0.05$ , Tukey HSD test

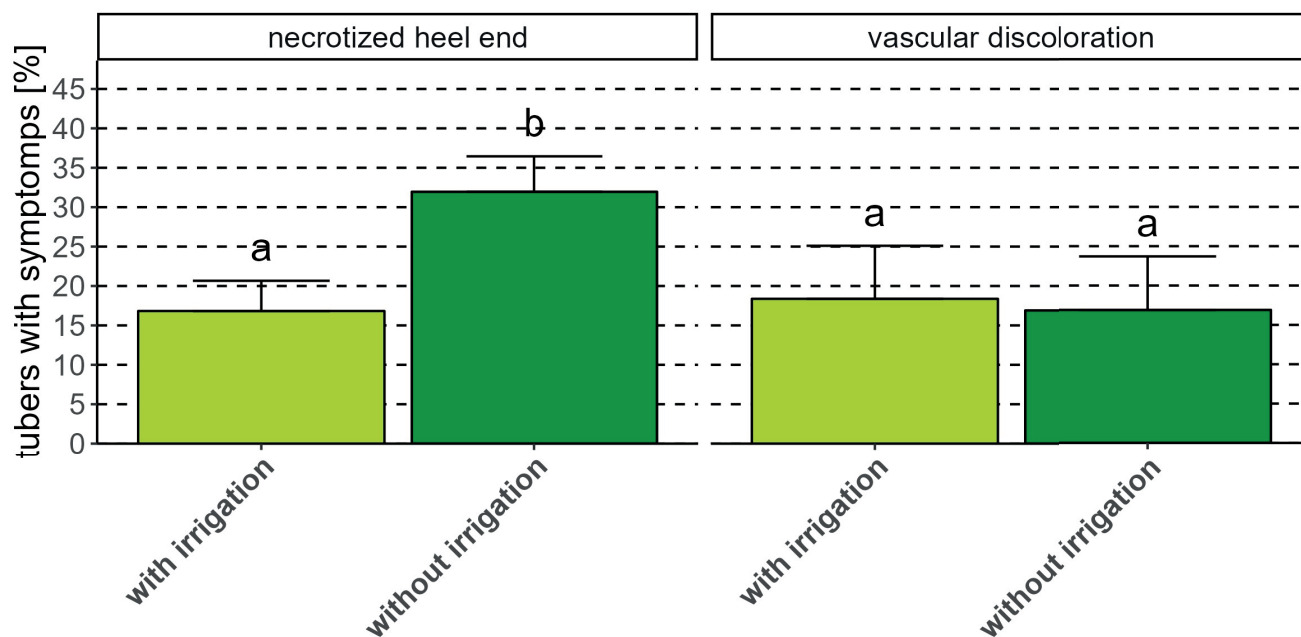


Fig. 4. Potato tubers with necrotized heel end or vascular discoloration [%] 14 days after desiccation, for all three trial years at the site Bingen, different letters indicate significant differences between irrigation scenario,  $p \leq 0.05$ , Tukey HSD test

Table 9. Scores for necrotized heel end and vascular discoloration of the potato tubers 7 and 14 days after desiccation (DAD) on different sites, different letters indicate significant differences between desiccation program,  $p \leq 0.05$ , Nemenyi test

DAD	Site(s)	Desiccation program	Necrotized heel end			Vascular discoloration		
			Averaged score	S.E.	Significance level	Averaged score	S.E.	Significance level
7	All	Control	1.0	0.1	A	1.4	0.2	A
		3 km h <sup>-1</sup> XPower	1.3	0.1	B	1.4	0.2	A
		6 km h <sup>-1</sup> XPower	1.1	0.1	AB	1.4	0.2	A
		Flail beater + 6 km h <sup>-1</sup> XPower	1.2	0.1	AB	1.4	0.2	A
7	Bingen	Control	1.0	0.1	a	1.1	0.1	a
		3 km h <sup>-1</sup> XPower	1.1	0.1	a	1.1	0.1	a
		3 km h <sup>-1</sup> XPower + N	1.1	0.1	a	1.1	0.1	a
		3 km h <sup>-1</sup> XPower (non irri.)	1.3	0.1	b	1.2	0.1	b
		6 km h <sup>-1</sup> XPower + chemical <sup>b</sup>	1.2	0.1	ab	1.2	0.1	ab
		chemical <sup>a</sup> + chemical <sup>b</sup>	1.1	0.1	a	1.1	0.1	a
14	All	Control	1.0	0.1	A	1.4	0.1	A
		3 km h <sup>-1</sup> XPower	1.3	0.1	B	1.4	0.1	A
		6 km h <sup>-1</sup> XPower	1.4	0.1	B	1.3	0.1	A
		Flail beater + 6 km h <sup>-1</sup> XPower	1.2	0.1	B	1.4	0.1	A
14	Bingen	Control	1.1	0.1	a	1.4	0.2	a
		3 km h <sup>-1</sup> XPower	1.5	0.1	ab	1.4	0.2	c
		3 km h <sup>-1</sup> XPower + N	1.5	0.1	ab	1.4	0.2	bc
		3 km h <sup>-1</sup> XPower (non irri.)	1.7	0.1	b	1.4	0.2	c
		6 km h <sup>-1</sup> XPower + chemical <sup>b</sup>	1.6	0.1	b	1.4	0.2	c
		chemical <sup>a</sup> + chemical <sup>b</sup>	1.2	0.1	a	1.4	0.2	ab

<sup>a</sup>0.8 L ha<sup>-1</sup> Quickdown<sup>®</sup> + 2.0 L ha<sup>-1</sup> Toil<sup>®</sup>.

<sup>b</sup>1.0 L ha<sup>-1</sup> Shark<sup>®</sup>



ation scores did not differ significantly between the treatments.

Tubers of non-desiccated plants had the highest starch content in both assessments (Fig. 5). A speed of 6 km h<sup>-1</sup> during the electrophysical application led to a significant higher starch content compared to 3 km h<sup>-1</sup>.

## Discussion

The aim of the presented study was to evaluate the use of the electrophysical Electroherb™ technology with the XPower device in desiccation of early potato.

The presented study showed that the haulm of early potatoes can be sufficiently desiccated by the Electroherb™ technology with the XPower device system (hypothesis 1). Furthermore, the efficacy of this electrophysical desiccation was comparable to the efficacy of chemical desiccation (hypothesis 2).

However, higher stability in efficacy was observed at a driving speed of 3 km h<sup>-1</sup> during the electrophysical application compared to a driving speed of 6 km h<sup>-1</sup>. This can be attributed to longer contact duration between haulm and electrodes at the lower driving speed. Electrophysical applications at 6 km h<sup>-1</sup> led to a higher starch content in the tubers compared to the chemical desiccation or electrophysical desiccation at 3 km h<sup>-1</sup>. This indicates a delayed dieback process of the green potato material due to less electrode contact of the plants. The higher desiccation intensity in response to slower speed was not required in all situations. Four factors are relevant to determine the driving speed and thus the intensity of this electrophysical desiccation: (1) Timing of the desiccation and the associated maturity of the haulm plays a crucial role for the intensity needed for each desiccation method (Halderson et al., 1985). Higher speed is possible for haulm with incipi-

ent maturity. In line with this, 6 km h<sup>-1</sup> driving speed was sufficient for successful desiccation at Bingen in 2020. In the following year, the delayed maturity of the plants exacerbated the desiccation. (2) In addition to haulm maturity, above-ground biomass, determined by potato variety genetics and environmental conditions, also influenced the efficacy of each treatment. Varieties with dense leaf canopy and good growth conditions require a more energy-intensive desiccation treatment than varieties growing less or grow under unfavorable conditions. In this study, only three varieties were grown. However, we assume that varieties that require higher intensity in chemical desiccation also require higher intensity in electrophysical desiccation. (3) Environmental conditions must be suitable for desiccation. Technologies like Electroherb™ target the vascular system of the plant and serve to initiate the wilting process. In 2021, precipitation before and after the desiccation treatments led to a delayed dieback of the potato plants. Due to higher humidity on haulm surface, the efficacy appears to be lowered. The reduced concentration of the electric energy in the targeted tissue could explain the delayed dieback process. (4) If electrophysical treatments are embedded in desiccation sequences with chemical or mechanical treatments, a driving speed of 6 km h<sup>-1</sup> led to comparable results compared to the single treatment with 3 km h<sup>-1</sup> (Fig. 3). However, a desiccation sequence consisting of e.g. flail beater with subsequent electrophysical treatment seems to be an extremely energy-intensive alternative compared to the application of chemical desiccants.

Our third hypothesis postulated that higher N-fertilization reduced the efficacy of electrophysical desiccation. The driving speed of 3 km h<sup>-1</sup> seems to be appropriate for potato desiccation over a wide range of different conditions, such as the N-level or biomass, which must be desiccated (Fig. 2). Despite a partly delayed maturity at higher N-levels, no differences in

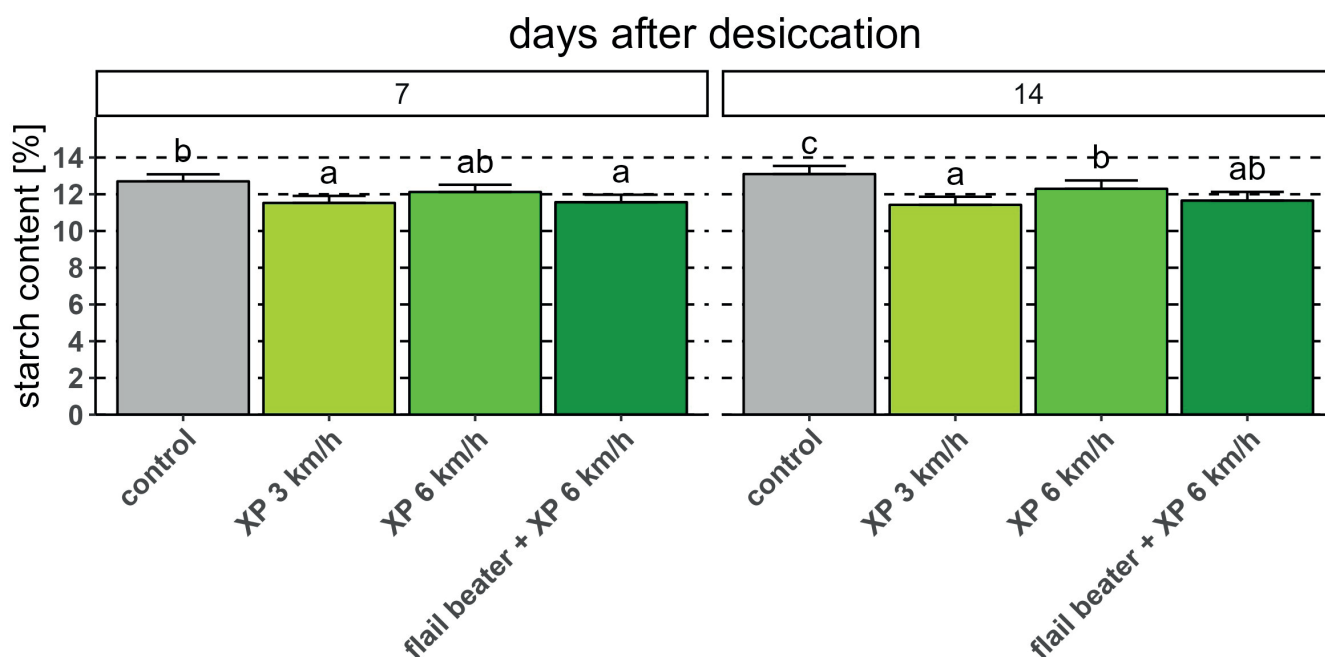


Fig. 5. Starch content [%] of potato tubers 7 and 14 days after desiccation at all sites (Bingen, Frankenthal and Mutterstadt), different letters indicate significant differences between desiccation programs,  $p \leq 0.05$ , Tukey HSD test

efficacy were observed after 14 days. Consequently, the third hypothesis can be rejected. Nevertheless, a speed of 3 km h<sup>-1</sup> and a working width of 3 m results in a theoretical area performance of less than 1 ha h<sup>-1</sup>. Such a low area performance compared to the chemical desiccation leads to higher procedural costs.

The fourth hypothesis states that, desiccation on dry soil increases the internal potato tuber quality. The proportion of tubers with necrotized heel ends increased after electrophysical treatment, especially under dry soil conditions (Fig. 4). Therefore, the fourth hypothesis that the internal quality is not affected by the electrophysical system needs to be rejected. In general, under dry soil conditions, higher damage to plants is reported by electricity, although “dry” conditions are not precisely defined (Bauer et al., 2020). The fact that both, the severity and frequency of necrotized heel ends decreased with irrigation, indicates a lower level of the electricity in the tubers. However, the measured soil moisture content in the 0–12 cm soil layer showed only marginal differences between both irrigation scenarios (0 and 10 L m<sup>-2</sup>, Table 5). The humidification of the uppermost layer is already sufficient to deconcentrate the electricity near the potato tubers.

Nevertheless, irrigation prior to electrophysical desiccation can be problematic. Due to the high weight of the applicator used (approx. 1,500 kg) and the generator used (approx. 800 kg) in combination with a tractor with narrow tires (necessary for ridge distance of 75 cm), irrigation should be reduced to a minimum to avoid soil structure problems. Despite the significant differences between treatments in the rating of necrotized heel ends, the electrophysical treatment rating of 1.4 was also at a level where marketing is not affected. Therefore, supplementary irrigation before application should only be considered in dry soil conditions. Unfortunately, no appropriate range of soil moisture content can be provided in the present study.

Reed (2009) concluded, if a suitable and reliable herbicide is available, it will always be preferred to the electrical control methods from a cost and effectiveness point of view. Nevertheless, the desire of the society for reduced chemical plant protection and the resulting political decisions require non-chemical alternatives. Electrophysical systems provide a residue-free approach, which can be used in herbicide-free farming. In the present study, we showed the suitability of this technology for the desiccation of early potatoes.

## Conflicts of interest

The authors declare that they do not have any conflicts of interest.

## Acknowledgements

This study was funded by the EU within the framework of the European Innovation Partnership (EIP-AGRI) and the Rural Development Programme of Rhineland-Palatinate 2014–2020 (EPLR EULLE) for three years. The authors would like to thank Hartmut Magin and Markus Frank for providing the fields in

Frankenthal and Mutterstadt. We also thank Manfred Mohr for his advisory support.

## References

- Ahrens, S., 2022:** Anbaufläche von Kartoffeln in Deutschland nach Bundesländern in den Jahren 2020 bis 2022, Accessed on: 13. April 2023, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/191467/umfrage/anbauflaeche-fuer-kartoffeln-nach-bundesland/>.
- 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** (4), 241–250, DOI: 10.1111/wre.12418.
- Boydston, R.A., D.A. Navarre, H.P. Collins, B. Chaves-Cordoba, 2018:** The Effect of Vine Kill Method on Vine Kill, Tuber Skinning Injury, Tuber Yield and Size Distribution, and Tuber Nutrients and Phytonutrients in Two Potato Cultivars Grown for Early Potato Production. *American Potato Journal* **95**, 54–70, DOI: 10.1007/s12230-017-9614-0.
- Commission implementing regulation (EU) 2018/1532, 2018:** Commission Implementing Regulation (EU) 2018/1532 of 12 October 2018 concerning the non-renewal of approval of the active substance diquat, in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market, and amending Commission Implementing Regulation (EU) No 540/2011. *Official Journal of the European Union* **61** (L 257), URL: [http://data.europa.eu/eli/reg\\_impl/2018/1532/oj](http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2018/1532/oj).
- 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, DOI: 10.1111/j.1365-3180.1985.tb00617.x.
- Fox, J., S. Weisberg, 2019:** *An R Companion to Applied Regression*. 3. Aufl. Thousand Oaks, CA, Sage.
- Halderson, J.L., L.C. Haderlie, D.L. Corsini, 1985:** Potato vine kill: Pulling, chemical killing and rolling effects on yield and quality of Russet Burbank. *American Potato Journal* **62** (6), 281–288, DOI: 10.1007/BF02854347.
- Headford, D.W.R., G. Douglas, 1967:** Tuber necrosis following the desiccation of potato foliage with diquat. *Weed Research* **7**, 131–144, DOI: 10.1111/j.1365-3180.1967.tb01361.x.
- Ivany, J.A., R.P. White, J.B. Sanderson, 1986:** Effect of applied fertilizer on Kennebec potato top desiccation and yield with diquat. *American Potato Journal* **63**, 545–552, DOI: 10.1007/BF03044054.
- Kempenaar, C., P.C. Struik, 2007:** The Canon of Potato Science: 33. Haulm Killing. *Potato Research* **50**, 341–345, DOI: 10.1007/s11540-008-9082-5.
- Koch, M., T. Tholen, P. Drießen, B. Ergas, 2020:** The Electroherb™ Technology – A new technique supporting modern weed management. In Nordmeyer, H., L. Ulber (eds) *29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkraut-*

*biologie und – bekämpfung*, Braunschweig, Deutschland, 2020/03/03-05, Julius-Kühn-Archiv **464**, 261–263, DOI: 10.5073/jka.2020.464.039.

**Kuznetsova, A., P.B. Brockhoff, R.H.P. Christensen, 2017:** lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software* **82**, 1–26, DOI: 10.18637/jss.v082.i13.

**Lenth, R.V., 2023:** emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means, Accessed on: 20. April 2023, URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/emmeans/index.html>.

**Lulai, E.C., P.H. Orr, 1993:** Determining the feasibility of measuring genotypic differences in skin-set. *American Potato Journal* **70**, 599–610, DOI: 10.1007/BF02850849.

**Lunden, A.P., 1956:** Studies on the relation between the specific gravity of potatoes and their content of dry matter and starch. *Research in Norwegian Agriculture* **7**, 81–107.

**Pohlert, T., 2022:** PMCMRplus: Calculate Pairwise multiple Comparisons of Mean Rank Sums Extended (Version R package version 1.9.6), Accessed on: 15. April 2023, URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/PMCMRplus/index.html>.

**R Core Team, 2023:** R: A Language and Environment for Statistical Computing (Version 4.2.1). Vienna, Austria.

**Reed, J., 2009:** Desk Study: Electrical weed control in Field Vegetables. Final Report, Great Britain. Accessed on: 20. June 2023. URL: <https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Research%20Papers/Horticulture/FV%20346%20final%20report%202009.pdf>.

**Timmons, F.L., 2005:** A history of weed control in the United States and Canada. *Weed Science* **53**, 748–761, DOI: 10.1614/0043-1745(2005)053[0748:AHOWCI]2.0.CO;2.

**UNECE, 2021:** FFV-52: Early and ware potatoes – 2021. Geneva, Switzerland, United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), 7 S.

**Waldmann, R., 2021:** Plant protection is more than the sum of its parts- A thesis paper. *Journal für Kulturpflanzen* **73**, 270–275, DOI: 10.5073/JfK.2021.07-08.11.

**Zotarelli, L., S. Sargent, P. Dittmar, M. Makani, 2016:** Potato vine killing or desiccation: HS925. EDIS. (1), DOI: 10.32473/edis-hs181-2003.

Ulrike Lexis

## Neues aus der Deutschen Genbank Obst (DGO)

### Die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

#### Affiliation

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Fachbereich 62 – Pflanzenschutzdienst, Sachbereich Obstbau, Köln-Auweiler.

#### Kontaktanschrift

Ulrike Lexis, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Fachbereich 62 – Pflanzenschutzdienst, Sachbereich Obstbau, Gartenstraße 11, 50765 Köln-Auweiler, E-Mail: Ulrike.Lexis@LWK.NRW.de

### Einleitung

Die Landwirtschaftskammer NRW ist eine landwirtschaftliche Selbstverwaltung für Betriebe aus NRW und zugleich, als Landesbeauftragter, eine Landesoberbehörde, die im Auftrag des Landes NRW hoheitliche Aufgaben übernimmt.

Sie ist mit vielen verschiedenen Abteilungen zuständig für über 34.000 Betriebe aus Gartenbau, Landwirtschaft und Forstwirtschaft. Über Ausbildung, Förderung und Beratung zu allen betrieblichen Fragen bis hin zum Versuchswesen wird ein breites Spektrum an Fachinformationen generiert und weitergegeben.

### Virusfreies Anbaumaterial

Im Sachbereich Pflanzenschutz im Obst- und Weinbau wurde im Jahr 1998 – mit Einführung der Anbaumaterialverordnung (AGOZV) – begonnen, virusfreies Ausgangsmaterial für den Erwerbsobstbau zu erzeugen und, gemeinsam mit dem Obstmuttergarten Rheinland (ORG GmbH, Meckenheim), den Anbaubetrieben zur Verfügung zu stellen.

Relevante Sorten wurden durch Wärmetherapie an der Universität Bonn virusfrei gemacht, beim Pflanzenschutzdienst nachgetestet und in einem insektensicheren „Saran-Gewächshaus“ erhalten.

Bereits im Jahr 1995 wurde unter Leitung der LWK NRW das Gremium „Koordinierungsausschuss Obstwiesenschutz

NRW“ geschaffen. Es setzt sich zusammen aus Naturschutz- und Fachverbänden (z. B. Biologische Stationen, NABU...), Baumschulverbänden, Obstwiesenvereinen, Pomologenverein und Fachbehörden. Wichtigstes Ziel ist dabei die Erhaltung und Förderung alter – und die Gründung neuer Obstwiesen. Auch die Sortenauswahl, die Eignung der Sorten für unterschiedliche Standorte, die Förderung lokaler Sorten und die Pflanzengesundheit stehen immer im Fokus. Der Ausschuss tagt zweimal jährlich.

Über die Jahre wurden in mehreren landesgeförderten Projekten durch die Projektpartner lokale Kernobstsorten ausgewählt, die erhalten werden sollen. Sie wurden vom Pomologenverein bestimmt und danach an der Uni Bonn einer Wärmetherapie zur Virusfreimachung unterzogen. Beim Pflanzenschutzdienst wurde durch Nachtstungen der Erfolg der Wärmetherapie überprüft und die Pflanzen anschließend im Saran-Gewächshaus erhalten. Die Pflanzen stehen virusfrei als Containerkultur unter insektensicheren Freilandbedingungen, um eine Reinfektion mit Viren zu verhindern.

Mit diesen gesammelten Sorten ist die Landwirtschaftskammer NRW 2019 zunächst dem Netzwerk Apfel der Deutschen Genbank Obst als Sammlunghaltender Partner beigetreten. In diesem Jahr (2023) erfolgte dann der Beitritt zum Netzwerk Birne.

### Erklärung zu Interessenskonflikten

Die Autorin erklärt, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.



(c) Die Autorin 2023

Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).



| Saran-Gewächshaus der Landwirtschaftskammer NRW



| Bestand im Saranhaus



| 'Parkers Pepping'

## Das Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz gibt bekannt:

### **Dieter von Hörsten**

#### **Affiliation**

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Braunschweig.

#### **Kontaktanschrift**

Dr. Dieter von Hörsten, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, E-Mail: dieter.von-hoersten@julius-kuehn.de

Als Mitglied wurde vom Präsidenten des Julius Kühn-Institutes in den Fachbeirat Geräte-Anerkennungsverfahren berufen:

### **Herr Marius Papp**

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg  
Außenstelle Stuttgart  
Kutschenweg 20  
76287 Rheinstetten-Forchheim

**Annual Review of Microbiology, Vol. 77, 2023. Eds.: Andrew L. Goodman, Susan Gottesman, Caroline S. Harwood, Palo Alto, Calif., USA, Annual Reviews, 698 S., ISBN 978-0-8243-1177-3, ISSN 0066-4227.**

Der vorliegende Band 77 beginnt mit einem Vorwort von Susan Gottesman.

Weitere Übersichtsartikel zu folgenden Themenbereichen der Microbiology schließen sich an:

Raising a Bacterium to the Rank of a Model System: The *Listeria* Paradigm (Pascale Cossart); Small RNAs, Large Networks: Posttranscriptional Regulons in Gram-Negative Bacteria (Kai Papenfort, Sahar Melamed); Transporter Proteins as Ecological Assets and Features of Microbial Eukaryotic Genomes (David S. Milner, Luis Javier Galindo, Nicholas A. T. Invin, Thomas A. Richards); TonB-Dependent Transport Across the Bacterial Outer Membrane (Augustinas Silale, Bert van den Berg); Understanding Fungi in Glacial and Hypersaline Environments (Cene Gostinčar, Nina Gunde-Cimerman); Targeting Aminoacyl tRNA Synthetases for Antimalarial Drug Development (Stanley C. Xie, Michael D. W. Griffen, Elizabeth A. Winzeler, Lluís Ribas de Pouplana, Leann Tilley); The ChvG-ChvI Regulatory Network: A Conserved Global Regulatory Circuit Among the Alphaproteobacteria with Pervasive Impacts on Host Interactions and Diverse Cellular Processes (Jennifer L. Greenwich, Brynn C. Heckel, Melene A. Alakavuklar, Clay Fuqua); The Microbiology of Biological Soil Crusts (Ferran Garcia-Pichel); Frameworks for Interpreting the Early Fossil Record of Eukaryotes (Susannah M. Porter, Leigh Anne Riedman); Habitat Transition in the Evolution of Bacteria and Archaea (Alexander L. Jaffe, Cindy J. Castelle, Jillian F. Banfield); The *phc* Quorum-Sensing System in *Ralstonia solanacearum* Species Complex (Kenji Kai); The Brucella Cell Envelope (Melene A. Alakavuklar, Aretha Fiebig, Sean Crosson); Epigenetic Regulation and Chromatin Remodeling in Malaria Parasites (Thomas Hollin, Zeinab Chahine, Karine G. Le Roch); Are Bacteria Leaky? Mechanisms of Metabolite Externalization in Bacterial Cross-Feeding (James B. McKinlay); Molecular Biology of Cytoplasmic Incompatibility Caused by *Wolbachia* Endosymbionts (Mark Hochstrasser); Versatility and Complexity: Common and Uncommon Facets of LysR-Type Transcriptional Regulators (Alyssa C. Baugh, Cory Momany, Ellen L. Neidle); The Dynamic Fungal Genome: Polyploidy, Aneuploidy and Copy Number Variation in Response to Stress (Pétra van de Zande, Xin Zhou, Anna Selmecki); Factors Affecting Variation of the Human Gut Phageome (Ciara A. Tobin, Colin Hill, Andrey N. Shkoporov); Microbiome Assembly in Fermented Foods (Nicolas L. Louw, Kasturi Lele, Ruby Ye, Collin B. Edwards, Benjamin E. Wolfe); Recent Advances in Understanding the Human Fungal Pathogen Hypoxia Response in Disease Progression (Charles Puerner, Sandeep Vellanki, Julianne L. Strauch, Robert A. Cramer); Toward Microbiome Engineering: Expanding the Repertoire of Genetically Tractable Members of the Human Gut Microbiome (James W. Marsh, Christian Kirk, Ruth E. Ley); Collab or Cancel? Bacterial Influencers of Inflammasome Signaling (Beatrice I. Herrmann, James P. Grayczyk, Igor E. Brodsky); Essential Amino Acid Metabolites as Chemical Mediators of Host-Microbe Interaction in the Gut

(Jessica R. McCann, John F. Rawls); The Origin of Metazoan Multicellularity: A Potential Microbial Black Swan Event (Iñaki Ruiz-Trillo, Koryu Kin, Elena Casacuberta); Electron Transfer Beyond the Outer Membrane: Putting Electrons to Rest (J.A. Gralnick, D.R. Bond); Unique Properties of Apicomplexan Mitochondria (Ian M. Lamb, Ijeoma C. Okoye, Michael W. Mather, Akhil B. Vaidya); Mechanisms of Virulence Reprogramming in Bacterial Pathogens (Jianuan Zhou, Hongmei Ma, Lianhui Zhang); *Candida auris* Genetics and Emergence (Anuradha Chowdhary, Kusum Jain, Neeraj Chauhan); Mobile Genetic Element Flexibility as an Underlying Principle to Bacterial Evolution (Alexandra J. Weisberg, Jeff H. Chang); Past, Present, and Future of Extracytoplasmic Function  $\sigma$  Factors: Distribution and Regulatory Diversity of the Third Pillar of Bacterial Signal Transduction (Thorsten Mascher); License to Clump: Secretory IgA Structure-Function Relationships Across Scales (Alyson Hockenberry, Emma Slack, Beth M. Stadtmueller); Structural Insights into Type III Secretion Systems of the Bacterial Flagellum and Injectisome (Liam J. Worrall, Dorothy D. Majewski, Natalie C.J. Strynadka).

Somit ist der Band 77 des Annual Review of Microbiology – wie die vorhergehenden – eine wertvolle Informationsquelle biochemischer Literatur. Außerdem sind die Abstracts der Artikel des Bandes 77 online unter <https://www.annualreviews.org/journal/micro> verfügbar.

Die Redaktion

**Annual Review of Phytopathology, Volume 61, 2023. Eds.: Jan E. LEACH, Steven E. LINDOW. Palo Alto, Calif., USA, Annual Reviews, 423 S., ISBN 978-0-8243-1361-6, ISSN 0066-4286.**

Der vorliegende Band 61 beginnt mit einem Artikel von Alexandra J. Weisberg, Yu Wu, Jeff H. Chang, Erh-Min Lai und Chih-Horng Kuo mit dem Titel „Virulence and Ecology of Agrobacteria in the Context of Evolutionary Genomics“.

Weitere Übersichtsartikel zu folgenden Themenbereichen der Biochemie schließen sich an:

*Ralstonia solanacearum*: An Arsenal of Virulence Strategies and Prospects for Resistance (Fabienne Vailleau, Stéphane Genin); ID Communication: Host Metabolites as Virulence-Regulating Signals for Plant-Pathogenic Bacteria (Jeffrey C. Anderson); International Trade and Local Effects of Viral and Bacterial Diseases in Ornamental Plants (John Hammond, Qi Huang, Ramon Jordan, Ellis Meekes, Adrian Fox, Ines Vazquez-Iglesias, Anna Maria Vaira, Andrea Copetta, Catia Delmiglio); Kitaviruses: A Window to Atypical Plant Viruses Causing Nonsystemic Diseases (Pedro Luis Ramos-González, Gabriella Dias Arena, Aline Daniele Tassi, Camila Chabi-Jesus, Elliot Watanabe Kitajima, Juliana Freitas-Astúa); The Past Is Present: Coevolution of Viruses and Host Resistance Within Geographic Centers of Plant Diversity (Karen-Beth G. Scholthof); Tomato Brown Rugose Fruit Virus Pandemic (Nida' M. Salem, Ahmad Jewehan, Miguel A. Aranda, Adrian Fox); Genome-Enabled Insights into Downy Mildew Biology and Evolution (Kyle Fletcher, Richard Michelmore); *Phytophthora capsici*: Recent Progress on Fundamental Biology and Disease Management 100 Years After Its Description (L.M.

Quesada-Ocampo, C.H. Parada-Rojas, Z. Hansen, G. Vogel, C. Smart, M.K. Hausheck, R.M. Carmo, E. Huitema, R.P. Naegele, C.S. Kousik, P. Tandy, K. Lamour); Integrated Nematode Management in a World in Transition: Constraints, Policy, Processes, and Technologies for the Future (Richard A. Sikora, Johannes Helder, Leendert P. G. Molendijk, Johan Desaegeer, Sebastian Eves-van den Akker, Anne-Katrin Mahlein); The Reemergence of Phycopathology: When Algal Biology Meets Ecology and Biosecurity (Pedro Murúa, Andrea Garvetto, Suhelen Egan, Claire M.M. Gachon); Engineering the Crop Microbiota Through Host Genetics (Carmen Escudero-Martinez, Davidt Bulgarelli); Induced Resistance in Fruit and Vegetables: A Host Physiological Response Limiting Postharvest Disease Development (Dov Prusky, Gianfranco Romanazzi); Functional Peptides for Plant Disease Control (Emilia Montesinos); Traffic Control: Subversion of Plant Membrane Trafficking by Pathogens (Enoch Lok Him Yuen, Samuel Shepherd, Tolga O. Bozkurt); The Plant Ubiquitin-Proteasome System as a Target for Microbial Manipulation (Gautier Langin, Manuel González-Fuente, Suayib Üstün); The Global Forest Health Crisis: A Public-Good Social Dilemma in Need of International Collective Action (Geoffrey M. Williams, Matthew D. Ginzler, Zhao Ma, Damian C. Adams, Faith Campbell, Gary M. Lovett, Maria Belen Pildain, Kenneth F. Raffa, Kamal J.K. Gandhi, Alberto Santini, Richard A. Snieszko, Michael J. Wingfield, Pierluigi Bonello); More Than the Sum of Its Parts: Unlocking the Power of Network Structure for Understanding Organization and Function in Microbiomes (J.P. Dundore-Arias, M. Michalska-Smith, M. Millican, L.L. Kinkel).

An online log of corrections to Annual Review of Biochemistry articles may be found at <http://www.annualreviews.org/errata/phyto>.

Somit ist der Band 61 des Annual Review of Phytopathology – wie die vorhergehenden – eine wertvolle Informationsquelle biochemischer Literatur. Außerdem sind die Abstracts der Artikel des Bandes 61 online unter <http://phyto.annualreviews.org> verfügbar.

Die Redaktion

### **Bundesnaturschutzrecht – Kommentar, Vorschriften und Entscheidungen**

Kommentar zum Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), Vorschriften und Entscheidungen. Prof. Dr. K. Messerschmidt, begründet von Dr. A. Bernatzky † und O. Böhm. Loseblattwerk in 6 Ordnern mit CD-Rom. Heidelberg, rehm, Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm, ISBN 978-3-8073-2393-0.

**165. Aktualisierung**, Stand: August 2023

*Die Highlights dieser Aktualisierung:*

- Ergänzungen zur Kommentierung § 3
- Aktualisierung der Kommentierungen §§ 14, 15, 16, 17 und 18 sowie des Vorspanns Vor §§ 13 – 19
- 8 neue Entscheidungen
- Änderungen UVPG, BWaldG, NatSchG

Das bringt Ihnen die 165. Aktualisierung:

Eine Loseblattsammlung ermöglicht, die Kommentierung regelmäßig auf den aktuellen Stand zu bringen. Das Aktualitätsversprechen entschädigt hoffentlich für die Mühen des Nachsortierens. Anlass zur Aktualisierung geben nicht nur Gesetzesänderungen, wie bei der letzten Lieferung, sondern auch Entwicklungen in der Rechtsprechung. Diese machten eine Prüfung und Überarbeitung der Kommentare zu §§ 3, 14, 15, 16, 17 und 18 sowie des Vorspanns Vor §§ 13-19 erforderlich. Die Ergänzungen zu § 3 reflektieren insbesondere die wachsende Bedeutung der allgemeinen Aufgaben- und Befugnisnorm in dessen Absatz 2. Bei den übrigen Kommentierungen konnten frühere Streitfragen aufgrund neuester Rechtsprechung, z. T. des BVerwG, geklärt werden.

Beim Seitenaustausch wurden Literaturnachweise Neuauflagen angepasst. Da dies jedoch für sich genommen nicht den Austausch der übrigen Seiten rechtfertigt, sollten die Benutzer darauf achten, welchen Bearbeitungsstand das jeweilige Blatt ausweist.

Wegen des Umfangs der Neuerungen mussten weitere Aktualisierungen zurückgestellt werden. Aktualisierungen zu Vor §§ 20-36, §§ 22, 23, 63 und 64 folgen mit der nächsten Nachlieferung.

Außerdem wird die Gesetzessammlung aktualisiert und 8 neue Entscheidungen aufgenommen.

Die Redaktion

### **Bundesnaturschutzrecht – Kommentar, Vorschriften und Entscheidungen**

Kommentar zum Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), Vorschriften und Entscheidungen. Prof. Dr. K. Messerschmidt, begründet von Dr. A. Bernatzky † und O. Böhm. Loseblattwerk in 6 Ordnern mit CD-Rom. Heidelberg, rehm, Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm, ISBN 978-3-8073-2393-0.

**166. Aktualisierung**, Stand: Oktober 2023

*Die Highlights dieser Aktualisierung:*

- Aktualisierung der Kommentierungen §§ 22 und 23 sowie die Vorspanne Vor §§ 20 – 36 und Vor §§ 63, 64
- 6 neue Entscheidungen

Änderungen WHG

Das bringt Ihnen die 166. Aktualisierung:

Im Kommentarteil werden die Kommentare zu §§ 22 und 23 sowie die Vorspanne Vor §§ 20-36 und Vor §§ 63, 64 aktualisiert.

Außerdem wird das Wasserhaushaltsgesetz aktualisiert und 6 neue Entscheidungen aufgenommen.

Die Redaktion



## November/November

28.11. – 01.12.2023 | Hobart, Australien

**ASPS 2023**

**Australian Society of Plant Scientists**

<http://www.asps.org.au/conferences/asps-2023>

## Dezember/December

04. – 05.12.2023 | Fulda

**Resistenztagung 2023**

**Krankheitsbekämpfung und Resistenzzüchtung in Getreide, Hülsenfrüchten und Raps**

<https://plant-protection.net/de/resistenztagung>

## 2024

### Januar/January

29. – 30.01.2024 | Braunschweig

**DPG - Treffen Arbeitskreise**

**AK Krankheiten in Getreide & Mais**

**Umgang mit Krankheiten in Getreide und Mais**

<https://phytomedizin.org/de/arbeitskreise/getreidekrankheiten>

Kontakt: Bernd Rodemann, Rügen Gödecke

E-Mail: [Bernd.Rodemann@julius-kuehn.de](mailto:Bernd.Rodemann@julius-kuehn.de); [Ruben.Goedecke@rpgi.hessen.de](mailto:Ruben.Goedecke@rpgi.hessen.de)

29. – 30.01.2024 | Braunschweig

**37. Tagung des DPG-Arbeitskreises Krankheiten in Getreide und Mais**

<https://www.julius-kuehn.de/veranstaltungen/veranstaltung/news/37-tagung-des-dpg-arbeitskreises-krankheiten-in-getreide-und-mais/>

Kontakt: Bernd Rodemann

E-Mail: [bernd.rodemann@julius-kuehn.de](mailto:bernd.rodemann@julius-kuehn.de)

30.01.2024 | Braunschweig

**18. Treffen des Fachausschusses Pflanzenschutzmittelresistenz – Fungizide**

<https://www.julius-kuehn.de/veranstaltungen/veranstaltung/news/18-treffen-des-fachausschusses-pflanzenschutzmittelresistenz-fungizide/>

Kontakt: Bernd Rodemann

E-Mail: [bernd.rodemann@julius-kuehn.de](mailto:bernd.rodemann@julius-kuehn.de)

### Februar/February

20. – 21.02.2024 | Leipzig

**DLG-Wintertagung 2024**

<https://www.dlg-wintertagung.de/>

27. – 28.02.2024 | Braunschweig

**31. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung**

<https://www.unkrauttagung.de/>

Veranstalter: DPG, JKI, TU

E-Mail: [unkrauttagung@julius-kuehn.de](mailto:unkrauttagung@julius-kuehn.de)

## März/March

05. – 06.03.2024

**AK Kartoffel**

**DPG - Treffen Arbeitskreise**

**Aktuelle Trends des Pflanzenschutzes im Kartoffelanbau**

<https://phytomedizin.org/de/arbeitskreise/kartoffel>

Kontakt: Luitpold Scheid, Jörn Lehmhus

E-Mail: [Luitpold.Scheid@lfl.bayern.de](mailto:Luitpold.Scheid@lfl.bayern.de); [joern.lehmhus@julius-kuehn.de](mailto:joern.lehmhus@julius-kuehn.de)

07. – 08.03.2024 | Bonn

**AK Mykologie**

**DPG - Treffen Arbeitskreise**

**Aktuelle Themen der angewandten Mykologie**

<https://phytomedizin.org/de/arbeitskreise/mykologie>

Kontakt: Marco Thines, Monika Heupel

E-Mail: [marco.thines@senckenberg.de](mailto:marco.thines@senckenberg.de); [monika.heupel@lwk.nrw.de](mailto:monika.heupel@lwk.nrw.de)

07. – 08.03.2024 | Bonn

**AK Mykologie**

**DPG - Treffen Arbeitskreise**

**Aktuelle Themen der angewandten Mykologie**

<https://phytomedizin.org/de/arbeitskreise/wirt-parasit-beziehungen>

Kontakt: Gunther Döhlemann, Ulrich Schaffrath

E-Mail: [g.doehlemann@uni-koeln.de](mailto:g.doehlemann@uni-koeln.de); [schaffrath@bio3.rwth-aachen.de](mailto:schaffrath@bio3.rwth-aachen.de)

13. – 14.03.2024 | Jena

**AK Nematologie**

**DPG - Treffen Arbeitskreise**

**Aktuelle Themen der angewandten Nematologie**

<https://phytomedizin.org/de/arbeitskreise/nematologie>

Kontakt: Matthias Daub, Jan-Hendrik Schmidt

E-Mail: [matthias.daub@julius-kuehn.de](mailto:matthias.daub@julius-kuehn.de); [jan-henrik.schmidt@julius-kuehn.de](mailto:jan-henrik.schmidt@julius-kuehn.de)

## Mai/May

18.05.2024

**Fascination of Plants Day 2024**

<https://epsoweb.org/all-events/fascination-of-plants-day-2024/>

19. – 21.05.2024 | Geisenheim

**GPZ-Haupttagung 2024/ German Plant Breeding Conference 2024: "Accelerating Crop Genetic Gain"**

<https://www.gpz-breeding-conference-2024.de/>

Kontakt: Kai Voss-Fels, Hanka Jentsch

E-Mail: [kai.voss-fels@hs-gm.de](mailto:kai.voss-fels@hs-gm.de); [geschaeftsstelle@gpz-online.de](mailto:geschaeftsstelle@gpz-online.de)

## Juni/June

04. – 05.06.2024 | Braunschweig

**Unkräuter auf Wegen, Plätzen und Gleisen – Was gibt es Neues?**

<https://www.julius-kuehn.de/veranstaltungen>

Veranstalter: Julius Kühn-Institut

Kontakt: Arnd Verschwele

E-Mail: [arnd.verschwele@julius-kuehn.de](mailto:arnd.verschwele@julius-kuehn.de)

## 316 | Termine und Veranstaltungen

11. – 13.06.2024 | Gut Brockhof in Erwitte/Lippstadt

---

**DLG Feldtage**

**Pflanzenbau out of the Box**

<https://www.dlg-feldtage.de/de/>

E-Mail: [feldtage@dlg.org](mailto:feldtage@dlg.org)

### September/September

27. – 29.09.2024 | Braunschweig

---

**Unkrauttagung 31. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung**

<https://www.unkrauttagung.de>

E-Mail: [unkrauttagung@julius-kuehn.de](mailto:unkrauttagung@julius-kuehn.de)

### November/November

12. – 15.11.2024 | Hannover

---

**EuroTier und EnergyDecentral: Richtungsweisende Innovationen ermöglichen Transformation bei Tierhaltung und Energie**

<https://www.eurotier.com/de/>

<https://www.energy-decentral.com/de/>

### Dezember/December

09. – 10.12.2024 | Fulda

---

**Resistenztagung der AG 7: „Fortschritte in der Krankheitsbekämpfung und Resistenzzüchtung“**

<https://gpz-online.de/events/resistenztagung-der-ag-7-fortschritte-in-der-krankheitsbekaempfung-und-resistenzuechtung/>

Kontakt: T. Miedaner

E-Mail: [geschaeftsstelle@gpz-online.de](mailto:geschaeftsstelle@gpz-online.de)

# Aus dem JKI Newsletter

Interessiert? Den aktuellen Newsletter finden Sie hier:

<https://www.julius-kuehn.de/newsletter-des-jki/>

Um weiter auf dem Laufenden zu bleiben, können Sie dort auch den Newsletter direkt abonnieren.

## Aus der Forschung Projektstarts



### RoNNi macht's möglich – Rohrkolbenanbau in wiedervernässten

Das auf neun Jahre (2023-2032) angelegte Projekt „RoNNi“ (Nachhaltige Verwertung von Rohrkolben auf Niedermoorstandorten in Niedersachsen) zielt auf die Landwirtschaft entwässerte Niedermoorflächen klimaschonend wieder an. Dazu werden die Flächen in den Landkreisen Emsland und Cuxhaven bewirtschaftet, dass der Moorboden erhalten bleibt. Die geerntete Rohrkolben (*Scirpus angustifolia* und *Typha latifolia*) sollen als Baustoff und zur Herstellung von Biogas genutzt werden.

[Link zur Meldung](#)



### Henrik Hartmann gehört 2023 erneut zu den weltweit meist

Dr. Henrik Hartmann, Waldschutz-Institutsleiter und Forstwissenschaftler, ist zum zweiten Jahr in Folge zu den 6.849 Highly Cited Researchers der Firma Clarivate zu gehören. Er residiert in der Kategorie „Cross Field“ unter den 3.332 Forschenden. Seine Publikationen weltweit beeinflussen die fachübergreifende Forschung. Bis zum Jahr 2023 sind die Grundlage seiner Auszeichnung.

[Link zur Meldung](#)

## Im Gespräch



mit Dr. Ulrike Stahl zum Forschungsdatenmanagement

[Link zum Interview](#)

## Aus der Forschung Publikationen

### Regionale Unterschiede in Ertragseffekten von Klimastress

Klimabedingte Wetterextreme beeinträchtigen zunehmend die Erträge in Deutschland. Über die spezifischen Witterungs-Ertrags-Zusammenhänge und Trockenstress verursachten Ertragsverluste ist jedoch nur wenig bekannt. JKI haben gemeinsam mit Partnern Wetter-, Phänologie- und Ertragsdaten von 2019 untersucht und damit die Ertragsverluste durch abiotischen Klimastress in verschiedenen Bodenklimaräumen und Gemeinden in Deutschland quantifiziert. Die statistischen Zusammenhänge vom Schossen bis zum Ährenschleichen unter Trockenstress und während der reproduktiven Phase unter mäßigem Ertragsverlusten traten unter mäßigem und extremem Hitzestress in der Phase auf. Hitze- und Trockenstress verursachten die höchsten Ertragsverluste in Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Nordbayern, während ähnliche Verluste durch Trockenstressintensitäten in anderen Regionen zu deutlich geringeren Ertragsverlusten führten.

Plos One, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241111>

### Weiterer Resistenzmechanismus gegen Feuerbrand in *Malus xrobusta*

5 (Mr5) ist der Modellgenotyp für Feuerbrandresistenz in *Malus xrobusta*, denn er ist gegenüber dem bakteriellen Erreger *Erwinia amylovora* resistent oder anfällig. In Mr5 wurden auch der Genort mit der Resistenz gegenüber Feuerbrand in *Malus* auf Chromosom 3 und das zugrundeliegende Gen identifiziert. Dieser QTL wird von einem Stamm des Erregers überliefert, der Serin (S-Allel) anstelle von Cystein (C-Allel) im Effektorprotein a

# Journal für Kulturpflanzen

## Journal of Cultivated Plants

---

**Inhalt: Band 75 (11-12). S. 277–316, 2023, ISSN 1867-0911**

---

### Übersichtsarbeiten

**Kathrin Grobbauer, Anke Dietzsch, Robert Brodschneider**

Landschaft bestäuberfreundlich gedacht – Wie landwirtschaftliche Flächen für Bienen (Apiformes) lebenswerter werden

Landscape thought pollinator friendly – how agricultural areas become livable environments for bees (Apiformes)

\_\_\_\_\_ 277

---

### Originalarbeiten

**Benjamin Klauk, Maria Rosenhauer, Jan Petersen**

Experiences with electrophysical desiccation in early potatoes from Rhineland-Palatinate

Erfahrungen in der elektrophysikalischen Sikkation von Frühkartoffeln in Rheinland-Pfalz

\_\_\_\_\_ 299

---

### Nachrichten

**Ulrike Lexis**

Neues aus der Deutschen Genbank Obst (DGO): Die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

\_\_\_\_\_ 310

---

### Personalien

**Dieter von Hörsten**

Das Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz gibt bekannt:

\_\_\_\_\_ 312

---

### Literatur

\_\_\_\_\_ 313

---

### Termine und Veranstaltungen

\_\_\_\_\_ 315

#### Unser Titelbild:

XPower®-System von der Firma Zasso® bestehend aus einem Applikator (Front des Traktors) und einer Generatoreinheit (Heck des Traktors) beim Einsatz in Frühkartoffeln in der Pfalz (bei Frankenthal). Foto: Benjamin Klauk, Technische Hochschule Bingen. Lizenziert unter CC-BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).