

Kathrin Grobbauer¹, Anke Dietzsch², Robert Brodschneider¹

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

¹Universität Graz, Institut für Biologie, Graz, Österreich.

²Julius 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.

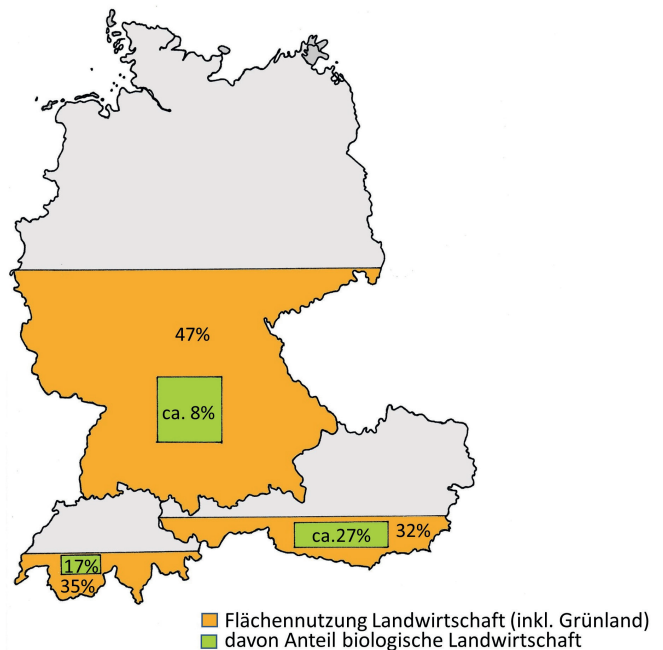


Abb. 1. Anbauflächen in Millionen Hektar in Österreich, Deutschland und der Schweiz, nach konventioneller und biologischer Anbaufläche. Datenquellen: Österreich: BMLRT (2021); Deutschland: BMLRT (2021), Die Bundesregierung (2021); Schweiz: BFS (2021, 2022).

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 Pollenspende 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 Trachtfleißband, 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 Saatkichte 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

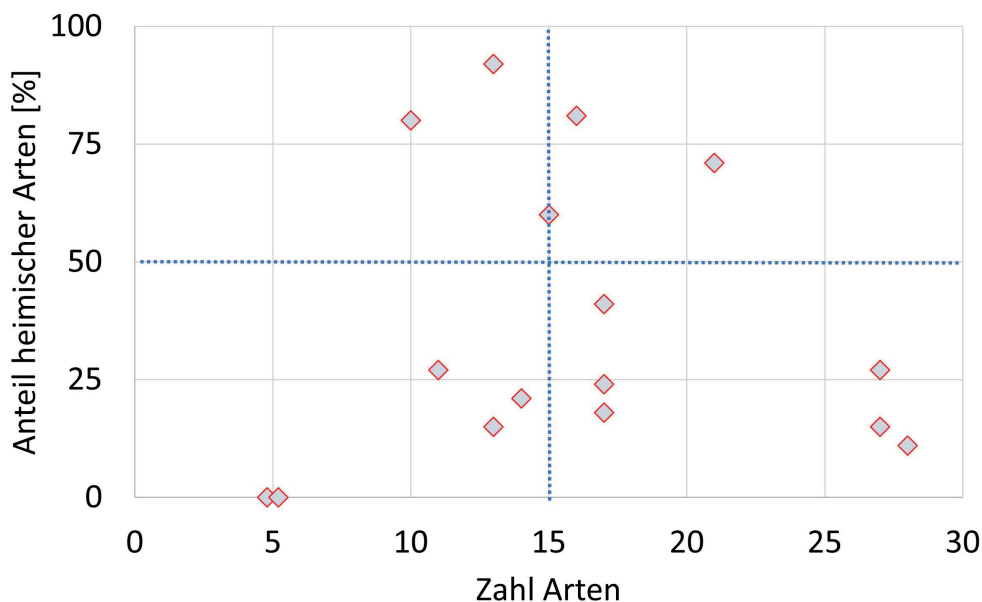


Abb. 3. Zahl der Arten und Anteil der heimischen Arten von 16 im Jahr 2021 erhältlichen Bienenweide-Saatgutmischungen. Im rechten oberen Quadranten befinden sich Saatgutmischungen, welche eine hohe Artenzahl und einen großen Anteil heimischer Arten aufweisen. Im linken unteren Quadranten befinden sich 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 (MacIvor, 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 Feldränder 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 Nisthügel (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, Ž., 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, 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. Tschardt, 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. Tschardt, 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, 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.