

Stefanie Göttig¹, Annette Herz², Christian Walter¹

Der Einfluss von Leindotter (*Camelina sativa* (L.) Crantz, Brassicaceae) auf die Diversität von Bestäubern (Apidae & Syrphidae) im Leindotter-Erbсен-Mischfruchtanbau

Impact of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz, Brassicaceae) on the diversity of pollinators (Apidae & Syrphidae) in camelina-pea mixed crop cultivation

Affiliationen

¹DAW SE, Ober-Ramstadt.

²Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Biologischen Pflanzenschutz, Dossenheim.

Kontaktanschrift

Dr. Stefanie Göttig, DAW SE, Roßdörfer Str. 50, 64372 Ober-Ramstadt, E-Mail: stefanie.goettig@gmx.de

Zusammenfassung

Der Rückgang von Insekten gibt Anlass dazu insektenfreundliche Anbausysteme in Agrarlandschaften zu etablieren, um Bestäuber nachhaltig zu fördern und Ökosystemleistungen zu stärken. Die Studie sollte klären, ob der zusätzliche Anbau von Leindotter in Erbsenkulturen die Vielfalt von Wildbienen und Schwebfliegen nachweislich erhöht. In drei aufeinander folgenden Versuchsjahren wurde die Diversität der Bestäubergemeinschaft in Leindotter-Erbсен-Mischfruchtanbau, reinen Erbsenkulturen und reinen Leindotterkulturen anhand von standardisierten Methoden wie Farbschalen- und Sichtfängen erhoben und analysiert. Auch der Blattlausbefall, sowie Blattlausprädatoren und Tagfalter wurden erfasst. Der Vergleich der Bestäuber zeigt in Mischfruchtanbau eine Erhöhung der Artenzahlen in allen drei Untersuchungsjahren sowie der Individuenzahlen in den Jahren 2020 und 2021 gegenüber reinen Erbsenkulturen. Berechnete Diversitätsindizes (Shannon-Wiener-Index H_s und Evenness E) lagen im Durchschnitt für Leindotter-Erbсен-Kulturen bei $H_s = 2,86$ mit $E = 0,72$ und somit deutlich höher als für Erbsenkulturen, mit $H_s = 2,39$ und $E = 0,65$. In den reinen Leindotterkulturen profitieren auch Tagfalter deutlich vom zusätzlichen Blütenangebot. Die Studie legt dar, dass der Anbau von Leindotter wertvolle Blütenressourcen schafft, welche nachweislich von einer diverseren Bestäubergemeinschaft genutzt werden, wodurch die Biodiversität in Agrarlandschaften gestärkt werden kann.

Stichwörter

Leindotter, Mischfruchtanbau, Bestäuber, Diversität, nachwachsende Rohstoffe

Abstract

The decline in insects forces the establishment of insect-friendly cultivation systems in agricultural landscapes in order to support pollinating insects and preserve ecosystem services. The study aims to clarify whether the additional cultivation of camelina in pea crops increases the diversity of wild bees and hoverflies. Abundance and diversity were considered and evaluated in camelina-pea mixed crop cultures, pea cultures and camelina cultures in three consecutive years by using standardized methods such as pan traps and visual catches. Aphid infestation, aphid predators as well as butterflies were also recorded. The comparison of pollinators shows an increase in species numbers in all three years of collection as well as in the number of individuals in 2020 and 2021 in mixed crops compared to pea crops. Calculated diversity indices (Shannon-Wiener-Index H_s and Evenness E) averaged $H_s = 2.86$ with $E = 0.72$ for mixed crops and thus higher than for pea crops, with $H_s = 2.39$ and $E = 0.65$. In camelina crops, also butterflies benefit visibly from the additional offer of flowers. The study demonstrates that additional cultivation of camelina provide necessary flowering resources, that have been shown to be used by a more diverse pollinator community, thereby supporting biodiversity in agricultural landscapes.

Keywords

camelina, mixed crop cultivation, pollinators, diversity, renewable resources

Einleitung

Insekten bilden einen wesentlichen Bestandteil der biologischen Vielfalt und sind zudem untrennbar mit der Landwirtschaft und der Erzeugung von Kulturpflanzen verbun-



(c) Der Autor/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: 25. November 2022/17. März 2023

den. Durch eine ausreichende Diversität können wichtige Ökosystemleistungen, wie das Bestäuben von Wild- und Kulturpflanzen und das Bekämpfen von Schädlingen in Agrarökosystemen, aufrechterhalten werden (Insektenatlas, 2020). Der wirtschaftliche Gesamtwert der Bestäuberleistung von Insekten belief sich 2005 weltweit auf geschätzt 153 Milliarden Euro. Dies entspricht 9,5 % des Werts der gesamten weltweiten landwirtschaftlichen Produktion, die in diesem Zeitraum für die menschliche Ernährung verwendet wurde (Gallai et al., 2009). Der Bestäubung durch Insekten kommt somit auch eine hohe ökonomische Bedeutung zu. Seit Jahrzehnten zeichnen sich deutlich sowohl ein Rückgang der Biomasse von Insekten (Sorg et al., 2013; Hallmann et al., 2017) als auch ein regionaler und globaler Rückgang der Artenvielfalt ab (Potts et al., 2010; Zattara & Aizen, 2021; BfN, 2022). Dieser ist auf Verluste und Veränderungen von Lebensräumen zurückzuführen. Großflächige und auf Monokulturen basierende Anbausysteme in Agrarlandschaften tragen durch die Intensivierung der Bewirtschaftung und der daraus resultierenden Armut an Strukturvielfalt, der Fragmentierung zusammenhängender Ökosysteme sowie der überhöhten Einträge von Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln zu dieser Negativentwicklung bei (EEA, 2010; BfN, 2022). Daher gibt es Anlass dazu, insektenfreundliche Anbausysteme in Agrarlandschaften zu schaffen, um wichtige Bestäubergruppen, wie Wildbienen und Schwebfliegen, nachhaltig zu fördern und ihre Ökosystemleistungen zu erhalten.

Die Ölpflanze Leindotter (*Camelina sativa* (L.) Crantz, Brassicaceae) stammt in ihrer Wildform aus den südosteuropäisch-südwestasiatischen Steppengebieten (Knörzer, 1978). Wie frühe Samenfunde zeigen, wurde der uns heute bekannte Saat-Leindotter bereits während der Bronze- und Eisenzeit in Deutschland kultiviert und in Europa verbreitet. Aufgrund der Intensivierung der Landwirtschaft geriet er jedoch im Laufe des letzten Jahrhunderts zunehmend in Vergessenheit (Heyland, 2006; Karg & Weber, 2019). Heute zählt Leindotter zu den ältesten Kulturpflanzen Europas und steht auf der Roten Liste der gefährdeten einheimischen Nutzpflanzen in Deutschland (BLE, 2018). Seit seiner Wiederentdeckung in den 1970er Jahren nahm die Zahl der Studien zu dessen Anbaumöglichkeiten wieder zu (Makowski, 1993; Putnam et al., 1993). Leindotter gilt als anspruchslos, gedeiht auf Grenzertragsböden, benötigt nur wenig Stickstoff und weist Robustheit gegenüber Frost, Krankheitserregern und Schädlingen auf (Robinson, 1987; Makowski, 1993; Akk & Ilumäe, 2005; Eynck & Falk, 2013). Besonders im Mischfruchtanbau, dessen ökologische Vorzüge gegenüber der Monokultur, wie die Erhöhung der Standfestigkeit, die höhere Konkurrenzkraft gegen Beikräuter sowie die Möglichkeit zur Abfederung biotischer und abiotischer Stressfaktoren, schon lange bekannt sind (Aufhammer, 1999), erwies sich Leindotter in zahlreichen Praxisversuchen als vielversprechender Gemengepartner mit Getreiden und Leguminosen. So konnten pflanzenbauliche Vorteile wie die Unterdrückung von Beikräutern, seine Funktion als Stütz- und Kavalierspflanze sowie die Steigerung der Flächenproduktivität und von Ertragspotenzialen dazu beitragen, dass dessen Anbau, vor allem im Ökolandbau, wieder vermehrt auf Interesse stieß (Ackermann & Saucke,

2005; Saucke & Ackermann, 2006; Paulsen, 2007; Paulsen & Schochow, 2007; Froschhammer et al., 2015). Durch den stark verminderten bis nicht notwendigen Einsatz von Herbiziden, Insektiziden und Stickstoffdünger ist die Umweltbelastung vergleichsweise gering. Die Einbringung von Leindotter in Monokulturen erhöht nicht nur die Biodiversität der Kulturpflanzen an sich, sondern bietet Bestäubern eine attraktive Nahrungsquelle wie Groeneveld & Klein (2014) anhand von Besuchsraten an Leindotterblüten zeigen konnten. Der Anbau von Leindotter als Zweitfrucht und der Mischfruchtanbau mit Erbsen bilden ein umwelt- und insektenfreundliches Anbausystem (Gollner et al., 2010). Solche Anbaukonzepte haben das Potenzial, durch die Bereitstellung zusätzlicher Blütenressourcen in sonst blütenarmen Jahreszeiten, die Diversität von Insekten in Agrarlandschaften zu stärken.

Trotz der Tatsache, dass Leindotter eine gefährdete Nutzpflanze darstellt, gilt die Art als eine der vielversprechendsten alternativen Ölpflanzen mit pflanzenbaulichen Vorteilen und einer guten Ökobilanz (Eynck & Falk, 2013). Dieser scheinbare Widerspruch begründet sich darin, dass sich der heutige Absatzmarkt auf die Herstellung hochwertiger Speiseöle in geringen Mengen beschränkt (Bertrand, 2004). Dieser Nischenmarkt ist für einen großflächigen Anbau jedoch zu unattraktiv und führte bei LandwirtInnen zu einer Zurückhaltung im Anbau. Industrielle Verwendungsmöglichkeiten von Leindotteröl in Biodiesel oder Flugzeugtreibstoff bestehen bereits länger (Bernardo et al., 2003; Moser, 2010; Paulsen et al., 2011) und finden vermehrt in Nordamerika Anwendung. Die Verwendung in der menschlichen und tierischen Nahrungskette steht aktuell, aufgrund des steigenden Interesses an alternativen Proteinquellen und nicht zuletzt aufgrund des hohen Ölgehalts der Saat von 30-40 % und des hohen Anteils ungesättigter Fettsäuren (Zubr, 1997; Pilgeram et al., 2007), vermehrt im Fokus, dahingehend besteht jedoch noch Forschungsbedarf (Waraich et al., 2013). Generell ist die anteilige Verfütterung des bei der Ölproduktion anfallenden Presskuchens an Wiederkäuer, Schweine und Hühner möglich (Zubr, 1997; Böhme & Flachowsky, 2005; Aziza et al., 2010; Almeida et al., 2013). Aus regionalem Mischfruchtanbau mit Leindotter (Abb. 1) ergibt sich eine Kombination von nachhaltiger Produktionsweise eines Rohstoffs mit geringer Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung und günstiger inhaltlicher Zusammensetzung, wodurch sich ein Interesse der Industrie entwickelte (Mitteilungen der DAW SE und der Worlée Chemie GmbH). Es zeigte sich, dass Leindotteröl den global gehandelten Rohstoff Leinöl ersetzen und als Ausgangsstoff für die Herstellung von Holzlasuren genutzt werden kann, was den Absatzmarkt in Deutschland deutlich vergrößert. Dadurch wird ein Anreiz zum Anbau geschaffen, der ökonomischen Ansprüchen entspricht und gleichzeitig das Potenzial besitzt einen positiven Einfluss auf Ökosysteme und die Biodiversität auszuüben.

Ziel dieser Studie ist die Bewertung des Effektes des zusätzlichen Leindotteranbaus auf die Anzahl und Diversität blütenbesuchender Insekten, infolge der Erhöhung des verfügbaren Blütenangebotes, sowohl im Vergleich zum Status Quo, dem Anbau reiner Erbsenkulturen, als auch durch die Betrachtung des Leindotteranbaus als Zweitfrucht.



Abb. 1. Mischfruchtkultur mit Leindotter und Erbsen.

Material und Methoden

Erfassung

In den Jahren 2019-2021 wurden im Frühsommer jeweils eine Leindotter-Erbsen-Mischfruchtkultur (LE) und eine Erbsen Reinkultur (E) in Sachsen-Anhalt (Badersleben) untersucht. Darüber hinaus erfolgte eine Aufnahme im Spätsommer in einer Leindotter Reinkultur (L) an einem weiteren Standort in Brandenburg (Fehrbellin). Die untersuchten Schläge wurden alle konventionell bewirtschaftet und wechselten aufgrund von ackerbaulichen Notwendigkeiten jährlich. In den Untersuchungsjahren 2019 und 2021 lagen die Mischfruchtkulturen in unmittelbarer Nähe zu den zeitgleich beprobten Erbsen Reinkulturen (Abstand maximal 10 m), alle Flächen befanden

sich in einem Umkreis von zwei Kilometern. Lediglich im Jahr 2020 lag das Mischfruchtfeld, innerhalb einer bewirtschafteten Kulturlandschaft, drei Kilometer zur Erbsen Reinkultur entfernt. Die Schläge des Leindotter Zweitfruchtanbaus lagen in einem Umkreis von fünf Kilometern.

Die Erfassung der Insekten wurde während der zweiwöchigen Blühperiode des Leindotters durch eine Kombination aus Farbschalen und gezielten Sichtfängen mit Kescher durchgeführt. Ergänzt wurde diese auf den Feldern LE und E durch standardisierte Beobachtungseinheiten und eine Blattlausbonitur (Tab. 1).

Farbschalen

Als Untersuchungsmethode, deren Stärke im Bereich der quantitativen Erfassung von fliegenden Insekten auf Blüten-

Tab. 1. Untersuchungsflächen und Erfassungsmethoden. Beprobte Kulturen (Leindotter-Erbsen-Mischfrucht (LE), Erbsen Reinkultur (E), Leindotter Zweitfrucht (L)) in Sachsen-Anhalt und Brandenburg sowie jeweils angewandte Methoden während der zweiwöchigen Blühphase des Leindotters in drei Untersuchungsjahren 2019-2021.

Kultur	Zeitraum	Fläche (ha)	Lage	Farbschalen (Proben)	Keschern (Dauer in min.)	Beobachtung (Dauer in min.)	Blattlausbonitur (Pflanzen)
LE	Juni 2019	17	Sachsen-Anhalt	150	345	-	500
E	Juni 2019	11,5	Sachsen-Anhalt	150	120	-	500
L	August 2019	14	Brandenburg	150	255	-	-
LE	Juni 2020	13,2	Sachsen-Anhalt	150	180	60	500
E	Juni 2020	2,3	Sachsen-Anhalt	150	180	60	500
L	August 2020	31	Brandenburg	150	225	-	-
LE	Juni 2021	20	Sachsen-Anhalt	150	180	60	500
E	Juni 2021	8	Sachsen-Anhalt	150	180	60	500
L	August 2021	10	Brandenburg	150	240	-	-

höhe liegt, wurden Farbschalen gewählt. Die Methode gilt als gut etabliert, standardisierbar und ermöglicht die Abdeckung eines weiten Artenspektrums durch die Kombination aus drei Farben (Westphal et al. 2008). Die Fangschalen (RONDO® Gelbfangschale, Temmen GmbH, Hattersheim-Eddersheim, DE; Durchmesser 22,5 cm) wurden in den Farbvarianten gelb (Grundfarbe), weiß und blau verwendet. Diese wurden händisch mit Schmirgelpapier angeraut und anschließend von außen in weiß und blau doppelt lackiert (Caparol Capalac AllGrund, CAPAROL Farben Lacke Bautenschutz GmbH, Ober-Ramstadt, DE). Die Aufstellung erfolgte mittels Kunststoffstangenrohren (Länge 2 m, Durchmesser 20 mm, Elektronik-Zubehör) welche an einem Ende 10 cm mit einem Heißluftfön erwärmt und zusammengepresst wurden, um die Einbringung in den Boden zu ermöglichen. Während der zweiwöchigen Blühphase wurden pro Fläche zwei Transekte à 100 m entlang von Fahrrinnen gebildet. Diese wurden 2019 von gegenüberliegenden Feldrändern zur Mitte hin angeordnet. Da dies in den Folgejahren durch Unzugänglichkeiten aufgrund der Position oder Größe der Schläge jedoch nicht umsetzbar war, wurden die Transekte von einem begehbaren Feldrand zur Mitte hin angeordnet, wobei ein Abstand von ca. 150 m bestand. Pro Transekt wurden fünf Sets aus jeweils drei Schalen (gelb, weiß, blau) im Abstand von 20 m installiert (insgesamt 30 Farbschalen pro Feld). Innerhalb der Dreiersets wurden die Schalen mit einem Abstand von ca. 1,5 cm aufgestellt. Deren Leerung und Überführung der Proben in Ethanol (70 %) erfolgte alle 48 h, sodass sich pro Feld und Jahr eine Gesamtprobenanzahl von 150 ergab. Als Fangflüssigkeit (ca. 400 ml pro Falle) diente Wasser mit einigen Tropfen Geschirrspülmittel. Die Aufstellhöhe orientierte sich an der Blütenhöhe und wurde im Verlauf der Probennahme angepasst.

Gezielter Sichtfang mit Kescher

Um das Artenspektrum, vor allem der Familie der Schwebfliegen (Syrphidae), vollständiger zu erfassen, wurden die Farbschalenfänge durch gezielte Sichtfänge mittels eines Keschers (Alu-Teleskop-Netzstock 35–66 cm, Kescherweite ca. 100 cm) ergänzt. Es wurden gezielt Insekten von den Blüten gesichert, aber auch Streiffänge durchgeführt. Gut erkennbare Arten wurden direkt wieder frei gelassen, vor allem größere Bienen und Hummeln. Die Handfänge erfolgten möglichst standardisiert bei angemessener Witterung (> 18°C, sonnig, nicht zu windig) durch Abschreiten von Transekten von jeweils ca. 250 m Länge und 2,5 m Breite. Die Transekte wurden für 45–60 min. beprobt und währenddessen mehrfach Tiere entnommen. Die Sichtfänge der zu vergleichenden Schläge in Sachsen-Anhalt wurden innerhalb der zweiwöchigen Blütezeit jeweils viermal, im Zweitfruchtanbau in Brandenburg fünfmal wiederholt. Im ersten Untersuchungsjahr wichen die Zeiten der Beprobung stärker voneinander ab, da der Sichtfang auf dem reinen Erbsenfeld zunächst mehrfach aufgrund der Abwesenheit von Bestäubern frühzeitig abgebrochen wurde.

Beobachtungseinheiten

In den Jahren 2020 und 2021 wurden, ergänzend zur Erfassung der Insekten mit Farbschalen und gezielten Sichtfängen,

definierte Beobachtungseinheiten auf den Feldern LE und E durchgeführt um den optischen Eindruck der Häufigkeit von Bestäubern in den Kulturen zu einem bestimmten Zeitpunkt standardisiert zu erfassen. Dabei wurden im Laufe der Blühperiode mehrere Einheiten mit jeweils 15 min. Beobachtungszeit durchgeführt. Die Blüten von etwa 25 Pflanzen wurden dabei beobachtet und anfliegende Bestäuber und andere Nützlinge gezählt und den Gruppen Bienen, Hummeln, Schwebfliegen und Marienkäfer sowie sonstige Insekten (Fliegen (Diptera) und Wanzen (Heteroptera)) zugeordnet. Insgesamt wurden je Feld ca. 100 Pflanzen/60 min. beobachtet. Die Beobachtungseinheiten wurden möglichst in der Feldmitte bei angemessener Witterung (> 18 °C, sonnig, nicht zu windig) durchgeführt. Bei sehr großen Schlägen wurden Pflanzen zur Beobachtung gewählt, die mindestens 50 m Abstand zum Feldrand aufwiesen.

Blattlausbonitur

Zur Einschätzung des Blattlausbefalls wurden Erbsenpflanzen der Felder LE und E bonitiert. Die Bonitur erfolgte insgesamt fünfmal pro Variante innerhalb der Versuchszeit von zwei Wochen. Dabei wurden pro Bonitur jeweils vier Bereiche (ca. 2 m²) zufällig ausgewählt und die Blüten von 25 Pflanzen auf Blattlausbefall untersucht (n = 100 pro Bonitur). Die Zählung erfolgte durch Abschätzung der Anzahl der Individuen. Größere Kolonien wurden in Zehnerschritten geschätzt.

Bestimmung

Als allgemein wichtige Bestäubergruppen wurden die Echten Bienen (Apidae), darunter die Honigbiene (*Apis mellifera*) sowie Wildbienen inkl. Hummeln (*Bombus*) und Kuckuckshummeln (*Psithyrus*) und die Familie der Schwebfliegen (Syrphidae) betrachtet und bis zur Art bestimmt. Auch Tagfalter und Blattlausprädatoren (Marienkäfer und Florfliegen) wurden quantitativ aufgenommen, davon Marienkäfer und Tagfalter ebenfalls auf Artebene bestimmt. Da Farbschalen eine ausgesprochen schlechte Fängigkeit gegenüber Tagfaltern haben und deren Konservierung in Ethanol zu starken Verlusten von Flügelschuppen und der Schuppenfarbe führt, wurden die vorhandenen Arten, zusätzlich zu den Fallenfängen, durch Beobachtungen und Fotoauswertungen bestimmt. Die Auszählung und Bestimmung der Insekten erfolgte in einem entomologischen Labor des Julius Kühn-Instituts (JKI, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen). Bestimmt wurden die Tiere unter Zuhilfenahme eines Stereomikroskops (Zeiss Stemi 508 LAB) sowie von Bestimmungsliteratur zu Wildbienen (Amiet et al., 2001; 2004; 2007; 2010; 2014; Pauly, 2015; Scheuchl, 2006), Hummeln (Mauss, 1987; Amiet et al., 2017; Gokcezade et al., 2017), Schwebfliegen (van Veen, 2004; Ball & Morris, 2015; Bot & van de Meutetter, 2019), Marienkäfern (Majerus & Kearns, 1989) und Tagfaltern (Chinery, 2012; UFZ, 2019). Teilweise wurden schwer zu trennende Arten zusammengefasst wie z. B. zum *Bombus terrestris/lucorum* (-Komplex) oder zur *Andrena minutula* (-Gruppe). Die Gefährdungsbeurteilung für Wildbienen und Schwebfliegen erfolgte anhand der entsprechenden Roten Listen für Deutschland (Ssymanek et al., 2011; Westrich et al., 2011).

Auswertung

Aufgrund der jahreszeitlichen und geografischen Unterschiede des Anbaus der Leindotterkultur als Zweitfrucht im Spätsommer, konnte kein direkter Vergleich mit den restlichen Aufnahmen im Frühjahr erfolgen. Diese wurden bei der Auswertung getrennt voneinander betrachtet.

Zur quantitativen Bewertung und zum Vergleich der Datensätze wurden zwei sich ergänzende Diversitätsindizes berechnet. Der Shannon-Wiener-Index (H_s) baut auf der Anzahl der gefundenen Arten sowie deren Abundanzen (Anzahl der Individuen je Art) auf und beschreibt die Vielfalt innerhalb der untersuchten Kultur. Die bestimmten Bestäuber der Farbschalen- und Kescherfänge wurden dabei zusammengefasst, um ein möglichst breites Artenspektrum abzubilden. Da H_s allein nicht erkennen lässt, ob sein Wert aufgrund einer hohen Artenzahl mit jeweils unterschiedlicher Individuenzahl oder durch gleichmäßige Verteilung der Individuen auf wenige Arten entstanden ist, wird ein Vergleichsmaß ergänzt, die Evenness (E). Ein theoretisches Diversitätsmaximum (H_{max}) ist bei einer Gleichverteilung der Individuen auf die Arten erreicht. Dieses wird berechnet und mit H_s des Datensatzes in Relation gesetzt. Vollkommene Evenness ($E = 1$) wird erreicht, wenn alle Arten mit dem gleichen Anteil an Individuen vertreten sind ($H_s = H_{max}$). Je stärker sich E von eins unterscheidet (< 1), desto mehr weichen die Dominanzverhältnisse verschiedener Arten von der Gleichverteilung ab.

Da die Stichprobengröße ($N = 1$ pro Variante und Jahr) sehr klein ist und keine Normalverteilung der Daten vorliegt, wurde auf die Durchführung von Signifikanztests verzichtet. Stattdessen wurde eine deskriptive Statistik angewendet, um die Arten- und Individuenzahlen, die berechneten Diversitätsindizes (Shannon-Wiener-Index und Evenness) für die Gesamtdiversität und die Diversität der einzelnen Bestäuber

Gruppen (Wildbienen, Hummeln und Schwebfliegen) sowie die entsprechenden Durchschnittswerte der drei Untersuchungsjahre (2019–2021) darzustellen und einen Vergleich zwischen den Varianten (Leindotter-Erbsen-Mischfrucht- und Erbsen Reinkultur) zu ermöglichen.

Ergebnisse

Im Untersuchungszeitraum (2019–2021) wurden unter Berücksichtigung aller drei Kulturen (LE, E und L) insgesamt 6968 Bestäuber (Honigbienen, Wildbienen inkl. Hummeln und Schwebfliegen) erfasst und auf Artebene bestimmt. Dabei konnten 128 Arten unterschieden werden. Die Gesamtzahl der Bestäuber beinhaltet 328 Individuen aus Kescherfängen, davon 144 Individuen aus 37 Arten auf EL, 52 Individuen aus 17 verschiedenen Arten auf E und 132 Individuen aus 30 Arten auf L. Insgesamt konnten die Farbschalenfänge durch die Sichtfänge um neun Arten auf EL, um vier Arten auf E und um vier Arten auf L ergänzt werden.

Vergleich Erbsen Reinkultur und Leindotter-Erb- sen-Mischfruchtkultur

Bestäuber

Präsent waren insgesamt 79 verschiedene Arten auf LE und 65 verschiedene Arten auf E. Die Häufigkeiten der Bestäuber unterschieden sich teilweise deutlich (Tab. 2). In allen drei Untersuchungsjahren waren in Summe mehr Arten an Bestäubern auf LE als auf E zu finden. In den Jahren 2020 und 2021 lagen dort ebenso die Individuenzahlen höher. Bei Betrachtung der durchschnittlichen Artenzahlen der einzelnen Bestäubergruppen wurden mehr Wildbienen-, Hummel- und Schwebfliegenarten auf LE verzeichnet.

Tab. 2. Häufigkeit der Bestäuber aus Farbschalen- und Kescherfängen. Anzahl der Arten und Individuen (inkl. Summen, Mittelwerten MW und Standardabweichung SD) der Bestäubergruppen auf Erbsen Reinkultur und Leindotter-Erb-
sen-Mischkultur der Untersuchungsjahre 2019–2021.

	Erbsen				Leindotter und Erbsen			
	2019	2020	2021	MW ± SD	2019	2020	2021	MW ± SD
Arten								
Honigbiene	1	1	1	1,0 ± 0,00	1	1	1	1,0 ± 0,00
Wildbienen	27	14	28	23,0 ± 7,81	30	26	38	31,3 ± 6,11
Hummeln	6	10	6	7,3 ± 2,31	7	8	9	8,0 ± 1,00
Schwebfliegen	8	7	9	8,0 ± 1,00	14	11	12	12,3 ± 1,53
Σ	42	32	44	39,3 ± 6,43	52	46	60	52,6 ± 7,02
Individuen								
Honigbiene	99	177	89	121,7 ± 48,18	148	91	164	134,3 ± 38,37
Wildbienen	356	133	487	325,3 ± 178,98	301	346	718	455,0 ± 228,87
Hummeln	73	104	123	100,0 ± 25,24	61	130	224	138,3 ± 81,82
Schwebfliegen	37	23	64	41,3 ± 20,84	45	81	75	67,0 ± 19,29
Σ	565	437	763	588,3 ± 164,25	555	648	1181	794,7 ± 337,79

Dies spiegelt sich ebenso bei der Betrachtung der Diversitätsindizes wider (Tab. 3). Sowohl die Gesamtwerte als auch die Werte der einzelnen Bestäubergruppen lassen eine deutliche Tendenz zu einer höheren Diversität auf LE erkennen. Für LE lagen alle durchschnittlichen Index-Werte höher als für E. Die berechneten Maximalwerte liegen für LE zwischen 3,83 und 4,09 und für E zwischen 3,47 und 3,78. Der Vergleich zeigt eine Erhöhung der Gesamtdiversität durch den zusätzlichen Anbau von Leindotter zur Erbse in den Jahren 2020 und 2021. Ebenso wurden im Jahr 2019 eine höhere Schwebfliegen-, 2020 eine höhere Wildbienen- und 2021 zusätzlich eine erhöhte Hummel- und Schwebfliegendiversität festgestellt.

Artenspektren der Kulturen und Betrachtung gefährdeter Arten

(siehe Tab. 5: Gesamtartenliste und Gefährdung)

Die **Honigbiene** war als nicht gefährdetes Nutztier, wie zu erwarten, jedes Jahr auf allen untersuchten Feldern zu finden. Ihr Vorkommen schwankte, aufgrund der Abhängigkeit von der Anzahl an Bienenvölkern und deren Entfernung zum Feld, stark.

Insgesamt wurden 50 verschiedene **Wildbienenarten** (ohne Hummeln) auf LE und 40 Arten auf E nachgewiesen. Die Aufteilung nach Gattungen (Abb. 2) zeigt, dass auf LE deutlich mehr Sandbienen (*Andrena*) und Schmalbienen (*Lasioglossum*)-Arten im Vergleich zu E auftraten. Darunter war die Blauschillernde Sandbiene (*A. agilissima*), die auf Kreuzblütengewächse spezialisiert und in Deutschland in Kategorie 3 „gefährdet“ eingestuft ist (Westrich et al., 2011). Auch die Vierfleckige Schmalbiene (*L. quadrinotatum*) trat auf LE in jedem Jahr in geringer Zahl auf und ist als gefährdet und selten eingestuft. Beide Arten waren auf E gar nicht zu finden. Generell wies das Mischfruchtfeld im Gegensatz zum reinen Erbsenfeld eine höhere Anzahl an Arten auf, die in der Roten Liste der Bienen (Westrich et al., 2011) aufgeführt sind (LE: 12; E: 5). Auf beiden Feldern am stärksten vertreten waren

die Erzfärbene Sandbiene (*A. nigroaenea*), die Grauschwarze Düstersandbiene (*A. cineraria*), die Gelbbindige Furchenbiene (*Halictus scabiosae*) und die Gelbbein-Furchenbiene (*L. xanthopus*).

Insgesamt wurden 9 verschiedene **Hummelarten** auf LE und 10 Arten auf E bestimmt. Neben der am stärksten vertretenen Erdhummel (*Bombus terrestris*-Gruppe) traten die Steinhummel (*B. lapidarius*) und die Gartenhummel (*B. hortorum*) auf beiden Kulturen im Frühsommer häufig auf, jedoch in deutlich höherer Individuenzahl auf LE. Auch die zugehörigen Brutparasiten, die Gefleckte Kuckuckshummel (*B. (Psithyrus) vestalis*) sowie die Felsen-Kuckuckshummel (*B. (Psithyrus) rupestris*), traten in geringer Anzahl auf allen Feldern auf.

Insgesamt konnten 19 verschiedene **Schwebfliegenarten** auf LE und 14 Arten auf E nachgewiesen werden. Darunter fanden sich auf beiden Kulturen überwiegend typische Blattlausprädatoren. Diese aphidophagen Arten traten meist in großer Anzahl auf, wie z. B. die Hainschwebfliege (*Episyrphus balteatus*), die Gemeine Feldschwebfliege (*Eupeodes corollae*) und die Gemeine Stiftschwebfliege (*Sphaerophoria scripta*). Bei 17 der gefundenen Arten lag die Anzahl auf LE höher als auf E. Aber auch in Deutschland gefährdete Arten wurden gefunden, wie *Sphaerophoria philantus* (Kategorie 3 „gefährdet“) auf LE sowie *Eupeodes lundbecki* (G „Gefährdung unbekanntes Ausmaßes“) auf E (Ssymank et al., 2011).

Nützlinge und Tagfalter

Sowohl die in Tab. 4 dargestellten Summen als auch die durchschnittlichen Werte der Anzahl der Individuen zeigen eine deutliche Erhöhung des Vorkommens von Nützlingen (inklusive der Tagfalter) auf dem Leindotter-Erbsen-Mischfruchtfeld (LE) gegenüber der Erbsen Reinkultur (E). In allen drei Untersuchungsjahren lag eine höhere Anzahl an Marienkäfer- und Flurfliegen Individuen auf LE vor. Tagfalter traten im Frühsommer nur einzeln in den Fangschalen auf.

Tab. 3. Diversitätsindizes. Indexwerte (Shannon-Wiener-Index H_s und Evenness E inkl. Mittelwerten MW und Standardabweichung SD) der Bestäuber gesamt, sowie der Aufteilung nach Gruppen auf Erbsen Reinkultur und Leindotter-Erbsen-Mischkultur der Untersuchungsjahre 2019-2021.

	Erbsen				Leindotter und Erbsen			
	2019	2020	2021	MW ± SD	2019	2020	2021	MW ± SD
H_s								
gesamt	2,71	1,88	2,60	2,39 ± 0,45	2,66	2,96	2,97	2,86 ± 0,18
Wildbienen	2,35	1,90	2,00	2,08 ± 0,24	2,27	2,40	2,52	2,40 ± 0,13
Hummeln	0,71	1,18	0,86	0,92 ± 0,24	1,05	1,24	1,27	1,19 ± 0,12
Schwebfliegen	1,48	1,69	1,74	1,64 ± 0,14	2,26	1,88	2,08	2,07 ± 0,19
E								
gesamt	0,72	0,63	0,69	0,68 ± 0,04	0,67	0,77	0,73	0,72 ± 0,05
Wildbienen	0,71	0,72	0,60	0,68 ± 0,08	0,67	0,78	0,69	0,71 ± 0,06
Hummeln	0,40	0,51	0,48	0,46 ± 0,06	0,54	0,60	0,58	0,57 ± 0,03
Schwebfliegen	0,71	0,87	0,79	0,79 ± 0,08	0,86	0,78	0,84	0,83 ± 0,04

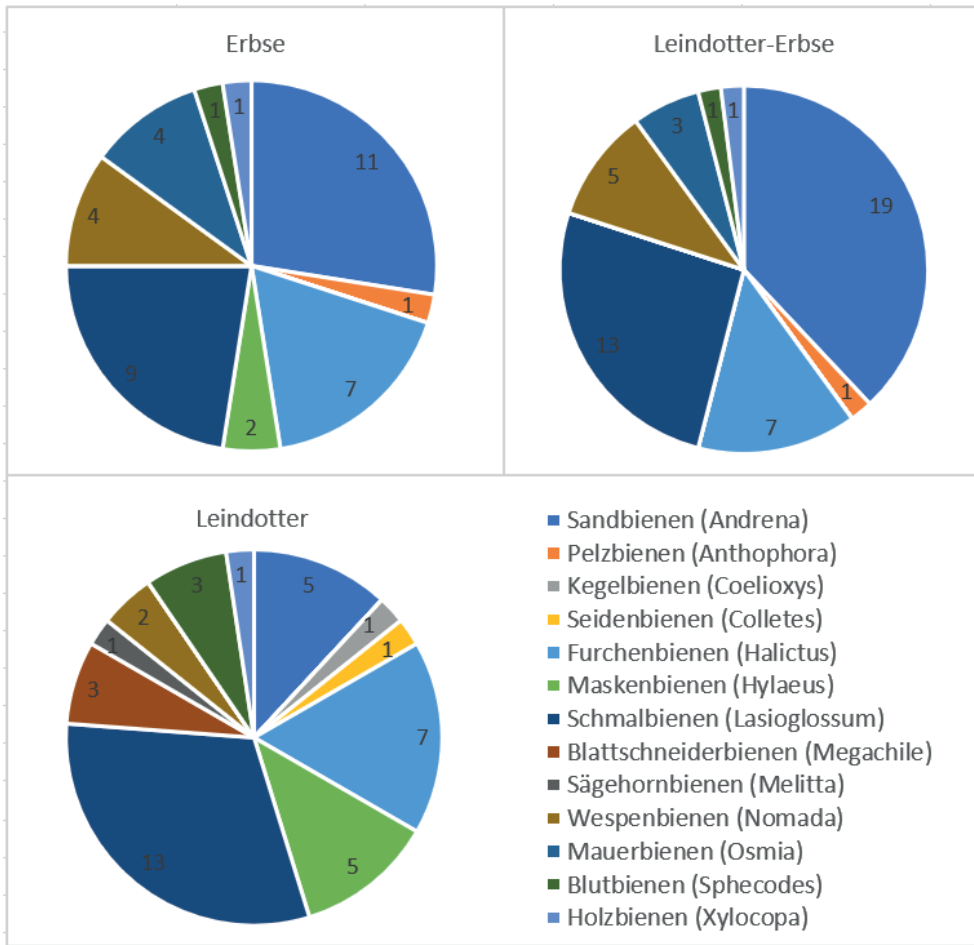


Abb. 2. Aufteilung Wildbienen-gattungen. In drei Untersuchungs-jahren insgesamt festgestellte Wildbienen (ohne Hummeln und Kuckuckshummeln) nach Gattungen mit entsprechender Anzahl der Arten auf Erbsen Reinkultur und Leindotter-Erb-sen-Mischkultur (Juni) sowie Leindotter Zweitfrucht (August).

Die Leindotter-Erbsen-Mischfruchtkultur wies neben den höheren Individuenzahlen auch eine höhere Vielfalt an Marienkäferarten auf als die Erbsenkulturen. Auf LE konnten Individuen aus insgesamt 10 Arten gefunden werden. Im Gegensatz dazu wurden auf E nur fünf Arten aufgenommen. Abbildung 3 zeigt die Häufigkeit der Marienkäferarten auf den untersuchten Kulturen, anteilig am Gesamtvorkommen. Als die häufigste Art konnte der Siebenpunkt-Marienkäfer (*Coccinella 7-punctata*) mit insgesamt 301 Individuen festgestellt werden, welcher jedes Jahr auf allen untersuchten Flächen zu finden war. Alle sonstigen verzeichneten Arten kamen nur vereinzelt vor. Sechs Individuen konnten dabei nicht bestimmt werden.

Beobachtungseinheiten

Die Summen der durch die Beobachtungseinheiten registrierten Bestäuber Individuen lagen bei 22 Individuen auf E zu 71 Individuen auf LE. Die Anzahl der sonstigen registrierten Insekten lag mit 10-13 Individuen auf allen Feldern in einem vergleichbaren Bereich. Im Jahr 2020 konnten auf E lediglich zwei Bestäuber (Schwebfliegen) und 13 sonstige Insekten beobachtet werden. Auf LE waren es hingegen 24 Bestäuber, darunter sechs Bienen und fünf Hummeln. Schwebfliegen waren mit 13 Individuen am stärksten vertreten. Außerdem zeigten sich auf LE acht Marienkäfer und 11 sonstige Insekten. Im Jahr 2021 wurden auf E neben vier Bienen auch 18 Schwebfliegen registriert. Im Vergleich dazu kamen 48 Bienen, sieben Hummeln, 16 Schwebfliegen und 11 Marienkäfer auf dem Mischfruchtfeld vor.

Tab. 4. Häufigkeit der Nützlinge und Tagfalter aus Farbschalenfängen. Anzahl der Individuen (inkl. Summen, Mittelwerten MW und Standardabweichung SD) der Untersuchungsjahre 2019-2021 auf Erbsen Reinkultur und Leindotter-Erbsen-Mischkultur.

	Erbsen				Leindotter und Erbsen			
	2019	2020	2021	MW ± SD	2019	2020	2021	MW ± SD
Individuen								
Marienkäfer	40	6	5	17,0 ± 19,92	124	49	97	90,0 ± 37,99
Florfliegen	11	1	14	8,7 ± 6,81	13	16	43	24,0 ± 16,52
Tagfalter	4	4	0	2,7 ± 2,31	7	2	2	3,7 ± 2,89
Σ	55	11	19	28,4 ± 23,44	144	67	142	117,7 ± 43,89

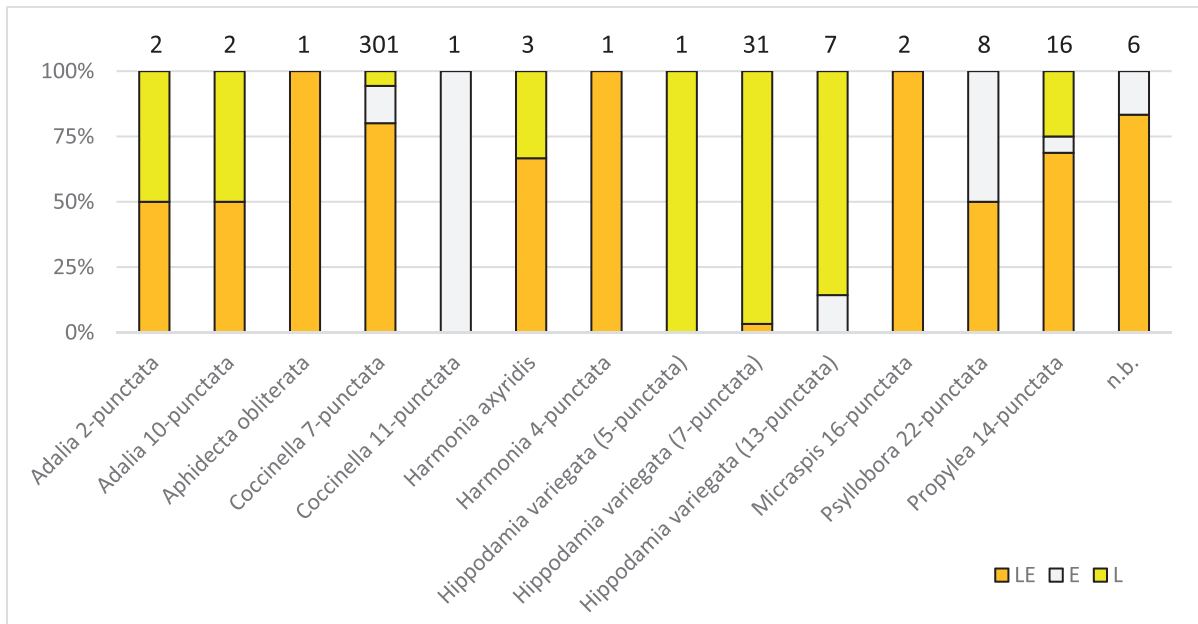


Abb. 3. Häufigkeiten (%) der Marienkäferarten und nicht bestimmbarer Individuen (n. b.) auf Erbsen Reinkultur (E), Leindotter-Erbsen-Mischkultur (LE) und Leindotter Zweitfrucht (L). Prozentuale Anteile an aufsummierten Individuenzahlen (1-301) der Untersuchungsjahre 2019-2021.

Blattlausbonitur

In den drei Untersuchungsjahren war der Blattlausdruck insgesamt sehr unterschiedlich stark ausgeprägt. Während in den Jahren 2020 und 2021 ein nur geringer Befall von weniger als sechs Blattläusen pro Pflanze vorhanden war, zeigte sich im Jahr 2019 ein stärkerer Befall auf beiden Feldern mit bis zu > 30 Individuen nach fünf Bonituren. In diesem Jahr war bei den ersten beiden Bonituren ein geringerer oder ähnlich starker Befall auf den Mischfruchtfeldern zu verzeichnen, dieses Verhältnis verschob sich jedoch mit der dritten Bonitur und der allgemeinen Zunahme des Blattlausdrucks, sodass der Befall in allen drei Jahren auf LE überwog. Im Vergleich zum Erbsenfeld war der Befall anfangs auf dem Mischfruchtfeld 2019 insgesamt zwar um 2 % geringer, stieg aber ab der

3. Bonitur auf beiden Feldern stark an und lag zum Zeitpunkt der 5. Bonitur über dem des Erbsenfeldes. Im Jahr 2020 war der Blattlausbefall hingegen um 21 % höher, lag zum Zeitpunkt der 5. Bonitur aber unter dem Wert des Erbsenfeldes. Im Jahr 2021 zeigte sich eine Verringerung um 15 % und eine Abnahme der Anzahl der Blattläuse ab der zweiten Untersuchungswoche. Schlussendlich ließ sich anhand der aufgenommenen Daten keine allgemeine Tendenz zu einer deutlichen Dezimierung der Blattlauspopulationen an Erbsenpflanzen in Mischfruchtfeldern zeigen. Während der Bonituren konnten jedes Jahr im Laufe der Zeit vermehrt parasitierte Blattläuse und auch zahlreiche Schwebfliegen- und Marienkäfer Eier und Larven an den Blattlauskolonien auf beiden Feldern beobachtet werden.

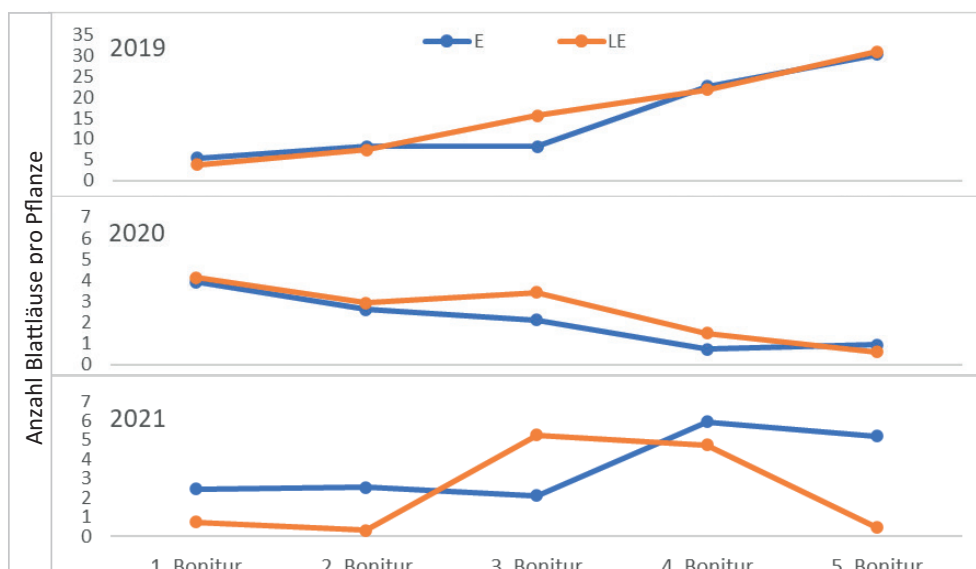


Abb. 4. Anzahl der Blattläuse an Erbsenpflanzen auf Erbsenfeld (E) und Leindotter-Erbsen-Mischfruchtfeld (LE). Jeweils fünf Bonitur Termine mit n=100 Pflanzen während der zweiwöchigen Blühphase der Untersuchungsjahre 2019-2021.

Leindotter Zweitfrucht

Bestäuber

Im Leindotter Zweitfruchtanbau waren insgesamt 79 verschiedene Bestäuberarten präsent. In den Spätsommern 2019–2021 konnten im Mittel 47 Arten und 949 Individuen dokumentiert werden (Tab. 5). Die Individuenzahlen schwankten sehr und die Schwerpunkte der Verteilung der Individuen unterscheiden sich ebenfalls. 2019 waren die höchsten Individuenzahlen bei den Schwebfliegen zu verzeichnen, 2020 bei den Hummeln und 2021, neben den Honigbienen, bei den Schwebfliegen. Im Durchschnitt traten im Spätsommer auf L die meisten Hummel- und Schwebfliegenarten auf. Die große Anzahl an Honigbienen im Jahr 2021 auf L bedingt eine starke Beeinflussung der Verteilung der Individuen auf die Arten. Diese Verschiebung der Dominanzverhältnisse spiegelt sich in den niedrigen Indexwerten wider (Tab. 5). 2021 trat trotz der höchsten Anzahl an Bestäuberarten die niedrigste überhaupt verzeichnete Diversität auf ($H_5 = 1,80$ und $E = 0,45$). Spitzenwerte für das jeweilige Jahr wurden 2019 bei den Hummeln, 2020 bei Wildbienen und Schwebfliegen sowie 2021 bei Hummeln und Schwebfliegen verzeichnet.

Es wurden insgesamt 45 verschiedene **Wildbienenarten** festgestellt, wovon 15 Arten auf der Roten Liste der Bienen (Westrich et al., 2011) aufgeführt sind. Die Schwarze Köhler-Sand-

biene (*Andrena pilipes*) trat nach der Vierbindigen Furchenbiene (*Halictus quadricinctus*) mit den meisten Individuen auf. Beide sind in der Kategorie 3 als „gefährdet“ eingestuft (Westrich et al., 2011). Ausschließlich auf L traten die Hosenbiene *Dasygaster hirtipes*, welche auf der Vorwarnliste steht, und die seltene Kegelbiene *Coelioxys elongata* sowie die seltene Seidenbiene *Colletes fodiens*, auf. Im Spätsommer konnten insgesamt 11 Wildbienengattungen erfasst werden, mehr als im Frühsommer auf LE und E. Darunter ein großer Anteil an Schmal- und Maskenbienen. Kegel-, Seiden-, Blattschneider-, sowie Sägehornbienen wurden nur auf L festgestellt (Abb. 2).

Insgesamt konnten 10 verschiedene **Hummelarten** auf L nachgewiesen werden. Die Ackerhummel (*B. pascuorum*) sowie die Veränderliche Hummel (*B. humilis*) waren hier im Spätsommer häufig. Letztere ist in Deutschland in Kategorie 3 „gefährdet“ eingestuft (Westrich et al., 2011). Einzig auf L konnte außerdem die Feld-Kuckuckshummel (*B. (Psithyrus) campestris*) festgestellt werden, welche die Veränderliche Hummel parasitiert. Häufig auf L war ebenso die Bunthummel (*B. sylvarum*), welche auf der Vorwarnliste steht und dessen langfristiger Bestandstrend als zurückgehend eingestuft ist (Westrich et al., 2011).

Insgesamt konnten 23 verschiedene **Schwebfliegenarten** auf L erfasst werden. Den größten Anteil davon stellten die Fleckaugenschwebfliege (*Eristalinus sepulchralis*), die Kleine

Tab. 5. Übersicht Leindotter Zweitfrucht. Häufigkeit der Bestäuber (Anzahl Arten und Individuen), Nützlinge und Tagfalter (Individuen) aus Farbschalen- und Kescherfängen sowie Indexwerte (Shannon-Wiener-Index H_5 und Evenness E) der Bestäuber gesamt, sowie der Aufteilung nach Gruppen inkl. Summen, Mittelwerten MW und Standardabweichung SD der Untersuchungsjahre 2019–2021.

	Leindotter							
	2019	2020	2021	MW ± SD	2019	2020	2021	MW ± SD
	Arten				Individuen			
Honigbiene	1	1	1	1 ± 0,00	145	40	1097	427,3 ± 582,32
Wildbienen	18	26	26	23,3 ± 4,62	61	186	184	143,7 ± 71,60
Hummeln	8	8	9	8,3 ± 0,58	43	253	128	141,3 ± 105,63
Schwebfliegen	10	15	18	14,3 ± 4,04	235	85	362	227,3 ± 138,66
Σ	37	50	54	47 ± 8,89	484	564	1771	939,7 ± 721,07
	Shannon-Wiener-Index H_5				Evenness E			
gesamt	2,04	2,87	1,80	2,24 ± 0,56	0,56	0,73	0,45	0,58 ± 0,14
Wildbienen	2,34	2,42'	2,17	2,31 ± 0,12	0,79'	0,74	0,67	0,73 ± 0,06
Hummeln	1,32'	1,18	1,28'	1,26 ± 0,07	0,63'	0,57	0,58	0,59 ± 0,03
Schwebfliegen	0,89	2,28'	2,13'	1,77 ± 0,76	0,41	0,84	0,74	0,66 ± 0,23
	Nützlinge und Tagfalter							
Marienkäfer	49	9	3	20,3 ± 25,01				
Florfliegen	59	18	3	26,7 ± 28,99				
Tagfalter	66	10	26	34 ± 28,84				
Σ	174	37	32	81 ± 80,58				

Keilfleckschwebfliege (*Eristalis arbustorum*) sowie die Zwiebelmondschwebfliege (*Eumerus strigatus*). Die Adulten dieser Arten ernähren sich von Pollen und Nektar; ihre Larven leben aber nicht aphidophag, sondern entwickeln sich in verrottendem Pflanzenmaterial. Auch die im Larvenstadium saprophag lebende Art *Parhelophilus versicolor* steht durch den sich andeutenden langfristigen Bestandsrückgang auf der Vorwarnliste (Ssymank et al., 2011) und war mit nur einem Individuum auf L im Jahr 2019 vertreten.

Nützlinge und Tagfalter

Insgesamt konnten acht verschiedene Marienkäferarten festgestellt werden, die vor allem 2019 mit hohen Individuenzahlen auftraten. Darunter am häufigsten vertreten waren verschiedene *Hippodamia*-Varianten (Abb. 3). Im Spätsommer fällt die hohe Anzahl von durchschnittlich 34 Tagfalter Individuen auf. Den überwiegenden Teil stellten dabei die Weißlinge mit den Arten Großer Kohlweißling (*Pieris brassicae*), Kleiner Kohlweißling (*Pieris rapae*), Rapsweißling (*Pieris napi*), Reseda-Weißling (*Pontia edusa*) und Gemeiner Gelbling (*Colias hyale*) dar. Auch Tagfalter der Familie der Bläulinge (Lycaenidae) waren in großer Anzahl vertreten, z. B. durch den Gemeinen Bläuling (*Polyommatus icarus*) und den Kleinen Feuerfalter (*Lycaena phlaeas*). Es konnten aber ebenso Edelfalter registriert werden, darunter eine Vielzahl des Kleinen Perlmutterfalter (*Issoria lathonia*), des Kleinen Wiesenvögelchens (*Coenonympha pamphilus*) und vereinzelt auch Brombeer-Perlmutterfalter (*Brenthis daphne*) sowie Distelfalter (*Vanessa cardui*). Unmittelbar neben dem Leindotterfeld konnte darüber hinaus ein Admiral (*Vanessa atalanta*) gesichtet werden. Es zeigt sich vor allem im Spätsommer eine sehr hohe Attraktivität des Leindotters für Tagfalter, deren hohe Individuendichte bereits beim Betreten des Feldes auf den ersten Blick registriert werden konnte.

Diskussion

Durch die Studie konnte gezeigt werden, dass der zusätzliche Anbau von Leindotter in Erbsenkulturen das Vorkommen und die Diversität von Bestäubern in Agrarlandschaften stärkt, indem notwendige Blütenressourcen bereitgestellt werden. Sowohl die erhöhten Arten- und Individuenzahlen als auch die Diversitätsindizes der Leindotter-Erbsen-Mischfruchtkulturen gegenüber den reinen Erbsenkulturen zeigen dies deutlich.

In dieser Studie wurden einerseits Bestäubergemeinschaften unterschiedlicher Kulturen (Erbsen und Leindotter-Erbsen) unter identischen geografischen und zeitlichen Bedingungen im Frühjahr verglichen, sowie andererseits eine Leindotterkultur betrachtet, die im Spätsommer als Alternative zur Brachfläche als Zweitfrucht angebaut wird. Die gesonderte Betrachtung der Leindotterkultur wird dabei, sowohl durch den natürlichen saisonalen Wechsel der auftretenden Arten und von Umweltfaktoren, als auch durch geografisch beeinflusste Abweichungen der Landschaftsstrukturen außerhalb der Versuchsflächen, bedingt. Erbsen- und Leindotter-Erbsen-Mischfruchtkulturen unterlagen hingegen vergleichbaren Effekten. Der Lebensraum von Wildbienen muss der jeweiligen Art entsprechenden klimatischen Ansprüchen genügen, Nist-

plätze und ggf. dazu benötigtes Baumaterial aufweisen sowie bestimmte Nahrungsquellen in ausreichender Menge bieten (Westrich, 2019). Das Vorhandensein oder Fehlen dieser artspezifischen Voraussetzungen hat deutliche Auswirkungen auf die in einer Kultur vorkommenden Arten. Auch Forcella et al. (2021) beschreiben eine deutliche Korrelation des Vorkommens verschiedener Insektengruppen auf Leindotterkulturen mit bestimmten Wetter- und Landschaftsbedingungen. Dies zeigt sich auch durch die Unterschiede der in vorliegender Studie festgestellten Bestäubergemeinschaften im Frühjahr und Spätsommer, deren Gattungs- und somit auch Artensammensetzung sich deutlich unterscheidet. Die jeweils dominantesten Arten, welche sich sowohl anhand ihrer Jahreszyklen als auch ihrer ökologischen und nahrungsbezogenen Ansprüche unterscheiden, zeigen dies beispielhaft. Die auf den Erbsen- und Mischfruchtfeldern am stärksten auftretenden Wildbienen, die Grauschwarze Düstersandbiene *Andrena cineraria* und die Erzfarbene Sandbiene *Andrena nigroaenea* waren nur im Frühjahr vertreten, im Spätsommer waren hingegen wie erwartet, Arten wie die Schwarze Köhler-Sandbiene *Andrena pilipes* und die Vierbindige Furchenbiene *Halictus quadricinctus* am dominantesten, während typische Frühjahrsbienen nicht mehr registriert werden konnten. Die überwiegende Mehrheit der erfassten Bestäuberarten sind Pollengeneralisten, die neben anderen Familien häufig gelblühende Kreuzblütengewächse wie Senf und Raps besuchen. Die Untersuchung im Spätsommer ermöglichte insgesamt zwar keinen Vergleich, jedoch eine Ergänzung zur Bewertung der Attraktivität von Leindotter auf Bestäuber.

Es zeigte sich anhand der Verteilung der Individuen auf die vorhandenen Bestäubergruppen und den unterschiedlich ausgeprägten Dominanzverhältnissen in den drei Versuchsjahren, dass alle untersuchten Bestäubergruppen (Honigbienen, Wildbienen inkl. Hummeln und Schwebfliegen) Leindotter als attraktive Nahrungspflanze annehmen, darunter auch als gefährdet gelistete Arten. Leindotter bietet Bestäubern eine attraktive Nahrungsquelle, wie bereits Groeneveld & Klein (2014) anhand von Besuchsraten an Leindotterblüten zeigen konnten. Die Studie zeigt, dass Leindotter vor allem von Honigbienen und Wildbienen frequentiert wird. Die Anzahl der Blütenbesucher des Leindotters war dabei fast viermal so hoch wie die des zeitgleich blühenden Ackerhellerkrauts. In den USA wurde der Wert verschiedener Ölpflanzen für Bestäuber analysiert. Auch diese Studien heben den Wert des Leindotters für Bienen hervor. Die Autoren zeigten auf, dass die Nektarproduktion von Leindotterfeldern bei 100 kg Zucker je Hektar lag und somit höher ist als die von Raps mit 83 kg/ha und Ackerhellerkraut mit 13 kg/ha (Eberle et al. 2014 und 2015). Pollen hingegen wird nach Thom et al. (2018) im Vergleich zu anderen Ölpflanzen wie beispielsweise Raps (50-150 kg/ha) eher weniger produziert (≤ 40 kg/ha). Die Ergebnisse dieser Studie lassen auch den Schluss zu, dass Leindotter für Honigbienen als Trachtpflanze fungieren kann. Dies konnte, neben der Beobachtung und Erfassung zahlreicher Honigbienen in allen untersuchten Kulturen, auch durch den Austausch mit Vertretern der Leindotter-Initiative e. V. bzw. mehreren an Leindotter interessierten Imkern bekräftigt werden (pers. Mitteilungen). Durch den Anbau von Leindotter im Frühjahr und Spätsommer können demnach sowohl im Juni als auch im August nach der Rapsblüte Trachtlücken

geschlossen werden, wovon letztendlich alle Bestäuber in Jahreszeiten mit ansonsten nur geringem Blütenangebot profitieren.

Auch die Betrachtung der Diversität der Bestäuber anhand der berechneten Diversitätsindizes zeigt, dass der zusätzliche Anbau von Leindotter in Erbsenkulturen die Vielfalt von Bestäubern in Agrarlandschaften stärkt. In einer belgischen Studie wurde bei Untersuchungen von Leindotterblühstreifen in Winter-Weizen ein Indexwert von $H_s = 2,31$ für Bestäuber (Wildbienen und Schwebfliegen) festgestellt, deren Diversität ebenfalls mittels Fangschalen und Sichtfängen erhoben wurde (Amy et al., 2018). Dies entspricht dem Bereich der hier festgestellten Durchschnittswerte für die Reinkulturen von $H_s = 2,39$ für Erbsen und $H_s = 2,24$ für Leindotter. Die gleiche Studie zeigte, dass eine Erhöhung des Blütenangebots ebenso die Diversität, vor allem der Schwebfliegen, signifikant erhöhte. Dies zeigt auch die vorliegende Studie, welche im Mischfruchtanbau hohe Durchschnittswerte durch den zusätzlichen Anbau von Leindotter mit $H_s = 2,86$ erreichte. Auch alle erhobenen Indexwerte für die einzelnen Bestäubergruppen lagen über den Werten der reinen Erbsenkultur. Prinzipiell liegt die Obergrenze für die Diversität eines untersuchten Systems bei dessen theoretischem Maximalwert (H_{max}), der von der Anzahl vorgefundener Arten abhängt. Auch diese berechneten Maximalwerte liegen für die Leindotter-Erbsen-Mischfrucht-kulturen zwischen 3,83 und 4,09 und somit deutlich höher als die für die reinen Erbsenkulturen festgestellten Werte, welche zwischen 3,47 und 3,78 liegen. Dies untermauert die Annahme, dass bereits die Umwandlung einer Reinkultur in eine Mischfruchtkultur und die damit verbundene großflächige Erhöhung des Blütenangebots um nur eine Art, die Diversität in Agrarlandschaften stärken kann.

Die Wichtigkeit eines diversen Pflanzenangebots in oder um landwirtschaftliche Kulturen und der damit verbundene positive Einfluss auf Bestäuber und Nützlinge ist schon lange bekannt (Van Emden, 1965). Die Förderung von Nützlingen durch Maßnahmen wie Blühstreifen und Mischfruchtanbau gilt als vorbeugende Maßnahme zur Schädlingsregulierung im biologischen Pflanzenschutz (Gurr et al., 2003). Marienkäfer (Larven und Adulte) und Florfliegenlarven sind effektive Gegenspieler von Blattläusen, wobei einzelne Larven bis zu 700 Individuen fressen und deren Schadwirkung bereits durch fünf Gegenspieler pro m^2 effektiv reguliert werden kann (Kühne et al., 2006). Im Leindotter-Erbsen-Mischfruchtanbau zeigten sich gegenüber dem Anbau reiner Erbsenkulturen deutlich mehr Nützlinge. Auch Schwebfliegen finden in den Mischfruchtfeldern optimale Voraussetzungen. Adulte Tiere ernähren sich von Pollen und Nektar des Leindotters und die Blattlauskolonien der Erbsenpflanzen bieten die Basis zu deren Fortpflanzung. Auch die durchgeführten Beobachtungseinheiten verdeutlichen den im Feld bereits optisch erhaltenen Eindruck eines Mehraufkommens von Bestäubern und Nützlingen in der Leindotter-Erbsen-Mischfrucht. Trotz dieses erhöhten Aufkommens von Blattlausprädatoren auf den Mischfruchtfeldern und entgegen der Beobachtung einiger LandwirtInnen, konnte jedoch anhand der aufgenommenen Daten durch die Blattlausbonitur kein deutlicher Effekt auf die Blattlauspopulationen festgestellt werden. In den Jahren 2019 und 2020 entwickelten sich die Blattlauskolonien

der Erbsenfelder gleich mit denen der Mischfruchtfelder. In den Jahren 2020 und 2021 war das Vorkommen sehr gering (< 6 Blattläuse pro Pflanze). Die Tatsache, dass 2019 das einzige Jahr mit einem erhöhten Blattlausvorkommen war, brachte keine sichtbaren Unterschiede in den Tendenzen der Ergebnisse. Nur im Jahr 2021 zeigte sich eine Verringerung der Blattläuse um 15 % und eine Abnahme der Anzahl der Blattläuse ab der zweiten Untersuchungswoche; somit war das Jahr 2021 das einzige Jahr, in dem die Entwicklung der Blattlauspopulationen tendenziell einen reduzierenden Einfluss durch Nützlinge vermuten lässt. Die verzögerte Entwicklung von Räuber- gegenüber Beutepopulationen zur Erreichung effektiver Populationsdichten ist bekannt und unterliegt zudem weiteren äußeren Faktoren, wie z. B. der Frühjahrsentwicklung von Blattläusen und den entsprechenden Antagonisten (Suter, 1977; Wetzal et al., 1987). Der Einfluss der Nützlinge auf die untersuchten Blattlauspopulationen entfaltete somit möglicherweise erst nach der kurzen Untersuchungsperiode von 14 Tagen sein volles Potenzial. Hierzu wären längerfristig angelegte Studien, welche die Populationsentwicklungen über die gesamte Saison erfassen, sinnvoll.

Durch die Kooperation mit externen LandwirtInnen, die Leindotter explizit im Rahmen des Projektes anbauten, bestand keine Möglichkeit auf die Auswahl der für die Studie zur Verfügung gestellten Schläge Einfluss zu nehmen. Auch durch den landwirtschaftlich erforderlichen jährlichen Wechsel der Kulturen auf den Schlägen, kam es zu Standortwechseln der Versuchsflächen und dadurch nicht vermeidbaren Abweichungen der Schlaggrößen und deren Zugänglichkeit. Letzteres führte zu einer nötigen Anpassung der Anordnung der Farbschalentransekte ab dem Jahr 2020. Im Rahmen des Projektes war die konventionelle Bewirtschaftung aller Anbauflächen vorgegeben, was neben den geringen Entfernungen der Untersuchungsflächen (Erbsen und Leindotter-Erbsen) dazu beitrug die Landschaftseffekte möglichst gering zu halten.

Die Verwendung unterschiedlicher Fangmethoden kann zu einer angemessenen Standardisierung der Erfassungsmethoden beitragen (Schuch et al., 2020) und begünstigt die Erweiterung des erfassten Artenspektrums (McCravy, 2018). Die Farbschalen in der vorliegenden Studie standen in einer unmittelbar blütenreichen Umgebung und waren zudem an die Höhe des umgebenden Blühhorizonts angepasst. Des Weiteren ist die gegenseitige Beeinflussung mehrerer Farbschalen ab einer Distanz von 5 m nicht mehr nachweisbar (Droege et al., 2010), daher ist eine Fernanlockung von Bestäubern, die Leindotter nicht als Nahrungsquelle annehmen, anders als z. B. bei Verwendung von erhöhten Farbschalen auf einem umgebrochenen Acker, unwahrscheinlich. Zu betonen ist die ausgesprochen schlechte Fängigkeit von Farbschalen gegenüber Tagfaltern, daher unterstützt das Ergebnis sehr stark die hohe Tagfalterdichte auf den Leindotterkulturen im Spätsommer. Die Ergänzung durch gezielte Sichtfänge konnte in der vorliegenden Studie eine Erhöhung des Artenspektrums erzielen. Die Dauer des Kescherns wurde zwar erst ab dem zweiten Untersuchungsjahr angeglichen, die Durchführung über drei Versuchsjahre hinweg, ermöglichte jedoch trotzdem eine angemessene Ergänzung zu den Fallenfängen. Die Ergebnisse der Fallen- und Sichtfangauswertung wurden außerdem durch die erhobenen Daten der Beobachtungseinheiten bekräftigt.

Fazit

Leindotter stellt, gerade angesichts des sich schnell ändernden Klimas, eine vielseitige und immer wichtiger werdende Nutzpflanze dar, die neben den bereits bestehenden Möglichkeiten, auch Anbau- und Nutzungspotenziale für die Zukunft birgt (Dhurba et al., 2022). Die Erkenntnisse dieser Studie unterstreichen, dass auch in der konventionellen Landwirtschaft intelligente Anbaukonzepte einen Beitrag dazu liefern können, die negativen Auswirkungen einer intensiven Landwirtschaft auf die Artenvielfalt zu vermindern, die Diversität zu stärken und wichtige Ökosystemleistungen in Agrarlandschaften zu erhalten. Die deutliche Förderung von Bestäubern und Nützlingen auf den Leindotter-Erbсен-Mischfruchtfeldern stellt den Wert von Leindotter als Nahrungsquelle für Insekten sowie die ökologische Sinnhaftigkeit des Mischfruchtanbaus mit Leindotter unter Beweis.

Erklärung zu Interessenskonflikten

Der Autor/die Autorinnen erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Danksagung

Den Rahmen dieser Studie bildete das Projekt „Etablierung eines großflächigen Mischfruchtanbaus von Erbsen und Leindotter zur Stärkung von Artenvielfalt und Ökosystemleistungen und Aufbau einer Wertschöpfungskette basierend auf nachhaltig produzierten, heimischen, nachwachsenden Rohstoffen“. Es wurde im Bundesprogramm Biologische Vielfalt durch das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz von 2018-2022 gefördert (Förderkennzeichen: 3517 685009).

Ein besonderer Dank gilt allen Projektbeteiligten für die hervorragende Kooperation, besonders den LandwirtInnen für die gute Zusammenarbeit und das zur Verfügung stellen ihrer Schläge zur Durchführung dieser Studie.

Zusatzinformationen

Zu diesem Artikel gibt es eine ergänzende Tabelle, die unter <https://doi.org/10.5073/JfK.2023.03-04.02> verfügbar ist:

| Tab. S. Gesamtartenliste und Gefährdung

Literatur

Ackermann, K., H. Saucke, 2005: Einfluss des Gemengepartners Leindotter (*Camelina sativa* L.) auf Beikrautbesatz, Schädlingsbefall und Ertrag in Körnererbsen. In: Heß, J., G. Rahmann (Hrsg.). *Ende der Nische: Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*. 01.-04. März 2005, Kassel, 75-76, ISBN 3-89958-115-6.

Akk, E., E. Ilumäe, 2005: Possibilities of growing *Camelina sativa* in ecological cultivation. Estonian Research Institute Agriculture, 28-33, URL: <https://www.researchgate.net/publication/268411025>. Zugriff: 08.06.2022.

Almeida, F. N., J.K. Htoo, J. Thomson, H.H. Stein, 2013: Amino acid digestibility in camelina products fed to growing pigs. *Canadian Journal of Animal Science* **93** (3), 335-343, DOI: 10.4141/cjas2012-134.

Amiet, F., M. Herrmann, A. Müller, R. Neumeyer, 2001: *Fauna Helvetica: Apidae 3 – Halictus, Lasioglossum*. Neuchâtel, CH, CSCF & SEG, ISBN: 2-88414-017-4.

Amiet, F., M. Herrmann, A. Müller, R. Neumeyer, 2004: *Fauna Helvetica: Apidae 4 – Anthidium, Chelostoma, Coelioxys, Dioxys, Heriades, Lithurgus, Megachile, Osmia, Stelis*. Neuchâtel, CH, CFCS & SEG, ISBN: 2-88414-021-2.

Amiet, F., M. Herrmann, A. Müller, R. Neumeyer, 2007: *Apidae 5 – Ammobates, Ammobatoides, Anthophora, Biastes, Ceratina, Dasypoda, Epeoloides, Epeolus, Eucera, Macropis, Melecta, Melitta, Nomada, Pasites, Tetralonia, Thyreus, Xylocopa*. Neuchâtel, CH, CSCF & SEG, ISBN: 978-2-88414-032-4.

Amiet, F., M. Herrmann, A. Müller, R. Neumeyer, 2010: *Fauna Helvetica: Apidae 6 – Andrena, Mellitturga, Panurginus, Panurgus*. Neuchâtel, CH, CSCF & SEG, ISBN: 978-2-88414-039-3.

Amiet, F., M. Herrmann, A. Müller, R. Neumeyer, 2014: *Fauna Helvetica: Apidae 2 – Colletes, Dufoura, Hylaeus, Nomia, Nomioides, Rophitoides, Rophites, Sphecodes, Systropa*. Neuchâtel, CH, CSCF & SEG, ISBN: 978-2-88414-015-7.

Amiet, F., A. Müller, C. Praz, 2017: *Fauna Helvetica: Apidae 1 – Allgemeiner Teil, Gattungen Apis, Bombus*. Neuchâtel, CH, CSCF & SEG, ISBN: 978-2-88414-042-3.

Amy, C., G. Noël, S. Hatt, R. Uyttenbroeck, F. van de Meutter, D. Genoud, F. Francis, 2018: Flower strips in wheat intercropping system: Effect on pollinator abundance and diversity in Belgium. *Insects* **9** (3), DOI: 10.3390/insects9030114.

Aufhammer, W., 1999: *Mischanbau von Getreide- und anderen Körnerfruchtarten. Ein Beitrag zur Nutzung von Biodiversität im Pflanzenbau*. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, ISBN: 978-3800141357.

Aziza, A.E., N. Quezada, G. Cherian, 2010: Antioxidative effect of dietary Camelina meal in fresh, stored, or cooked broiler chicken meat. *Poultry Science* **89** (12), 2711-2718, DOI: 10.3382/ps.2009-00548.

Ball, S., R. Morris, 2015: *Britain's Hoverflies – A field guide*. New Jersey, UK, Princeton University Press, ISBN: 978-0-691-16441-0.

Bernardo, A., R. Howard-Hildige, A. O'Connell, R. Nichol, J. Ryan, B. Rice, E. Roche, J.J. Leathy, 2003: Camelina oil as a fuel for diesel transport engines. *Industrial Crops and Products* **17**, 191-197, DOI: 10.1016/S0926-6690(02)00098-5.

Bertrand, M., 2004: Leindotteröl – ein altes Pflanzenöl mit neuer Zukunft?. *Ernährungs-Umschau* **51** (1), 12-16.

BfN, 2022: *Insektenrückgang – Daten, Fakten, Handlungsbedarf*. Bundesamt für Naturschutz (BfN), URL: <https://www.bfn.de/insektenrueckgang>. Zugriff: 08.06.2022.

BLE, 2018: *Rote Liste der gefährdeten einheimischen Nutzpflanzen in Deutschland*, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), URL: <https://pgrdeu.genres.de/on-farm-bewirtschaftung/rote-liste-nutzpflanzen/>. Zugriff: 08.06.2022.

- Böhme, H., G. Flachowsky, 2005:** Zur Eignung von Leindotterpresskuchen als Futtermittel für Schweine, Wiederkäuer und Geflügel. *Landbauforschung Völkenrode* **55** (3), 157-162.
- Bot, S., F. van de Meutetter, 2019:** *Zweefvliegen*. Zeist, NL, KNNV Uitgeverij, ISBN: 978-90-5011-756-2.
- Chinery, M., 2012:** *Pareys Buch der Insekten*. Stuttgart, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, ISBN: 978-3-440-13289-0.
- Dhurba, N., H.L. Richard, J.K.Q. Solomon, J.C. Cushman, 2022:** Realizing the Potential of *Camelina sativa* as a Bioenergy Crop for a Changing Global Climate. *Plants* **11** (6), 772, DOI: 10.3390/plants11060772.
- Droege, S., V.J. Tepedino, G. Lebuhn, W. Link, R.L. Minckley, Q. Chen, C. Conrad, 2010:** Spatial patterns of bee captures in North American bowl trapping surveys. *Insect Conservation and Diversity* **3** (1), 15-23, DOI: 10.1111/j.1752-4598.2009.00074.x.
- Eberle, C.A., F. Forcella, J.G. Lundgren, K.T. Nemeč, R.W. Gesch, W.E. Riedell, S.K. Papiernik, M. Thom, 2014:** Using cash cover crops to provide pollinator provisions in the upper Midwest. ASA, CSSA & SSSA: International Annual Meeting: Grand Challenges, Great Solutions. 2.-5. November, Long Beach, Kalifornien, USA.
- Eberle, C.A., M.D. Thom, K.T. Nemeč, F. Forcella, J.G. Lundgren, R.W. Gesch, W.E. Riedell, S.K. Papiernik, A. Wagner, D.H. Peterson, J.J. Eklund, 2015:** Using pennycress, camelina, and canola cash cover crops to provision pollinators. *Industrial Crops and Products* **75** (B), 20-25, DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.06.026.
- EEA, 2010:** *Assessing biodiversity in Europe – the 2010 report 5/2010*. European Environment Agency (EEA), Copenhagen, DK, 58 S., DOI: 10.2800/42824.
- Eynck, C., K. Falk, 2013:** *Camelina (Camelina sativa)*. In: B.P. Singh (Hrsg.). *Biofuel Crops: Production, Physiology and Genetics*. CAB International (CABI), Wallingford, UK, 369-391, ISBN: 978-1845938857.
- Forcella, F., S. Patel, A.W. Lenssen, C. Hoerning, M.S. Wells, R.W. Gesch, M.T. Berti, 2021:** Weather and landscape influences on pollinator visitation of flowering winter oilseeds (field pennycress and winter camelina). *Journal of Applied Entomology*, **145** (4), 286-294, DOI: 10.1111/jen.12854.
- Froschhammer, P., H. Schulz, J. Heß, 2015:** Mischfruchtanbau mit Soja und Leindotter. In: Häring, A.M., B. Hörning, R. Hoffmann-Bahnsen, H. Luley, V. Luthardt, J. Pape, G. Trei (Hrsg.): *Am Mut hängt der Erfolg: Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landbewirtschaftung: Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, 17.-20. März 2015, Eberswalde, 292-294, ISBN: 978-3895748851.
- Gallai, N., J. Salles, J. Settele, B. Vaissiere, 2009:** Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with world pollinator decline. *Ecological Economics* **68** (3), 810-821, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.06.014.
- Gokcezade, J., B.A. Greben-Krenn, J. Neumayer, 2017:** *Feldbestimmungsschlüssel für die Hummeln Deutschlands, Österreichs und der Schweiz*. Wiebelsheim, Quelle & Meyer Verlag GmbH & Co., ISBN: 978-3-494-01787-7.
- Gollner, G., C. Gabler, S. Grausgruber-Gröger, J.K. Friedel, H. Grausgruber, B. Freyer, 2010:** Körnerleguminosen in Mischkulturen mit Leindotter (*Camelina sativa*) im Ökologischen Landbau unter pannonischen Standortbedingungen. *Journal für Kulturpflanzen* **62** (11), 402-408, DOI: 10.5073/JfK.2010.11.02.
- Groeneveld, J., A.M. Klein, 2014:** Pollination of two oil-producing plant species: Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) and pennycress (*Thlaspi arvense* L.) double-cropping in Germany. *Global Change Biology – Bioenergy* **6**, 242-251, DOI: 10.1111/gcbb.12122.
- Gurr, G.M., D.S. Wratten, J.M. Luna, 2003:** Multi-function agricultural biodiversity: pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology* **4** (2), 107-116, DOI: 10.1078/1439-1791-00122.
- Hallmann, C.A., M. Sorg, E. Jongejans, H. Sipel, N. Hofland, H. Schwan, W. Sternmans, A. Müller, H. Sumser, T. Hörren, D. Goulson, H. de Kroon, H., 2017:** More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS One* **12** (10), DOI: 10.1371/journal.pone.0185809.
- Heyland, H.H., 2006:** *Handbuch des Pflanzenbaus 4: Ölfrüchte, Faserpflanzen, Arzneipflanzen und Sonderkulturen*. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, ISBN: 978-3-8001-3203-4.
- Insektenatlas, 2020:** *Insektenatlas – Daten und Fakten über Nütz- und Schädlinge in der Landwirtschaft – 4.0 international*. Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland und Le Monde Diplomatie (Hrsg.), 2. Auflage, ISBN: 978-3-86928-215-2.
- Karg, S., E. Weber, 2019:** *Heilsam Kleidsam Wundersam – Pflanzen im Alltag der Steinzeitmenschen*. Darmstadt, wbG Theiss in Wissenschaftliche Buchgesellschaft (wbG), ISBN: 978-3806238860.
- Knörzer, K.H., 1978:** Entwicklung und Ausbreitung des Leindotters (*Camelina sativa* s.l.). *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* **91** (1), 187-195, DOI: 10.1111/j.1438-8677.1978.tb03642.
- Kühne, S., U. Burth, P. Marx, 2006:** *Biologischer Pflanzenschutz im Freiland: Pflanzengesundheit im ökologischen Landbau*. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, ISBN: 978-3800147816.
- Majerus, M., P. Kearns, 1989:** *Ladybirds – Naturalists Handbooks 10*. Slough, UK, The Richmond Publishing Co. Ltd, ISBN: 978-0855462673.
- Makowski, N., 1993:** Anbau von Leindotter. *Raps* **2**, 73-77
- Mauss, V., 1987:** *Bestimmungsschlüssel für die Hummeln der Bundesrepublik Deutschland*. Hamburg, Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung (DJN), 50 S.
- McCravy, K., 2018:** A Review of Sampling and Monitoring Methods for Beneficial Arthropods in Agroecosystems. *Insects* **9**, 170, DOI: 10.3390/insects9040170.
- Moser, B., 2010:** Camelina (*Camelina sativa* L.) oils as a biofuels feedstock: golden opportunity or false hope?. *Lipid Technology* **22** (12), 270-273, DOI: 10.1002/lite.201000068.

- Paulsen, H.M., 2007:** Mischfruchtanbausysteme mit Ölpflanzen im ökologischen Landbau 1. Ertragsstruktur des Mischfruchtanbaus von Leguminosen oder Sommerweizen mit Leindotter (*Camelina sativa* L. Crantz). Landbauforschung Völkenrode **57**, 107-117.
- Paulsen, H.M., M. Schochow, 2007:** Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau: Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 309, URL: <http://forschung.oekolandbau.de> (BÖL-Bericht-ID 13217).
- Paulsen, H.M., V. Wichmann, U. Shuemann, B. Richter, 2011:** Use of straight vegetable oil mixtures of rape and camelina as on farm fuels in agriculture. Biomass and Bioenergy **35** (9), 4015-4024, DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.06.031.
- Pauly, A., 2015:** Clés illustrées pour l'identification des abeilles de Belgique et des régions limitrophes (Hymenoptera: Apoidea) I. Halictidae (Französisch). In: *Clé des Halictidae de Belgique, Document de Travail du Projet BELBEES*. Bruxelles, BE, Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, 118 S.
- Pilgeram, A.L., D.C. Sands, D. Boss, N. Dale, D. Wichman, P. Lamb, C. Lu, R. Barrows, M. Kirkpatrick, B. Thompson, D.L. Johnson, 2007:** *Camelina sativa*, A Montana Omega-3 and Fuel Crop. In: Janick, J., A. Whipkey (Hrsg.), Issues in new crops and new uses. Alexandria, USA, ASHS Press, 129-131.
- Potts, S.G., J.C. Biesmeijer, C. Kremen, P. Neumann, O. Schweiger, W.E. Kunin, 2010:** Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. Trends in Ecology & Evolution **25** (6), 345-353, DOI: 10.1016/j.tree.2010.01.007.
- Putnam, D., J. Budin, L.A. Field, W. Breene, 1993:** Camelina: A promising low-input oilseed. In: Janick, J., J.E. Simon (Hrsg.), *New crops*. New York, USA, Wiley, 314-322.
- Robinson, R., 1987:** *Camelina: A useful research crop and a potential oilseed crop*. Minnesota, USA, Minnesota Agricultural Experiment Station, University of Minnesota, Station Bulletin 579.
- Saucke, H., K. Ackermann, 2006:** Weed suppression in mixed cropped grain peas and false flax (*Camelina sativa*). Weed Research **46** (6), 453-461, DOI: 10.1111/j.1365-3180.2006.00530.x.
- Scheuchl, E., 2006:** *Illustrierte Bestimmungstabellen der Wildbienen Deutschlands und Österreich. Band II: Megachilidae – Melittidae*. Velden, Eigenverlag Erwin Scheuchl, ISBN: 9788788757613.
- Schuch, S., H. Ludwig, K. Wesche, 2020:** *Erfassungsmethoden für ein Insektenmonitoring. Eine Materialsammlung*, Bonn, Bundesamt für Naturschutz (BfN). BfN-Skripten 565, ISBN: 978-3-89624-326-3.
- Sorg, M., H. Schwan, W. Sternmans, A. Müller, 2013:** Ermittlung der Biomassen flugaktiver Insekten im Naturschutzgebiet Orbroicher Bruch mit Malaise Fallen in den Jahren 1989 und 2013. Mitteilungen aus dem Entomologischen Verein Krefeld **1**, 1-5.
- Ssymank, A., D. Doczkal, K. Rennwald, F. Dziock, 2011:** Rote Liste und Gesamtartenliste der Schwebfliegen (Diptera: Syrphidae) Deutschlands. In: Binot-Hafke, M., S. Balzer, N. Becker, H. Gruttke, H. Haupt, N. Hofbauer, G. Ludwig, G. Matzke-Hajek, M. Strauch, (Red.): *Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands, Band 3: Wirbellose Tiere (Teil 1)*. Münster, Landwirtschaftsverlag – Naturschutz und Biologische Vielfalt **70** (3), 13-83.
- Suter, H., 1977:** *Populationsdynamik der Erbsenblattlaus (Acyrtosiphon pisum Harr.) und ihrer Antagonisten*. Dissertation, Zürich: ETH Library.
- Thom, M., C.A. Eberle, F. Forcella, R. Gesch, S. Weyers, 2018:** Specialty oilseed crops provide an abundant source of pollen for pollinators and beneficial insects. Journal of Applied Entomology **142** (1-2), 211-222, DOI: 10.1111/jen.12401.
- UFZ, 2019:** *Bestimmungstabellen und Bestimmungshilfen für Tagfalter*, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ), URL: <https://www.ufz.de/tagfalter-monitoring/index.php?de=41776>, Zugriff: 12. April 2019.
- van Emden, H., 1965:** The Role of Uncultivated Land in the Biology of Crop Pests and Beneficial Insects. Scientific Horticulture **17**, 121-136.
- van Veen, M., 2004:** *Hoverflies of Northwest Europe – Identification keys to the Syrphidae*. Zeist, NL, KNNV Publishing, ISBN: 978-90-5011-199-7.
- Waraich, E.A., R. Ahmad, M.Y. Ashraf, N.V. Saifullah, M.S. Naeem, Z. Rengel, 2013:** *Camelina sativa*, a climate proof crop, has high nutritive value and multiple-uses: a review. Australian Journal of Crop Science **7** (10), 1551-1559.
- Westphal, C., R. Bommarco, G. Carré, E. Lamborn, N. Morison, T. Petanidou, S.G. Potts, S.P.M. Roberts, H. Szentgyörgyi, T. Tscheulin, B.E. Vaissière, M. Woyciechowski, J.C. Biesmeijer, W.E. Kunin, J. Settele, I. Steffan-Dewenter, 2008:** Measuring bee diversity in different European habitat and biogeographical regions. Ecological Monographs **78** (4), 653-671.
- Westrich, P., 2019:** *Die Wildbienen Deutschlands*. 2. Auflage. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, ISBN: 978-3-8186-0880.
- Westrich, P., U. Frommer, K. Mandery, H. Riemann, H. Ruhnke, C. Saure, J. Voith, 2011:** Rote Liste und Gesamtartenliste der Bienen (Hymenoptera, Apidae) Deutschlands. In: Binot-Hafke, M.; Balzer, S.; Becker, N.; Gruttke, H.; Haupt, H.; Hofbauer, N.; Ludwig, G.; Matzke-Hajek, G. & Strauch, M. (Red.): *Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. Band 3: Wirbellose Tiere (Teil 1)*. Münster, Landwirtschaftsverlag – Naturschutz und Biologische Vielfalt **70** (3), 373-416.
- Wetzel, T., F. Holz, A. Stark, 1987:** Bedeutung von Nützlingspopulationen bei der Regulation von Schädlingspopulationen im Getreidebestand. Nachrichtenblatt für den Deutschen Pflanzenschutzdienst **39**, 1-7.
- Zattara, E., M. Aizen, 2021:** Worldwide occurrence records suggest a global decline in bee species richness. One Earth **4** (1), 114-123, DOI: 10.1101/869784.
- Zubr, J., 1997:** Oil-seed crop: *Camelina sativa*. Industrial Crops and Products **6** (2), 113-119, DOI: 10.1016/S0926-6690(96)00203-8.