

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Projektträger Bundesanstalt
für Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht zum Thema

“Regulierende Ökosystemleistungen in Fruchtfolgen mit Ackerbohnen (*Vicia faba*) und Erbsen (*Pisum sativum*): Quantifizierung, Bewertung und Realisierung (RELEVANT)“

FKZ: 2815EPS016/-060 & -061

Projektnehmer:
Georg-August-Universität Göttingen
Thünen-Institut
Fachhochschule Südwestfalen

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen der BMEL Eiweißpflanzenstrategie.

Abschlussbericht

Regulierende Ökosystemleistungen in Fruchtfolgen mit Ackerbohnen (*Vicia faba*) und Erbsen (*Pisum sativum*): Quantifizierung, Bewertung und Realisierung (RELEVANT)



Nicole Beyer

**Nicole Beyer, Jens Dauber, Friedrich Kerkhof, Christina
Schlangen, Katharina Schulz, Catrin Westphal**

Laufzeit 01.03.2017 – 31.12.2020

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Projektträger Bundesanstalt
für Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Göttingen, den 30.01.2021



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN



Kurzfassung

Regulierende Ökosystemleistungen in Fruchtfolgen mit Ackerbohnen (*Vicia faba*) und Erbsen (*Pisum sativum*): Quantifizierung, Bewertung und Realisierung (RELEVANT)

Nicole Beyer, Jens Dauber, Friedrich Kerkhof, Christina Schlangen, Katharina Schulz, Catrin Westphal*

*Kontakt: Prof. Dr. Catrin Westphal, Universität Göttingen, Funktionelle Agrobiodiversität, Grisebachstr. 6, 37077 Göttingen, cwestph@gwdg.de

Die kombinierten Wirkungen diversifizierter Fruchtfolgen mit Körnerleguminosen in konventionellen Anbausystemen sind wenig untersucht. Wir haben die Effekte des Anbaus von Ackerbohnen (*Vicia faba*) auf die Vielfalt und Abundanz von Bestäubern und Raubarthropoden, die biologische Schädlingskontrolle und die Kulturpflanzenbestäubung untersucht. Zudem wurden Vorfrucht- und Nachbarschaftseffekte analysiert. Ökonomische und agronomische Daten wurden anhand von Betriebsbefragungen erhoben.

Die Ergebnisse zeigen, dass v. a. Hummeln vom Ackerbohnenanbau profitieren, andere Wildbienen aber von blütenreichen, naturnahen Lebensräumen in der Agrarlandschaft abhängen. Insektenbestäubung ist ein wichtiger Parameter für die Ertragsbildung bei Ackerbohnen und Raps. Es zeigte sich ein positiver Nachbarschaftseffekt der Ackerbohne auf vegetationsbewohnende Nützlinge. Zudem waren die Aktivitätsdichten von Spinnen in Landschaften mit Ackerbohne höher als in Landschaften ohne Ackerbohne. Ackerbohnen können in einzelnen Jahren unter Einbezug des monetären Vorfruchtwerts eine wirtschaftlich konkurrenzfähige Alternative zu den übrigen Hauptkulturen sein, die allerdings stark von den gegebenen Standort- und Witterungsbedingungen beeinflusst wird.

Der Anbau von Ackerbohnen bringt landwirtschaftlichen Betrieben agronomische Vorteile. Allerdings zeigte sich auch eine Volatilität in der Wirtschaftlichkeit des Ackerbohnenanbaus. Hinsichtlich der ökologischen Wirkungen sollte der Ackerbohnenanbau mit anderen Maßnahmen (v. a. die Wiederherstellung und der Erhalt von halbnatürlichen Habitaten) kombiniert werden, die auch für die Bereitstellung von Ökosystemleistungen wie biologische Schädlingskontrolle oder Bestäubung von Relevanz sind.



Abstract

Regulating ecosystem services in crop rotations with faba beans (*Vicia faba*) and peas (*Pisum sativum*): Quantification, evaluation and realization (RELEVANT)

Nicole Beyer, Jens Dauber, Friedrich Kerkhof, Christina Schlangen, Katharina Schulz, Catrin Westphal*

*Contact: Prof. Dr. Catrin Westphal, University of Göttingen, Functional Agrobiodiversity, Grisebachstr. 6, 37077 Göttingen, cwestph@gwdg.de

The combined effects of diversified crop rotations with grain legumes in conventional cropping systems are not well studied. Here we investigated the effects of faba beans (*Vicia faba*) on the species richness and abundance of pollinators and arthropod predators, biological control and crop pollination. In addition, pre-crop crop and neighborhood effects were analyzed. Economic and agronomic data were collected through farm surveys.

The results show that particularly bumblebees benefit from faba bean cultivation while other wild bees depend on flower-rich semi-natural habitats in the agricultural landscape. Insect pollination is an important parameter for yield formation in faba bean and oilseed rape (*Brassica napus*). A positive neighborhood effect of faba bean on vegetation-dwelling beneficial insects was shown. In addition, spider activity densities were higher in landscapes with faba beans than in landscapes without faba bean fields. In certain years, faba bean cultivation can be an economically competitive alternative to other main crops when the monetary value of preceding crops is considered. However, faba bean yields are strongly influenced by environmental conditions.

Growing faba beans provides agronomic benefits to farms. However, we found high volatility in the profitability of faba bean cultivation. In terms of ecological effects, faba bean cultivation should be combined with other measures (especially the restoration and maintenance of semi-natural habitats) that are highly relevant for the provision of ecosystem services, such as biological pest control or pollination.

Inhalt

1. Einführung	5
1.1 Gegenstand des Vorhabens.....	5
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen der Eiweißpflanzenstrategie oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen (www.ble.de/eiweisspflanzenstrategie)	6
1.3 Planung und Ablauf des Projektes	8
2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	9
3. Material und Methoden	11
3.1 Auswahl der Untersuchungsgebiete und experimentelles Design	11
3.2 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Bestäuber und ihre Bestäubungsleistung.....	13
3.2.1 Abundanz und Artenvielfalt von Bestäubern in Ackerrandstreifen und naturnahen Habitaten	13
3.2.2 Reproduktion und Ressourcennutzung von Hummelkolonien	14
3.2.3 Bestäuberverhalten, Bestäubungsleistung und Erträge von <i>V. faba</i> (Bestäubungsexperiment).....	15
3.2.4 Bestäuberleistung und Erträge von Raps (Bestäubungsexperiment)	16
3.2.5 Abundanz und Artenreichtum von hohlraumnistenden Bienen und Wespen .	17
3.3 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Raubarthropoden und biologische Schädlingskontrolle	18
3.3.1 Bedeutung der Ackerbohne für epigäische Raubarthropoden in der Fruchtfolge und im Landschaftsmaßstab.....	18
3.3.2 Nachbarschaftseffekte der Ackerbohne: Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen sowie Schadschwellenermittlung.....	20
3.3.3 Vorfruchteffekte der Ackerbohne auf epigäische Raubarthropoden, Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen sowie Schadschwellenermittlung	23
3.4 Agrarökonomische und pflanzenbauliche Bewertung des Leguminosenanbaus..	25
3.4.1 Datenerhebung.....	25
3.4.2 Auswertung der Betriebsdaten.....	26
3.4.3 Berechnung des Energie- und Produktionsmitteleinsatzes in kg-CO ₂ -Äquivalente	28
4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse.....	30

4.1 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Bestäuber und ihre Bestäubungsleistung.....	30
4.1.1 Abundanz und Artenvielfalt von Bestäubern in Ackerrandstreifen und naturnahen Habitaten.....	30
4.1.2 Reproduktion und Ressourcennutzung von Hummelkolonien	33
4.1.3 Bestäuberverhalten, Bestäubungsleistung und Erträge von <i>V. faba</i> (Bestäubungsexperiment).....	33
4.1.4 Bestäubungsleistung und Erträge von Raps (Bestäubungsexperiment).....	36
4.1.5 Abundanz und Artenreichtum von hohlraumnistenden Bienen und Wespen .	37
4.2 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Raubarthropoden und biologische Schädlingskontrolle	39
4.2.1 Bedeutung der Ackerbohne für epigäische Raubarthropoden in der Fruchtfolge und im Landschaftsmaßstab.....	39
4.2.2 Nachbarschaftseffekte der Ackerbohne: Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen sowie Schadschwellenermittlung.....	42
4.2.3 Vorfruchteffekte der Ackerbohne auf epigäische Raubarthropoden, Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen sowie Schadschwellenermittlung.....	45
4.3 Agrarökonomische und pflanzenbauliche Bewertung des Leguminosenanbaus..	47
4.3.1 Wirtschaftlichkeit.....	47
4.3.2 Ökonomische und pflanzenbauliche Bewertung der Vorfrucht-, Nachbarschafts- und Landschaftseffekte	52
4.3.3 Motivation zum Anbau	53
4.3.4 Energie- und Produktionsmitteleinsatz in CO ₂ -Äquivalente	56
5. Diskussion der Ergebnisse	58
5.1 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Bestäuber und ihre Bestäubungsleistung.....	58
5.1.1. Abundanz und Artenvielfalt von Bestäubern in Ackerrandstreifen	58
5.1.2 Reproduktion und Ressourcennutzung von Hummelkolonien	59
5.1.3 Bestäuberverhalten, Bestäubungsleistung und Erträge von <i>V. faba</i> (Bestäubungsexperiment).....	59
5.1.4 Bestäuberleistung und Erträge von Raps (Bestäubungsexperiment)	61
5.1.5 Abundanz und Artenreichtum von hohlraumnistenden Bienen und Wespen .	61
5.2 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Raubarthropoden und biologische Schädlingskontrolle	62
5.2.1 Bedeutung der Ackerbohne für epigäische Raubarthropoden in der Fruchtfolge und im Landschaftsmaßstab.....	62

5.2.2 Nachbarschaftseffekte der Ackerbohne: Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen sowie Schadschwellenermittlung	63
5.2.3 Vorfruchteffekte der Ackerbohne auf epigäische Raubarthropoden, Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen sowie Schadschwellenermittlung	65
5.3 Agrarökonomische und pflanzenbauliche Bewertung des Leguminosenanbaus..	66
5.3.1 Wirtschaftlichkeit.....	66
5.3.2 Ökonomische und pflanzenbauliche Bewertung der Vorfrucht-, Nachbarschafts- und Landschaftseffekte	67
5.3.3 Motivation zum Anbau	68
5.3.4 Energie- und Produktionsmitteleinsatz in CO ₂ -Äquivalente	68
5.4 Gemeinsame Schlussfolgerung.....	69
5.4.1 Bestäuber und Bestäubungsleistung	69
5.4.2 Raubarthropoden und natürliche Schädlingskontrolle	69
5.4.3 Ökonomische Bewertung.....	70
5.4.4 Synthese: Ökologische und ökonomische Bewertung des Ackerbohnenanbaus	70
6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse	72
6.1 Bestäuber und Bestäubungsleistung	72
6.2 Arthropoden und natürliche Schädlingskontrolle.....	72
6.3 Agrarökonomische und pflanzenbauliche Bewertung	73
7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen	73
7.1 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Bestäuber und ihre Bestäubungsleistung.....	73
7.2 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Raubarthropoden und biologische Schädlingskontrolle	74
7.3 Agrarökonomische und pflanzenbauliche Bewertung des Leguminosenanbaus..	75
8. Zusammenfassung	76
9. Literaturverzeichnis.....	77
10. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt.....	85
10.1 Artikel in wissenschaftlichen Zeitschriften (<i>peer review</i>)	85
10.1.1 Veröffentlichte Artikel.....	85
10.1.2 Eingereichte Manuskripte	86
10.1.3 Manuskripte in Vorbereitung	86

10.2 Vorträge	86
10.2.1 Fachtagungen und Konferenzen.....	86
10.2.2 Projekttreffen, Fachvorträge und Seminarbeiträge.....	87
10.3 Andere Veröffentlichungen	88
10.3.1 Wissenschaftliche Abschlussarbeiten	88
10.3.2 Pressemitteilungen und populärwissenschaftliche Beiträge	88

1. Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Ein wesentliches Ziel des Förderprogramms der Eiweißpflanzenstrategie ist die Verbesserung des Ressourcenschutzes und die Förderung der biologischen Vielfalt und der von ihr erbrachten Ökosystemleistungen durch den Anbau von heimischen Leguminosen (BMEL 2012, 2015b). Durch den Anbau von Leguminosen können die oft engen Fruchtfolgen in der konventionellen Landwirtschaft erweitert und damit positive Effekte auf die Agrobiodiversität und die von ihr erbrachten Ökosystemleistungen erzielt werden. Allerdings sind die positiven ökologischen Effekte diversifizierter Fruchtfolgen mit Leguminosen im konventionellen Landbau noch nicht ausreichend untersucht (Böhm et al. 2020). Zudem ist nicht bekannt, wie sich der Anbau von Leguminosen auf die nachfolgenden Kulturen, auf den Schlägen (lokale Effekte) bzw. auf die Agrobiodiversität und Ökosystemleistungen auf der lokalen und der Betriebsebene (Landschaftseffekte) auswirkt. Im Rahmen des RELEVANT Projekts wurden insbesondere die Effekte des Ackerbohnenanbaus hinsichtlich ihrer landschaftsskaligen Wirkung auf Bestäuberinsekten, ihrer Vorfrucht- und Nachbarschaftseffekte auf Raubarthropoden sowie ihrer ökonomischen Bedeutung untersucht.

Neben der Eiweißpflanzenstrategie, haben auch die Agrobiodiversitätsstrategie (BMELV 2009) und die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2002, 2012) das Ziel die Agrobiodiversität und die von ihr erbrachten Ökosystemleistungen zu fördern und zu sichern. Auch auf der europäischen Ebene ist die Förderung der Agrobiodiversität und die Sicherung von Ökosystemleistungen ein wichtiges Ziel, das durch verschiedene agrarpolitische Instrumente (u.a. durch *Greening*; 1. Säule) und Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM; 2. Säule) realisiert werden soll (BMEL 2015b).

Mit den ökologischen Untersuchungen zu den Auswirkungen der erweiterten Fruchtfolgen und der ökologischen Wertigkeit von Leguminosen adressierte RELEVANT vorrangige Ziele der Eiweißpflanzenstrategie und trägt darüber hinaus auch zu Zielen nationaler und europäischer Strategien und Programme bei. Die Ergebnisse des Vorhabens können einen Beitrag zur praxisnahen Weiterentwicklung und Implementierung von lokalen und landschaftsskaligen Agrarumweltmaßnahmen leisten, die v.a. der Förderung von Bestäubern und ihrer Bestäubungsleistung dienen.

Ein weiteres wichtiges Ziel des Förderprogramms der Eiweißpflanzenstrategie ist der Ausgleich von Wettbewerbsnachteilen, wie z. B. komplexerer Anbauplanung, geringeren Erträgen und schwierigeren Vermarktungsmöglichkeiten von Körnerleguminosen im Vergleich zu anderen Kulturen (BMEL 2012, 2015b). Vielfältige Forschungsansätze, wie beispielsweise Züchtungsprogramme und die Optimierung von Wertschöpfungsketten, fokussieren bislang auf etablierte ökonomische Kenngrößen, berücksichtigen aber nicht die durch den Leguminosenanbau erbrachten Ökosystemleistungen und ihre gesellschaftliche Relevanz (DAFA 2012). Deshalb wurden im Rahmen des Vorhabens ökonomische und ökologische Analysen des Anbaus von Leguminosen unter Berücksichtigung der klassischen ökonomischen Kenngrößen (z. B. Erträge) und der erbrachten regulierenden Ökosystemleistungen (Bestäubung und natürliche Schädlingskontrolle) durchgeführt. Die Bewertung von Ökosystemleistungen auf der lokalen und betrieblichen Ebene soll helfen neue Anreize für den Anbau von Leguminosen zu schaffen und damit auch die Wettbewerbsfähigkeit des Leguminosenanbaus stärken.

Aufgrund des großen Anteils der konventionellen Landwirtschaft in Deutschland und der im ökologischen Landbau schon etablierten Einbeziehung von Leguminosen in die Anbausysteme, lag der Fokus von RELEVANT auf dem Anbau von Ackerbohnen in konventionell wirtschaftenden Betrieben. Zudem wurden die Unterschiede zwischen ökologischem und konventionellem Landbau bereits intensiv hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen untersucht (z. B. Bengtsson et al. 2005; Rahmann 2011). Besonders im konventionellen Anbau besteht mit oft engen Fruchtfolgen und einer hohen Abhängigkeit von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln die Möglichkeit, durch längere und nützlingsfördernde Fruchtfolgen mit Ackerbohnen den Anteil von Ökosystemleistungen zu erhöhen und dadurch externe Kosten zu senken.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen der Eiweißpflanzenstrategie oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen (www.ble.de/eiweisspflanzenstrategie)

Ein wesentliches Ziel des Ressourcenschutzes in der Agrarlandschaft ist die Erhaltung und die Förderung der Agrobiodiversität und der von ihr erbrachten Ökosystemleistungen, welche durch den anhaltenden Landnutzungswandel weiterhin bedroht sind und deren Verluste sich negativ auf die landwirtschaftliche Produktion auswirken. Entsprechend der Richtlinie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie von Maßnahmen zum Technologie- und Wissenstransfer für eine nachhaltige Erzeugung, Verarbeitung und Vermarktung von landwirtschaftlichen Produkten vom 29. Juli 2015 [BANz AT 04.08.2015 B1] (BMEL 2015a) haben wir in diesem praxisorientierten und interdisziplinären F&E-Vorhaben, erstmalig die Wirkungen diversifizierter Fruchtfolgen unter konsequenter Einbeziehung von Ackerbohnen (*Vicia faba*) auf die Agrobiodiversität und die von ihnen erbrachten Ökosystemleistungen quantifiziert und ökonomisch bewertet. Im Fokus des Vorhabens standen zwei regulierende Ökosystemleistungen mit großer Bedeutung für die Landwirtschaft: Bestäubung und natürliche Schädlingskontrolle.

Blütenbesuchende Insekten (z. B. Bienen und Schwebfliegen) sowie Raubarthropoden (z. B. Laufkäfer) wurden in Kooperation mit Praxisbetrieben untersucht. Die von den Arthropoden erbrachten Ökosystemleistungen wurden an den Ackerbohnen und an weiteren relevanten Kulturen in der Fruchtfolge (z. B. Raps, Weizen), bzw. in angrenzenden Schlägen quantifiziert. Neben diesen Ökosystemleistungen wurden auch die Auswirkungen des Anbaus von Ackerbohnen in Fruchtfolgesystemen auf phytosanitäre und ackerbauliche Aspekte der Bewirtschaftung (z. B. Pflanzenschutzmaßnahmen, Bodenbearbeitung etc.) sowie dessen Wirtschaftlichkeit im Einzelbetrieb analysiert. Zielsetzung des Pflanzenbaues in diesem Projekt war es, ggf. notwendige Anpassungsmaßnahmen zur Erhöhung der Ökosystemleistung in ihren Auswirkungen abzuschätzen.

Durch ihre spezifischen Eigenschaften und die Diversifizierung der Fruchtfolge können Leguminosen zahlreiche, miteinander verknüpfte agronomische Vorteilswirkungen sowie positive Umweltwirkungen erbringen (z. B. Einsparung von N-Dünger, Förderung von Bodenfruchtbarkeit und Verringerung der Emission von treibhausrelevanten Gasen (Kremen & Miles 2012; Spiegel et al. 2014)). Die konkreten Prozesse und

Zusammenhänge bezüglich Biodiversität und ihrer regulierenden Ökosystemleistungen in Fruchtfolgen mit Ackerbohnen sind jedoch in der konventionellen landwirtschaftlichen Praxis kaum untersucht. Es besteht somit umfassender Forschungsbedarf zur Quantifizierung und Bewertung der regulierenden Ökosystemleistungen, um praktikable Lösungen für die Realisierung innovativer und ressourcenschonender Anbausysteme zu entwickeln (BMEL 2012). Im Sinne der Forschungsstrategie des Fachforums Leguminosen der Deutschen Agrarforschungsallianz (DAFA 2012) strebt das geplante Vorhaben daher quantifizierende Erfassungen und Experimente auf kleinen (Feld) bis mittleren Skalenebenen (Betrieb/Landschaft) an. Ein wesentlicher Aspekt des Vorhabens ist die Synthese der interdisziplinär gewonnenen Daten zur umfassenden Bewertung des ökologischen und ökonomischen Potenzials des Ackerbohnenanbaus. Basierend auf den Ergebnissen sollen bestehende Agrarumweltmaßnahmen angepasst und zukünftig effizientere Maßnahmen entwickelt werden, die zur Ressourcenschonung und nachhaltigen Förderung der Biodiversität und ihrer Ökosystemleistungen beitragen. Dabei sollen auch Wettbewerbsnachteile heimischer Leguminosen ausgeglichen und damit die Ziele der Eiweißpflanzenstrategie für eine nachhaltigere Land- und Ernährungswirtschaft erfüllt werden.

Das grundlegende wissenschaftliche Ziel von RELEVANT war die Erfassung und Quantifizierung der Auswirkungen des konventionellen Anbaus von Ackerbohnen auf die Bereitstellung von Ökosystemleistungen (Bestäubung und natürliche Schädlingskontrolle) und die Diversität der Arthropoden, welche diese Leistungen erbringen. Der gepaarte Vergleich von konventionellen Betrieben mit und ohne Ackerbohnen in der Fruchtfolge ermöglichte es, die ökologisch und ökonomisch nutzbringenden Effekte der Anbaudiversifizierung aufzuzeigen und als Grundlage für die Entwicklung von betrieblichen oder regionalen Maßnahmen zur Förderung von Agrobiodiversität und Ökosystemleistungen zu nutzen. Auf die Einbeziehung ökologisch wirtschaftender Betriebe wurde bewusst verzichtet, da ein paarweiser Vergleich von Betrieben mit und ohne den Anbau von Leguminosen systembedingt ausscheidet. Die Berücksichtigung der Biodiversität und Ökosystemleistungen in der ökonomischen Bewertung über die Ebenen Produktionsverfahren und Landschaften wurde dazu genutzt, die Wettbewerbsfähigkeit des heimischen Leguminosenanbaus umfassender zu bewerten.

Der konventionelle Anbau von Ackerbohnen, verbunden mit einem intelligenten Fruchtfolgemanagement und einer zielgerechten landschaftsstrukturellen Ausstattung, könnte helfen, i) die Biodiversität zu erhalten, ii) regulierende Ökosystemleistungen zu fördern und iii) dadurch bei gleichbleibenden oder höheren sowie stabileren Erträgen bei reduziertem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, die gesamtbetrieblichen Produktionskosten zu verringern.

Folgende Hypothesen wurden anhand von Felderhebungen und Experimenten getestet:

1. Der Anbau von Ackerbohnen führt zu einer Förderung von Bestäubern und epigäischen Arthropoden (u.a. Antagonisten von Schadinsekten) sowie zu einer Verbesserung der von diesen erbrachten regulierenden Ökosystemleistungen aufgrund der spezifischen Eigenschaften von Ackerbohnen (u.a. Blütenangebot, N-Fixierung) und einer diversifizierten Fruchtfolge.
2. Positive Wirkungen des Anbaus von Ackerbohnen treten nur in Verbindung mit einem für Bestäuber und Antagonisten notwendigen Angebot an zusätzlichen Nahrungs-, Nist- und Überwinterungshabitaten auf.

3. Durch den Anbau von Ackerbohnen verbessert sich die Ernährungssituation für die Bestäuber und dadurch deren Reproduktionsleistung.
4. Der Bestäubungserfolg und die Schädlingskontrolle in begleitenden Kulturen sowie in Folgefrüchten werden messbar erhöht.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

1. Projektjahr 03/2017 bis 12/2017

- Flächenauswahl (3.1)
- Etablierung der Transektflächen
- Erfassung der Bienen und Schwebfliegen an Ackerrandstreifen (Transektgänge) (3.2.1)
- Erfassung der Bienen in naturnahen Habitaten (Transektgänge, 3.2.1)
- Erfassung epigäischer Arthropoden (3.3.1)

2. Projektjahr 01/2018 bis 12/2018

- Flächenauswahl
- Erfassung des Koloniewachstums und der Ressourcennutzung von Hummeln (3.2.2)
- Quantifizierung der Bestäubungsleistung an Ackerbohnen (3.2.3)
- Erfassung des Bestäuberverhaltens an Ackerbohnen (3.2.3)
- Quantifizierung der Bestäubungsleistung an Raps (3.2.4)
- Erfassung von hohlräubbewohnenden Bienen und Wespen (3.2.5)
- Schlagauswahl (3.3.2.1, 3.3.3.1)
- Bonituren spezifischer Schädlinge, Fraßspuren und Nützlinge und Quantifizierung von Nachbarschaftseffekten (3.3.2)
- Bonituren spezifischer Schädlinge, Fraßspuren und Nützlinge und Quantifizierung von Vorfruchteffekten (3.3.3)
- Erfassung epigäischer Raubarthropoden in Bohnen- und Stoppelweizen (3.3.3.2)
- Ermittlung von Schadschwellen in begleitenden Kulturen (3.3.2.3) und Folgefrüchten (3.3.3.3)
- Erhebung der Betriebsdaten aus dem Erntejahr 2017 (3.4.1)

3. Projektjahr 01/2019 bis 12/2019

- Erhebung der Betriebsdaten aus dem Erntejahr 2018 (3.4.1)
- Auswertung der Betriebsdaten (3.4.2)
- Berechnung des Energie- und Produktionsmitteleinsatzes in CO₂-Äquivalente (3.4.3)
- Nacherhebung der Betriebsdaten aus dem Erntejahr 2018 (3.4.1)
- Auswertung der Daten und Publikation der Ergebnisse (4.1, 4.2, 4.3)

4. Projektjahr 01/2020 bis 12/2020

- Nacherhebung der Betriebsdaten aus dem Erntejahr 2018 (3.4.1)
- Einarbeitung der nacherhobenen Betriebsdaten
- Auswertung der Daten und Publikation der Ergebnisse (4.1, 4.2, 4.3)

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Forschung zur Produktion und Verwertung von Ackerbohne auf nationaler und europäischer Ebene ist in Förderprogramme eingebettet, die ihre Schwerpunkte auf züchterische, ernährungswissenschaftliche, futter- oder ackerbauliche Fragestellungen legen (Zerhusen-Blecher & Schäfer 2013; Duc et al. 2015). Projekte mit Bezug zur Biodiversität und der mit ihr verbundenen Ökosystemleistungen fehlen bislang. Dieser Bezug spielt jedoch, nach Ansicht des Fachforums Leguminosen der Deutschen Agrarforschungsallianz (DAFA 2012), eine besondere Rolle im Hinblick auf die Konkurrenzfähigkeit von Leguminosen im Gesamtkontext der landwirtschaftlichen Erzeugung. Aufgrund des vergleichsweise geringen Trockenmasse- bzw. Kornertrags von Leguminosen, der höheren Komplexität des Anbaumanagements und der damit verbundenen niedrigeren Deckungsbeiträge, gelten Leguminosen als nicht konkurrenzfähig. Ihre Anbaufläche hat in den letzten Jahrzehnten bis 2014 daher deutlich abgenommen (DAFA 2012). Bislang nicht einbezogen in solche Bilanzierungen wurden jedoch i) die gesamtgesellschaftlichen Wirkungen der Leguminosen durch die Produktion öffentlicher Güter und ii) die Stimulation regulierender Ökosystemleistungen, wie der Bestäubung und der natürlichen Schädlingskontrolle und des damit verbundenen Potenzials der Ressourceneinsparung und Ertragssteigerung im gesamtbetrieblichen Anbauverfahren. Aufgrund der randständigen Anbaubedeutung von Leguminosen war es bislang kaum möglich, diese Potenziale auf der Betriebs-/Landschaftsskala zu quantifizieren und zu bewerten. Existierende Studien beschäftigen sich in diesem Zusammenhang zumeist mit ökologischen Anbauverfahren (Bourassa et al. 2008; Eyre et al. 2009). Eine belastbare Datengrundlage für Ökosystemleistungen und daraus resultierende Ressourceneinsparungen und Ertragssteigerungen fehlt jedoch weitestgehend für konventionelle Leguminosen-unterstützte Anbausysteme und damit auch eine Basis dafür, die externen Vorteile der Leguminosen für das Anbausystem insgesamt zu quantifizieren und zu optimieren.

Weltweit profitieren 75% der Kulturpflanzen von der Bestäubung durch Tiere, v. a. Bienen (Klein et al. 2007). Auch die Erträge der Ackerbohne werden durch Bienenbestäubung gesteigert (Free 1993). Der Fremdbefruchtungsgrad von Ackerbohne liegt bei etwa 50% und variiert in Abhängigkeit von Genotyp und Umweltfaktoren stark (Link 1990; Suso et al. 2008). Hummeln spielen als generalistische Bestäuber in der Agrarlandschaft eine besondere Rolle (Kennedy et al. 2013) und sind auch die wichtigsten Bestäuber für die Ackerbohne (Bartomeus et al. 2014). Aufgrund des fortschreitenden Rückgangs der Bestäuberdiversität, u.a. durch Landnutzungsintensivierung, ist diese essentielle Ökosystemleistung zunehmend in Gefahr. Zusätzlich zu angelegten Blühflächen (Haaland et al. 2011) können blühende Kulturpflanzen aufgrund des großen Angebots an Nektar und Pollen eine wichtige Nahrungsressource für Hummeln darstellen und ihre Dichten (Westphal et al. 2003) und damit auch ihre Bestäubungsleistung signifikant erhöhen (Nayak et al. 2015). Auch andere Wildbienen können von dem reichhaltigen Trachtangebot der Kulturpflanzen profitieren (Riedinger et al. 2015).

Da blühende Leguminosen eine ausgezeichnete Nahrungsgrundlage für nektarsammelnde, bestäubende Insekten bieten, kann ein verstärkter Anbau in Fruchtfolgen auf lokaler und Landschaftsebene einen wichtigen Beitrag zur Förderung der Bestäuber in der Agrarlandschaft leisten (Tscharntke et al. 2012). Allerdings wurde die

Wirksamkeit des Leguminosenanbaus zur Förderung der Bestäuber und Bestäubungsleistung von der lokalen bis hin zur Landschaftsebene bislang noch nicht untersucht.

Zur natürlichen Schädlingskontrolle können Leguminosen beitragen, indem sie die Bodenfruchtbarkeit und damit das Bodenleben fördern und dadurch das alternative Beuteangebot für natürliche Gegenspieler wie Laufkäfer und Spinnen erhöhen (Uetz et al. 1999; DuPont et al. 2009). Das Beuteangebot ist relevant für die Individual- und Populationsentwicklung dieser Gegenspieler und somit eine Steuergröße für das Potenzial der natürlichen Schädlingskontrolle (Harwood et al. 2009). Die Einbeziehung von Leguminosen erhöht die Zahl der Fruchtfolgeglieder, das Spektrum der Feldfrüchte und diversifiziert die mikroklimatischen Bedingungen der Äcker. Dies wirkt sich oft positiv auf die Struktur der Gemeinschaft und Abundanz von Laufkäfern (Brust et al. 1986; Weiss et al. 1990) und damit auf deren Prädationsraten aus. Dies hilft das Schadorganismenpotenzial zu reduzieren (Cárcamo & Spence 1994). Durch die zusätzliche phytosanitäre Wirkung der verlängerten Fruchtfolgen kann der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reduziert werden, was die Gegenspielergemeinschaften ebenfalls positiv beeinflussen kann (Albajes et al. 2009; Geiger et al. 2010).

Eine Bewertung der Wirkung diversifizierter Fruchtfolgen mit Ackerbohne auf regulierende Ökosystemleistungen kann aus unterschiedlichen ökologischen Blickwinkeln erfolgen. Die Betrachtung der Diversität innerhalb funktioneller Gruppen (z.B. Bestäuber und Raubarthropoden) gibt einen Anhaltspunkt zur Resilienz eines Agrarökosystems nach Veränderungen und Störungen. Die Grundannahme ist, dass bei einer hohen Diversität auch eine hohe Redundanz an Arten existiert, welche in der Lage sind eine bestimmte Funktion auszuführen. Da diese Arten jedoch unterschiedlich stark auf Veränderungen oder Störungen reagieren, wird die Funktion trotz Störung durch z. B. Abundanzverschiebungen zwischen den Arten gesichert (Elmqvist et al. 2003). Da die regulierenden Leistungen, bei gegebenen Bedingungen, jedoch meist nur von wenigen abundanten Arten im System erbracht werden (Senapathi et al. 2015; Winfree et al. 2015), können diese Arten identifiziert und deren Populationsentwicklung sowie deren konkrete Leistungen quantifiziert werden. Managementansätze, welche auf die Erhöhung der Diversität abzielen, können sich jedoch stark von jenen unterscheiden, welche einzelne abundante Arten im Fokus haben (Senapathi et al. 2015). Angesichts der Herausforderung, insbesondere in gemanagten Landschaften wie Agrarlandschaften, regulierende Ökosystemleistungen zu erfassen und gegenüber Managementeinflüssen abzugrenzen, schlagen Birkhofer et al. (2015) vor, ein Set von Indikatoren abzudecken, welches die Leistungsträger selbst (z. B. Bestäuber, Raubarthropoden), das Ökosystemmanagement und landschaftliche Parameter umfasst. Dadurch kann es auch gelingen, eine Partitionierung der anthropogenen und biodiversitätsseitigen Beiträge zu einer finalen Ökosystemleistung wie dem Ertrag einer Kulturpflanze, im Sinne von Bengtsson (2015), durchzuführen.

Die Wirkungen des Anbaus von Leguminosen in erweiterten Fruchtfolgen auf pflanzenbauliche und ökonomische Aspekte sind Gegenstand einer Vielzahl von Untersuchungen gewesen (Lütke-Entrup et al. 2006; Preissel et al. 2015). Während die pflanzenbaulichen Vorzüge einer um Ackerbohne erweiterten Fruchtfolge unstrittig sind, wird die Wirtschaftlichkeit des Anbaus in der landwirtschaftlichen Praxis immer wieder hinterfragt und gilt als ein bedeutendes Anbauhemmnis. Andererseits kann auch anhand

aktueller Ergebnisse gezeigt werden, dass bei langfristig orientierter ökonomischer Bewertung sehr wohl eine Wirtschaftlichkeit des Anbaus gegeben sein kann (Alpmann et al. 2014; Alpmann & Schäfer 2014; Schäfer et al. 2015). Vollkommen ungeklärt ist dagegen die Frage, wie sich spezifische Anpassungen zur Verbesserung der Ökosystemleistungen auf Pflanzenbau und Wirtschaftlichkeit auswirken.

3. Material und Methoden

3.1 Auswahl der Untersuchungsgebiete und experimentelles Design

Für die Untersuchungen der Bestäuber und epigäischen Raubarthropoden wurden im ersten Projektjahr 2017 Untersuchungsgebiete (1 km x 1 km) ausgewählt, die einen fruchtfolgetypischen Anteil an Ackerbohenschlägen aufweisen. Die Untersuchungen erfolgten ausschließlich auf konventionellen Betrieben, die seit mindestens drei Jahren Ackerbohne anbauen. Da bereits zahlreiche Untersuchungen zu den positiven ökonomischen und ökologischen Effekten des ökologischen Anbaus von Körnerleguminosen vorliegen (Nemecek et al. 2005; Lütke-Entrup et al. 2006; Zerhusen-Blecher und Schäfer 2013; Alpmann und Schäfer 2014; Everwand et al. 2017), hat sich RELEVANT für den Ansatz des gepaarten Vergleichs konventioneller Betriebe mit und ohne Körnerleguminosen in der Fruchtfolge entschieden.

Um die lokalen, betrieblichen und landschaftsskaligen Effekte der um Körnerleguminosen erweiterten Fruchtfolgen im konventionellen Anbau zu untersuchen, wurden in etwa 5 km Entfernung zu den Untersuchungsgebieten mit Körnerleguminosen, Kontrollgebiete (1 km x 1 km) etabliert. Diese Kontroll-Untersuchungsgebiete umfassten konventionelle Betriebe, die ähnliche Fruchtfolgen wie die Leguminosen anbauenden Betriebe führen, allerdings ohne Körnerleguminosen in den Fruchtfolgen. Die Auswahl der Untersuchungsgebiete erfolgte GIS-basiert. Es wurden 15 Betriebspaare etabliert, die im Hinblick auf Boden, Lokalklima, Wahl der angebauten Kulturen (abgesehen von Ackerbohne) und Landschaftsstruktur vergleichbar waren (Abb. 1).

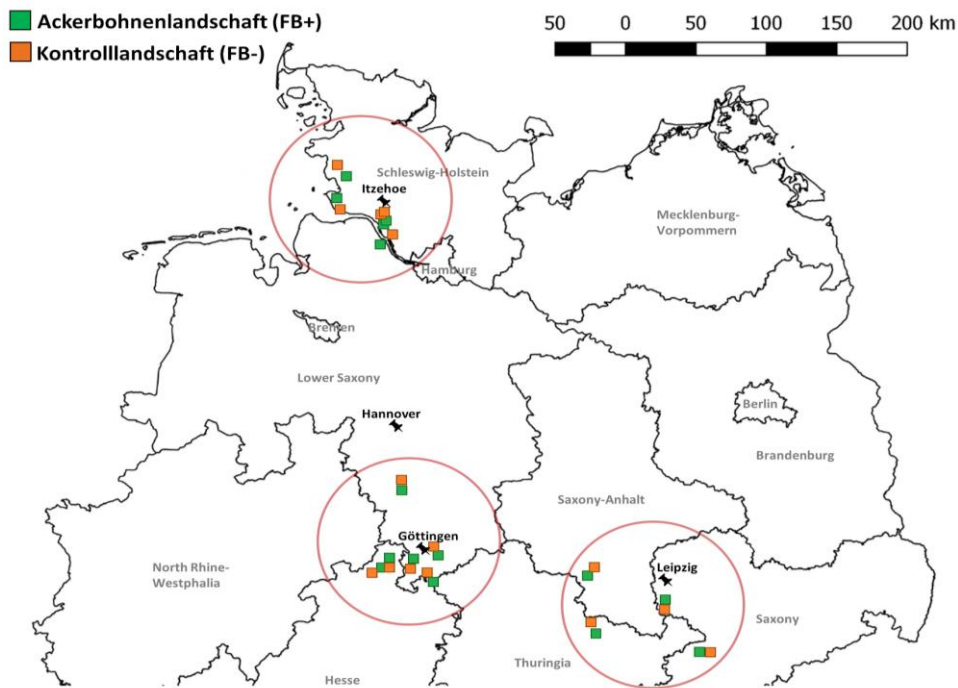


Abb. 1. Verteilung der 1 km x 1 km großen gepaarten Untersuchungslandschaften in drei verschiedenen Regionen in Deutschland. Ackerbohnenlandschaften sind in grün dargestellt und Kontrolllandschaften ohne Körnerleguminosen in orange. (nach Beyer et al. 2020).

Da Arthropoden sich in dem räumlich- und zeitlich heterogenen Mosaik der Agrarlandschaft bewegen und dort unterschiedliche Ressourcen und Lebensräume nutzen, sind Untersuchungen auf der Landschaftsebene notwendig (Tscharrntke et al. 2012). Um die Auswirkungen der Fruchtfolgen auf die Diversität und Abundanz von Arthropoden sowie auf Ökosystemleistungen zu untersuchen, wurden alle Hauptkulturen der Fruchtfolgen im Untersuchungsyear 2017 beprobt (*space for time substitution*). Die Erfassung der Bestäuber und Raubarthropoden erfolgte deshalb in Anlehnung an die Raster-basierte Stichprobennahme (Abb. 2) von Beduschi et al. (2015). Dazu wurde der relative Anteil der Fruchtfolgeglieder in dem Landschaftsausschnitt ermittelt und die Punkte für die Beprobung so angeordnet, dass 4 x 4 Rasterpunkte in den Untersuchungsgebieten lagen. Entsprechend der relativen Häufigkeit der verschiedenen Kulturen und Landnutzungstypen, wurden die 16 Rasterpunkte so angeordnet, dass sie der relativen Häufigkeit der Landnutzungstypen in dem Ausschnitt entsprachen (Beyer et al. 2020). Diese stratifizierte und standardisierte Beprobung ermöglicht die repräsentative Erfassung der Arthropoden in Bezug zu den Kulturen und vorhandenen Lebensräumen (Beduschi et al. 2015).

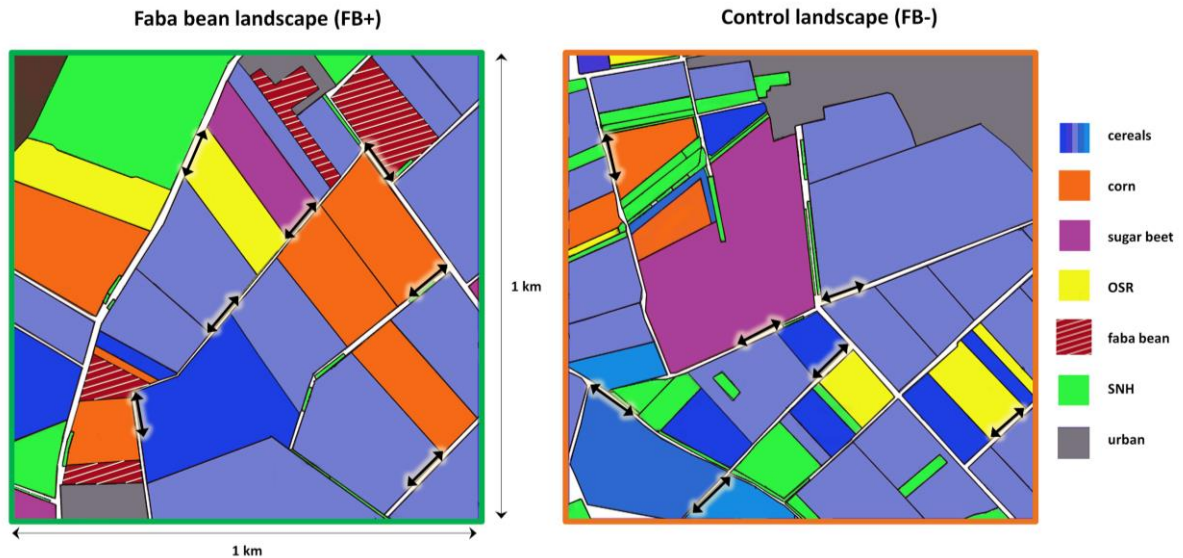


Abb. 2. Untersuchungsgebiete (1 km x 1 km) mit (A) und ohne (B) Ackerbohnen in der Fruchtfolge (FB+ und FB-, gepaartes Design). Die Beprobung der Arthropoden erfolgte Raster-basiert, wobei die Häufigkeit der Probennahme in den jeweiligen Landnutzungstypen ihrer relativen Häufigkeit entspricht. Das stratifizierte Raster der Transektflächen ist durch die schwarzen Pfeile dargestellt (nach Beyer et al. 2020). Legende: Getreide = cereals, Mais = corn, Zuckerrüben = sugar beet, Raps = OSR, Ackerbohne = faba bean, halbnatürliche Habitate = SNH, Siedlungen = urban.

Für die Feldarbeiten im zweiten Versuchsjahr (2018) wurden für die Erfassung der Reproduktion und Ressourcennutzung von Hummeln (3.2.2), der Bestäuberleistung (3.2.3, 3.2.4), der Vielfalt von hohlraumnistenden Bienen und Wespen (3.2.5), der Nachbarschaftseffekte (3.3.2) und der Vorfruchteffekte (3.3.3) unterschiedliche Untersuchungslandschaften und Versuchsflächen ausgewählt. Die Flächenauswahl ist in den jeweiligen Abschnitten beschrieben.

3.2 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Bestäuber und ihre Bestäubungsleistung

3.2.1 Abundanz und Artenvielfalt von Bestäubern in Ackerrandstreifen und naturnahen Habitaten

Die Abundanz und Artenvielfalt von Bestäubern (blütenbesuchende Bienen und Schwebfliegen) wurde 2017 in allen 30 gepaarten Untersuchungslandschaften mit Transekten erfasst (Westphal et al. 2008). Die Blütenbesucher wurden an den Ackerrandstreifen (Bienen und Schwebfliegen) verschiedener Kulturen aufgenommen, sowie in naturnahen Habitaten (Bienen) der Untersuchungsgebiete. Es wurden insgesamt sieben standardisierte Transekte (jeweils 100 m Länge, 4 m Breite, 10 Min. Begehungszeit) an den Ackerrandstreifen und sechs variable Transekte (jeweils 50 m Länge, 4 m Breite, 5 Min. Begehungszeit) in den naturnahen Habitaten in jeder der Untersuchungslandschaften durchgeführt. Die Anzahl der standardisierten Transekte an den Ackerrandstreifen der verschiedenen Kulturen wurde proportional an die Flächenanteile der jeweiligen Kulturen in den Untersuchungslandschaften angepasst (stratifiziert) (Bedushi et al. 2015). Die variablen Transektgänge wurden in den

blütenreichsten naturnahen Habitaten in jeder der Untersuchungslandschaften durchgeführt. In jeder Untersuchungslandschaft wurden drei Transektdurchgänge durchgeführt (einer während der Blüte der Ackerbohnen und zwei danach). Die Blütenbesucher wurden für die Artbestimmung im Feld gefangen, mit Ethylacetat abgetötet, für die Bestimmung genadelt, auf Artniveau bestimmt und in Insektenkästen aufbewahrt (insgesamt 1794 Wildbienen und 1060 Schwebfliegen von den Ackerrandstreifen und 1342 Wildbienen aus den naturnahen Habitaten). Die Daten wurden mit gemischten linearen Modellen mit R (R Core Team 2019) analysiert, in denen der Ackerbohnenanbau, die Landschaftszusammensetzung (Anteil an naturnahen Habitaten und Anteil an Raps), das lokale Blütenangebot der Transekte und der Transektdurchgang, sowie alle potentiellen zweifach Interaktionen als Erklärungsvariablen berücksichtigt wurden.

3.2.2 Reproduktion und Ressourcennutzung von Hummelkolonien

In 2018 wurden neue Landschaftspaare ausgewählt, da manche Landwirte keine Ackerbohnen mehr anbauten oder die Ackerbohne sich nicht mehr in derselben Untersuchungslandschaft befand. Genau wie im Vorjahr wurden gepaarte 1km x 1km Landschaften ausgewählt, jeweils mit und ohne Ackerbohnen und mit ähnlicher Landschaftszusammensetzung innerhalb der Paare. Jeder der Landschaften enthielt zusätzlich mindestens ein Rapsfeld. Insgesamt wurden 22 gepaarte Untersuchungsgebiete gewählt, von denen die meisten in Niedersachsen lagen.

Anfang Mai 2018 wurden jeweils zwei Erdhummel-Kolonien (*Bombus terrestris*), die von STB Control (Aarbergen, Deutschland) erworben wurden, im Zentrum der Gebiete ausgebracht (Westphal et al. 2009). Die Auswirkungen der erhöhten Ressourcenverfügbarkeit in den Landschaften mit Ackerbohnenanbau auf den Reproduktionserfolg und die Ressourcennutzung von Hummeln wurden untersucht. Die Kolonien wurden in vier Begehungen (in zeitlichen Abständen von 1.5 bis 2 Wochen) im Feld gewogen. Zudem wurden an den ersten drei Begehungen jeweils 10 heimkehrenden Hummeln pro Landschaft die Pollenhöschen abgenommen, um die Zusammensetzung der eingetragenen Pollentypen zu bestimmen. Die Probenahmen fanden während der Blüte der Massentrachten Raps (1. Begehung) und Ackerbohne (2. Begehung und 3. teilweise) statt. Der Pollen der 10 Proben pro Landschaft wurde gemischt und drei Proben je Mischung von Melissopal – Pollenanalytik (Hammor, Germany) analysiert. Da der Pollen einiger Pflanzen nicht immer eindeutig unterschieden werden kann, wurde der Reichtum der verschiedenen Pollentypen pro Untersuchungslandschaft ermittelt (für alle drei Begehungen gepoolt). Nach Beendigung des Experiments (zwischen 22.06. und 25.06.2018) wurden die Kolonien im Gefrierschrank abgetötet und im Labor die Anzahl der Brutzellen, der Arbeiterinnen, der Jungköniginnen und der Drohnen gezählt. Außerdem wurde das Gewicht der Wachsmotten, die die Kolonien stark befallen hatten, aufgenommen. Mit Hilfe eines Strukturgleichungsmodells haben wir die Effekte des Ackerbohnenanbaus und der Landschaftsstruktur (Anteil an naturnahen Habitaten, Anteil an Raps, Anteil an urbanen Gebieten) auf den Reproduktionserfolg der Hummeln getestet, sowie die Rolle des Wachsmottenbefalls und des eingetragenen Pollentypenreichtums.

3.2.3 Bestäuberverhalten, Bestäubungsleistung und Erträge von *V. faba* (Bestäubungsexperiment)

In elf der 1 km² großen Untersuchungslandschaften mit Ackerbohnenanbau von 2018 (siehe 3.2.2) wurde ein Bestäubungsexperiment in je einem *V. faba* Feld pro Untersuchungslandschaft durchgeführt. Auf den Untersuchungsfeldern waren die Sommerackerbohnen Fuego (7 Felder) und Tiffany (4 Felder) angebaut. In jedem Untersuchungsfeld wurden an vier unterschiedlichen Stellen (Plot) jeweils vier einzelne Ackerbohnenpflanzen vor der Blüte (Mitte/Ende Mai) komplett in eine Gaze-Tüte eingetütet (insgesamt 20 Pflanzen pro Feld) (Abb. 1). Somit wurde eine Bestäubung durch Insekten verhindert und nur Wind- und Selbstbestäubung war möglich. Zudem wurden pro Plot jeweils acht offen bestäubte Pflanzen markiert. Nach dem Ende der Blüte wurden alle Tüten entfernt, damit die Pflanzen unter gleichen Bedingungen wie die offen bestäubten Pflanzen im Schlag reifen können. Die Anzahl an Bohnenpflanzen pro m² wurde je dreimal am Feldrand und im Feldzentrum ermittelt und die mittlere Pflanzendichte pro Feldposition errechnet. Die reifen Pflanzen wurden Ende Juli/ Anfang August per Hand abgeerntet (insgesamt 572) und alle Hülsen pro Pflanze gezählt, sowie alle Samen pro Hülse und die Anzahl der Samen, die vom Ackerbohnenkäfer (*Bruchus rufimanus* Boheman) befallen waren. Außerdem wurde das Trockengewicht aller Samen pro Pflanze bestimmt und Erträge pro Plot [t/ha] errechnet (Pflanzen/m² x mittlere Samengewicht pro Pflanze/100). Zudem wurde der Stickstoffgehalt von einer Teilprobe der geernteten Samen von acht Untersuchungsfeldern mithilfe von Hochtemperaturverbrennung ermittelt (vario EL cube, Elementar). Daraus wurde dann der Proteinertrag [t/ha] pro Plot ermittelt (Ertrag x Proteingehalt (Stickstoffgehalt*6.25)).

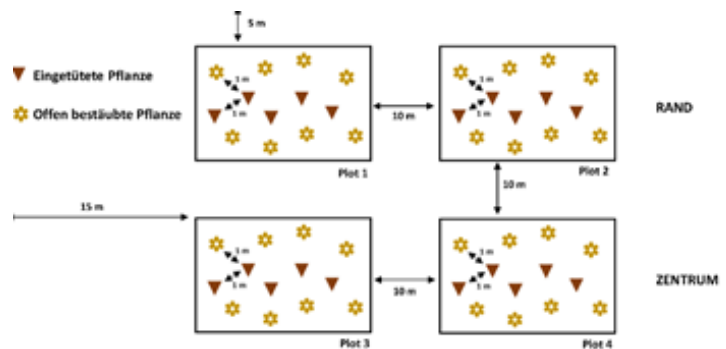


Abb. 3 Links: Eingetütete Ackerbohnenpflanzen. Rechts: Design des Bestäuberausschluss-Experiments. In jedem Ackerbohnenfeld wurden vier einzelne Pflanzen pro Plot eingetütet und acht offen bestäubte Pflanzen markiert, die nicht eingetütet und somit von den natürlichen Bestäubern bestäubt werden konnten. Zwei Plots befanden sich jeweils am Feldrand und zwei im Zentrum des Feldes.

Des Weiteren wurden in zwei Durchgängen während der Blüte der Ackerbohne alle an den Pflanzen futtersuchenden Bienen gezählt. Dies wurde anhand standardisierter Transektbegehungen (jeweils 50 m Länge, 2 m Breite, 5 Min. Begehungszeit) durchgeführt - pro Durchgang einmal am Feldrand und einmal in der Feldmitte. Beobachtete Bienen wurden unterteilt in Honigbienen, kurzrüsselige Hummeln (*Bombus terrestris*, *B. lucorum*, *B. lapidarius*) und langrüsselige Hummeln (*B. hortorum*, *B.*

pascuorum) (Hagen & Aichhorn 2014). Außerdem wurde das Verhalten der Bienen an den Ackerbohnenblüten aufgenommen. Alle Bienen, die die Blüte von der Vorderseite besuchten, wurden als reguläre Blütenbesucher registriert. Alle Bienen, die Nektar von der Basis der Blütenkelche durch Löcher entnahmen, wurden als Nektarräuber eingeteilt.

Die Daten wurden mit gemischten linearen Modellen analysiert. Zuerst haben wir getestet, ob die Bestäuberdichten und der Anteil an Nektarräubern von der Landschaftszusammensetzung (Anteil an Raps, Anteil an Ackerbohnen, Anteil an naturnahen Habitaten), dem lokalen Blütenangebot der Transekte und der Bestäubergruppe (Honigbiene, lang- und kurzrüsselige Hummeln) abhängt. Danach haben wir den Einfluss der Insektenbestäubung auf verschiedene Ackerbohnenertragsparameter (Anzahl der Hülsen, Anzahl der Samen/ Hülse, Samengewicht, Ertrag und Proteinertrag pro Plot) getestet. Als Erklärungsvariablen wurde die Bestäuberausschlussbehandlung (eingetütet, offen bestäubt), die Bohnensorte (Fuego, Tiffany), die Bienendichten und alle möglichen Interaktionen berücksichtigt. Im nächsten Schritt haben wir getestet, wie die Ertragsparameter der offen bestäubten Pflanzen von der Landschaftszusammensetzung, den Bienendichten im Feld und deren Interaktionen abhängen. Zuletzt wurde getestet, ob der Anteil der Bohnen, die vom Ackerbohnenkäfer befallen wurden, von der Landschaftszusammensetzung, der Feldposition und der Hülsenanzahl pro Pflanze beeinflusst wird.

3.2.4 Bestäuberleistung und Erträge von Raps (Bestäubungsexperiment)

Es wurde zusätzlich ein Bestäuberausschlussexperiment in Rapsfeldern (*Brassica napus*) durchgeführt, um den Einfluss von blühenden Massentrachten auf die Bestäubungsleistung von Insekten in Rapsfeldern zu testen. Hierfür wurden Rapsfelder verwendet, die sich in denjenigen Untersuchungslandschaften von 2018 (siehe 3.2.2) befanden, die in Niedersachsen lagen (17 von 22). Der Flächenanteil von Massentrachten innerhalb eines 1000 m Puffers um die entsprechenden Untersuchungsrapfelder wurde ermittelt. Hier wurde einmal die Flächendeckung von Raps im aktuellen Untersuchungsjahr (Rapsfläche; da die Blüte der Ackerbohne erst nach Beendigung der Rapsblüte in 2018 begann und somit die Bestäuber im Rapsfeld unmöglich beeinflussen kann, beziehen wir hier die Ackerbohnenfläche nicht mit ein) und die Flächendeckung von Raps und Ackerbohnen innerhalb der letzten drei Jahre (historische Massentrachtenfläche) berechnet.

Insgesamt wurden 44 Versuchspflanzen pro Rapsfeld ausgewählt, in vier verschiedenen Plots. Fünf Pflanzen pro Plot wurden eingetütet, um eine Bestäubung durch Insekten zu verhindern und sechs Pflanzen pro Plot waren offen bestäubt (Design wie bei 2.3). Die Pflanzendichte pro Feldposition wurde, wie in 2.3 ermittelt. Nach der Blüte des Rapses wurden die Gaze Tüten abgenommen und die reifen Pflanzen wurden Anfang Juli (insgesamt 748) manuell geerntet. Die Anzahl der Schoten pro Pflanze wurde gezählt und von zehn zufällig ausgesuchten Schoten wurde die Anzahl der Samen pro Schote gezählt. Das Trockengewicht der Samen, der zehn ausgezählten Schoten wurde ermittelt und die Tausendkornmasse (TKM) berechnet. Außerdem wurden die Erträge pro Plot [t/ha] berechnet (Pflanzen/m² x mittlere Samengewicht pro Pflanze/ 100).

Zusätzlich wurden in zwei Durchgängen während der Rapsblüte je zwei standardisierte Transekte (50 x 2 m, 5 Minuten) in jedem der 17 Felder durchgeführt. Die Anzahl aller blütenbesuchenden Bienen (Wildbienen und Honigbienen) wurde aufgenommen.

Die Daten wurden mit gemischten linearen Modellen analysiert. Zuerst wurde der Effekt des aktuellen und historischen Massentrachtenanbaus auf die Bienendichten in den Rapsfeldern analysiert. Hierbei wurden auch die lokale Blütendeckung des Untersuchungsrapfeldes und die Bestäubergruppe (Honigbienen, Wildbienen) als Erklärungsvariablen mitaufgenommen. Danach haben wir getestet, ob die verschiedenen Ertragsparameter vom Bestäuberabschluss beeinflusst wurden, sowie von den Bienendichten im Feld und der Schotenanzahl pro Pflanze, inklusive aller möglicher zweifach Interaktionen. Danach wurde der Effekt des aktuellen und historischen Massentrachtenanbaus und der Bienendichten, sowie deren Interaktionen mit den Landschaftsparametern auf die Ertragsparameter analysiert.

3.2.5 Abundanz und Artenreichtum von hohlraumnistenden Bienen und Wespen

Im April wurden 20 Nisthilfen an zehn verschiedenen Standorten in jeder der 22 gepaarten Untersuchungslandschaften von 2018 (siehe 3.2.2) aufgestellt (zwei Nisthilfen pro Pflanzengruppe), um den Einfluss des Ackerbohnenanbaus und der Landschaftsstruktur auf die Abundanz und Artenvielfalt von hohlraumnistenden Bienen und Wespen zu untersuchen. Die Nisthilfen wurden gleichmäßig in den 1 km² Landschaften verteilt, an den Randstreifen verschiedener Ackerkulturen. Die Nisthilfen wurden im Oktober eingesammelt und bei 10 °C gelagert. Danach wurden die Bewohner der Nester, soweit möglich auf Art- oder Gattungsniveau identifiziert, die Anzahl der Brutzellen gezählt, sowie die Anzahl der parasitierten und der abgestorbenen (nicht durch Parasiten) Brutzellen (Abb. 4). Anschließend wurden die Nester zum Schlupf in Glasröhrchen verstaut und bei Raumtemperatur gelagert. Die geschlüpften Individuen wurden, wenn nötig, zur weiteren Artbestimmung verwendet. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung war die Identifizierung der Nester noch nicht komplett abgeschlossen.



Abb. 4. Nest der Rostroten Mauerbiene (*Osmia bicornis*) mit drei Brutzellen und einem Kokon pro Brutzelle, ein Nest der Gattung der Maskenbienen (*Hylaeus spec.*), ein Grabwespennest (*Trypoxylon spec.*) mit eingetragenen Spinnen (von oben nach unten).

Eine Masterarbeit widmet sich einem Teil der Nester und der Frage, inwiefern sich die benachbarte Kultur (blühende vs. nicht blühende Kultur) und ein benachbartes naturnahes Habitat auf die Reproduktion, Artenvielfalt und Parasitierungsraten der Nisthilfenbewohner auswirken. Hierfür wurden je 2 Nisthilfen an den Randstreifen von Raps, 2 Nisthilfen an den Randstreifen einer nicht blühenden Kultur, sowie zwei an den Randstreifen einer nicht blühenden Kultur mit direkter Nachbarschaft zu einem naturnahen Habitat in insgesamt 15 Landschaften verglichen (insgesamt 90 Nisthilfen, von denen 9 im Feld zerstört oder nicht mehr aufgefunden wurden). Die Einflüsse der Umgebung auf die Anzahl der Brutzellen und die Artenvielfalt von hohlraumbewohnenden Bienen und Wespen, sowie deren Parasitierungs- und Mortalitätsraten wurden mit gemischten linearen Modellen analysiert. Als Erklärungsvariablen wurden die angrenzende Kultur (blühend, nicht blühend ohne und mit benachbartem naturnahem Habitat), die Landschaftskomposition (Anteil an Raps, Anteil an Ackerland, Anteil an Ackerbohnen) und die Landschaftskonfiguration (Randlängendichte: Gesamtlänge aller Ränder [m] / Gesamtfläche der Untersuchungslandschaft [m²]) aufgenommen.

3.3 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Raubarthropoden und biologische Schädlingskontrolle

3.3.1 Bedeutung der Ackerbohne für epigäische Raubarthropoden in der Fruchtfolge und im Landschaftsmaßstab

In der Saison 2017 wurden in allen 30 1km² großen Landschaften über eine Fangperiode von zwei Wochen mit insgesamt 720 Bodenfallen epigäische Raubarthropoden erfasst. Die Fangperiode fand zwischen Weizenblüte (BBCH61) und Ende Milchreife (BBCH77) von Winterweizen statt, i) um in dem Zeitraum zu beproben, in dem Winterweizen besonders empfindlich gegenüber Schädlingsbefall ist und ii) um die Fangperiode in den verschiedenen Regionen über einen phänologischen Parameter zu standardisieren. Ziel

war es, die Aktivitätsdichte (d.h. die Dichte der aktiven Individuen) und Biomasse von epigäischen Raubarthropoden in Landschaften mit/ohne Ackerbohnenanbau (im Folgenden FB+/FB- Landschaften genannt; 3.1) sowie landschaftstypische Fruchtfolgen mit/ohne Ackerbohne miteinander zu vergleichen. Dafür wurde angenommen, dass die häufigsten Kulturen, d.h. die, die im Jahr der Untersuchung den größten Flächenanteil innerhalb einer Landschaft bedecken, die typischen Fruchtfolgen abbilden. Beprobte wurden demzufolge in beiden Landschaften die drei häufigsten Kulturen der FB+Landschaft sowie in der FB-Landschaft zusätzlich die Ackerbohne. In der FB-Landschaft wurde als vierte Kultur statt der Ackerbohne die nächst häufigste nach den drei bereits beprobten Kulturen beprobt (Abb. 5). Insgesamt wurden in den 30 Landschaften so zehn Kulturen beprobt, die für die Datenanalyse zu fünf Kulturgruppen zusammengefasst wurden: Ackerbohne (I), Wintergetreide (II; Winterweizen und -gerste), Sommergetreide (III; Sommerweizen, -Gerste und Hafer), Raps (IV), andere Kulturen (V; Mais, Kartoffel, Zuckerrübe). Insgesamt wurden Schläge von 66 Betrieben beprobt. Pro Schlag wurden sechs Bodenfallen an jeweils den gleichen Positionen installiert. Dafür wurde der Schlag über drei Fahrspuren betreten, die jeweils vom Schlagrand und voneinander 10 m entfernt waren. Pro Fahrspur wurden 2 Fallen etwa 1 m von der Fahrspur entfernt in den Boden gesetzt. Eine erfasste jeweils die epigäischen Arthropoden am Rand (10 m Entfernung zum Schlagrand) und eine die der Feldmitte (20 m Entfernung zum Schlagrand) (Abb. 6). Die Bodenfallen bestanden aus 15 cm hohen Plastikbechern mit einer Öffnung von 9 cm Durchmesser, die mit der Oberfläche abschließend im Boden eingegraben wurden. Zurechtgeschnittene Stücke aus Kaninchendraht wurden etwa 4 cm oberhalb der Öffnung in den Becher geklemmt, um Beifang von Vertebraten zu vermeiden. Ein Dach aus einer 20 cm x 20 cm großen Plexiglasscheibe, die ca. 10 cm über der Falle mit Drähten im Boden fixiert wurde, diente als Regenschutz (Abb. 6). Als Fangflüssigkeit dienten 160 ml Ethylenglycol pro Becher (2:1 gemischt mit Wasser), in das ein geruchloses Detergenz gegeben wurde um die Oberflächenspannung zu verringern. Am Ende der zweiwöchigen Fangperiode wurden die Falleninhalte in Whirlpacks überführt und bis zur weiteren Aufbereitung im Labor bei 3°C gekühlt. Anschließend wurden die Falleninhalte im Labor für verschiedene Auswertungen aufbereitet. Von den drei Fallen aus der Schlagmitte sowie eine vom Rand (Position 2, 4, 6 und 5, siehe Abb. 6) wurde die Biomasse erhoben. Dafür wurden die Falleninhalte zunächst gespült, Bodenpartikel > 1mm und Biomasse, die nicht der Gruppe der Arthropoden zuzuordnen war (Schnecken, Regenwürmer) wurden händisch entfernt und anschließend wurde der gereinigte Falleninhalt nach dem Protokoll von (Hallmann, 2017) ausgewogen. Die Inhalte der beiden übrigen randständigen Fallen (Position 1 und 3) wurden in 12 Taxa sortiert: Laufkäfer (Carabidae), Kurzflügelkäfer (Staphylinidae), Spinnen (Araneae), Weberknechte (Opiliones), Tausendfüßer (Diplopoda), Hundertfüßer (Chilopoda), Ameisen (Formicidae), Schnellkäfer (Elateridae), weitere Käfer (Coleoptera), Asseln (Isopoda), Wanzen (Heteroptera), Zikaden (Auchenorrhyncha). Von der Falle auf Position 1 wurden die Laufkäfer bis zur Art bestimmt. Die Daten zur Aktivitätsdichte und Biomasse wurden mit gemischten linearen Modellen in R (R Core Team 2019) analysiert. Als Erklärungsvariablen wurden die Landschaft (FB+/FB-), die Kulturgruppe (Ackerbohne/ Winterraps/ Wintergetreide/ Sommergetreide/ andere Kulturen) sowie die Gesamtkantenlänge pro Landschaft (edge density) berücksichtigt. Hier werden Unterschiede in den Dominanzstrukturen der Artengemeinschaften zwischen den Kulturgruppen sowie die Beta-Diversität untersucht. Deskriptive Daten werden gezeigt.

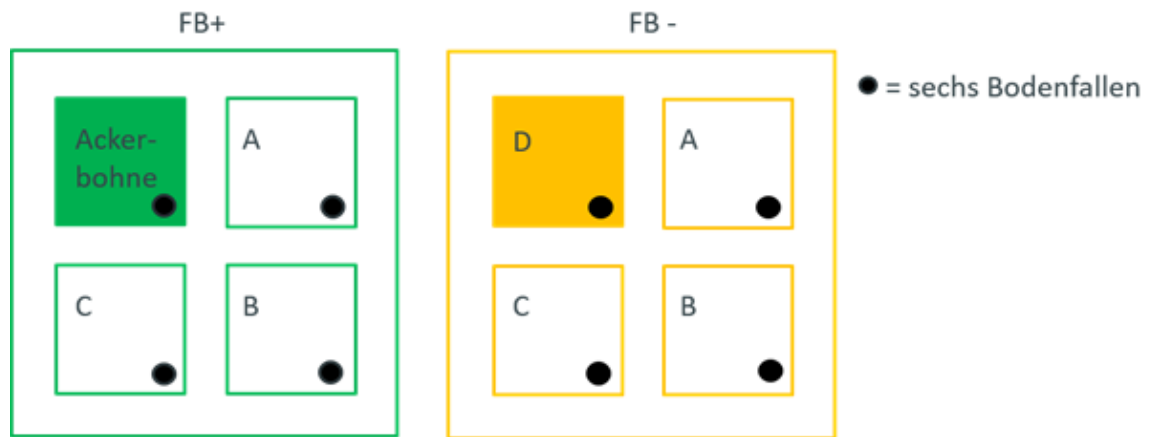


Abb. 5. Schematische Darstellung der beprobten Kulturen eines Landschaftspaares. In jeder Landschaft (FB+ = Landschaft mit Ackerbohnenanbau, FB- = Landschaft ohne Ackerbohnenanbau) wurden die drei häufigsten Kulturen der FB+ Landschaft beprobt (A,B,C), sowie in der FB+ Landschaft Ackerbohne und in der FB- Landschaft die nächst häufigste nach den drei bereits beprobten (D).

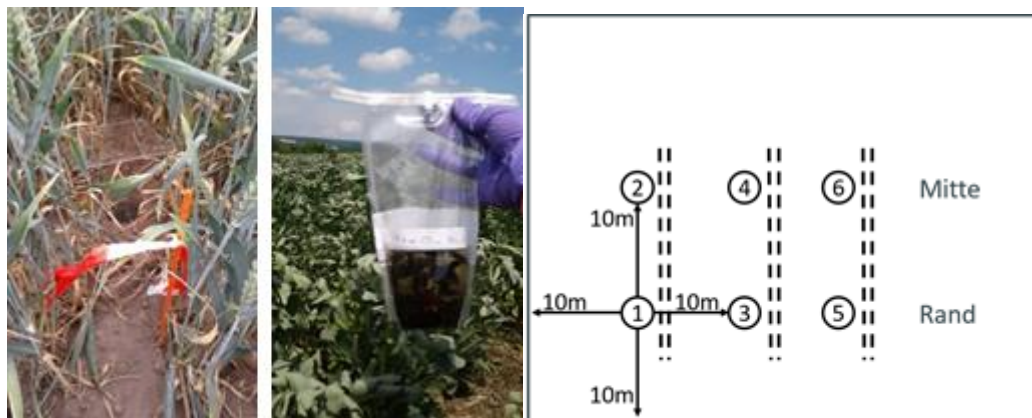


Abb. 6. Links: Eine im Winterweizen installierte Bodenfalle. Alle Fallen waren mit einem Stab markiert, um das Wiederfinden zu erleichtern. Mitte: In ein Whirlpack umgefüllter Falleninhalte am Ende der Fangperiode in einem Ackerbohnen Schlag. Rechts: Schematische Darstellung der Position der Bodenfallen in einem Schlag. Jede Falle wurde ca. 1 m links von einer Fahrspur (gestrichelte Linien) im Boden eingegraben. Abstände von 10 m zu den Schlagrändern sowie zueinander wurden eingehalten. Von den Fallen 2, 4, 5 und 6 wurde die Biomasse gewogen. Die beiden randständigen Fallen 1 und 3 wurden in 12 Taxa sortiert und von Falle 1 die Laufkäfer zur Art bestimmt.

3.3.2 Nachbarschaftseffekte der Ackerbohne: Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen sowie Schadschwelenermittlung

Eine Maßnahme, um Nützlinge in Agrarlandschaften zu fördern, ist es, Blühstreifen angrenzend an Feldfrüchte zu pflanzen. Die Annahme dahinter ist, dass Nützlinge, die im fortpflanzungsfähigen Lebensstadium nicht räuberisch leben, sondern auf Nektar und Pollen angewiesen sind, von blühenden Pflanzen profitieren. Dies kann sich wiederum auf kleiner räumlicher Skala positiv auf die Nützlingsdichten in angrenzenden Kulturen auswirken, weil die Nützlinge sich aus dem Blühstreifen heraus in benachbarte Schläge bewegen und dort die Schädlingsdichten kontrollieren. Diese Annahme ist in der Vergangenheit wiederholt als zutreffend bestätigt worden (Albrecht et al. 2020). Vor

diesem Hintergrund wurde in der vorliegenden Studie untersucht, ob auch eine konventionell bewirtschaftete, blühende Kultur wie die Ackerbohne diese Funktion erfüllt und in Zukunft als eine solche Maßnahme dienen kann. Die Erwartungen waren, dass nektarfressende Nützlinge (Schwebfliegen, Florfliegen, parasitoide Hautflügler) vom Nektarangebot der Ackerbohne profitieren, das diese über Blüten und extraflorale Nektarien (Nektardrüsen in den Blattachseln) zur Verfügung stellt, und dass deshalb besonders während der Ackerbohnenblüte erhöhte Nützlingsdichten in Winterweizen angrenzend an Ackerbohne messbar sind.

Schlagauswahl 2018

Aufgrund der in 2017 beschlossenen Änderung der EU-Förderung (Greening), explizit das Verbot des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln für ökologische Vorrangflächen, hatten etliche Betriebe ab 2018 den Ackerbohnenanbau eingestellt. Dies erschwerte das Auffinden und die Auswahl geeigneter Schläge mit Ackerbohne für Freilanduntersuchungen in 2018 stark. Dennoch konnten für die Untersuchung der Nachbarschaftseffekte von Ackerbohne auf die natürliche Schädlingskontrolle 44 konventionell bewirtschaftete Schläge (11 x Ackerbohne und 11 x Winterweizen als Nachbarschläge und 22 daran angrenzende und zu bonitierende Winterweizenschläge) in Niedersachsen ausgemacht und die Landnutzer zur Kooperation gewonnen werden. Die Lage der zur Verfügung stehenden benachbarten Schläge (im Folgenden Schlagpaare genannt) führte dazu, dass die Beprobungen in drei Regionen Niedersachsens stattfanden. Aufgrund der räumlichen Verteilung der Schlagpaare musste vom Ansatz, 1km² große Landschaftsausschnitte zu vergleichen, abgesehen werden. Stattdessen wurde die Landschaft innerhalb eines Puffers von 250 m um die untersuchten Schläge kartiert. Da nicht alle Schläge der zur Verfügung stehenden Schlagpaare direkt aneinander grenzten, wurde die Breite und Blütenbedeckung der dazwischenliegenden Strukturen (z. B. Feldwege oder Gräben) zusätzlich erhoben, um analysieren zu können, ob diese Strukturen mögliche Nachbarschaftseffekte hemmen, verstärken oder nicht beeinflussen. Damit in der Analyse mögliche Einflüsse der konventionellen Schlagbearbeitung berücksichtigt werden konnten, stellten die Besitzer bzw. Bewirtschafter der Schläge freundlicher Weise Informationen zu Pestizideinsätzen auf 37 von 44 Schlägen zur Verfügung.

Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen

Auf 22 Winterweizenschlägen, die entweder an Ackerbohne oder Winterweizen grenzten, wurden an vier Terminen zwischen Mai und Juli 2018 spezifische Schädlinge (Weizenhähnchen (*Oulema spec.*), Blattläuse (*Sitobion avenae*, *Rhopalosiphum padi*, *Metopolophium dirhodum*)) und Nützlinge (Schwebfliegen, Florfliegen, Marienkäfer und Webspinnen) sowie das Schadbild des Weizenhähnchens und die Parasitierungsleistung durch Hymenopteren in Form von parasitierten Blattläusen (Mumien) bonitiert. Bonitiert wurde entlang von drei in zunehmender Entfernung (1, 20 und 50 m) und parallel zum benachbarten Ackerbohnen- oder Winterweizenschlag liegenden Transekten. Die Transekte hatten Mindestabstände von 20 Metern zu den übrigen benachbarten Schlägen (Abb. 7). Bonituren fanden immer frühestens 24 Stunden nach einem Pestizideinsatz statt.

Zusätzlich zur Bonitur spezifischer Schädlinge, ihrer Fraßschäden und Nützlinge wurde in den bonitierten Schlägen sowie den angrenzenden Ackerbohne- und Winterweizenschlägen (d.h. auf insg. 44 Schlägen) ergänzend insg. 8 Delta-Fallen mit Leimböden (ohne Pheromon-Lockstoff) aufgestellt und zu jeder Bonitur ausgewechselt, um fliegende Nützlinge auf Höhe der Fahnenblätter zu erheben (v.a. Diptera: Schwebfliegen (Syrphidae), Buckeltanzfliegen (Hybotidae), Tanzfliegen (Empididae), Langbeinfliegen (Dolichopodidae); Schnabelhafte (Mecoptera) und Florfliegen (Chrysopidae)) zwischen den Boniturzeitpunkten zu erfassen (Abb. 7).

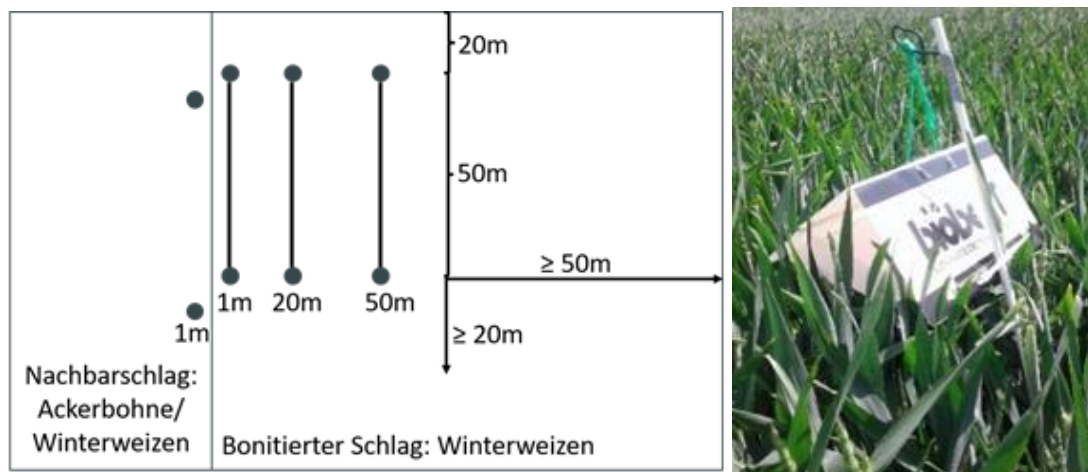


Abb. 7. Links: Schematische Darstellung der Position der Transekte (Linien), entlang derer spezifische Schädlinge, ihre Fraßschäden und Nützlinge in Winterweizen bonitiert wurden, und der Position der Delta-Fallen (Punkte) im bonitierten und im Nachbarschlag. Es wurden Abstände von mind. 20 m zu den seitlichen Schlagrändern und mind. 50 m zu den gegenüberliegenden Schlaggrenzen eingehalten, um auszuschließen, dass Randeffekte von anderen angrenzenden Schlägen gemessen werden. Die Delta-Fallen im Nachbarschlag waren 1 m vom Rand entfernt und zu den Fallen im bonitierten Schlag seitlich 10 m versetzt, um auszuschließen, dass sich beide Fallen gegenseitig beeinflussen. Rechts: Eine Delta-Falle im Winterweizen. Bei jeder Bonitur wurden die Leimböden ausgewechselt und die Position der Fallen neu auf die Höhe der Fahnenblätter ausgerichtet.

Schadsschwellenermittlung

Die Bonituren aus 3.2.2 wurden so terminiert, dass Schadsschwellen von Weizenhähnchen und Blattläusen erhoben werden konnten. Schadsschwellen waren im Jahr der Untersuchung in Niedersachsen folgendermaßen definiert: Weizenhähnchen: Überschreitung der Schadsschwelle ab einer Larve pro zwei Fahnenblätter (ab BBCH 39). Saugschaden durch Blattläuse: Überschreitung der Schadsschwelle ab 20% (während BBCH 51-59) bzw. 50-80% (BBCH 61-75) der untersuchten Halme mit Blattläusen besetzt (LWKN Niedersachsen, 2017). Die Bonituren fanden daher während folgender Begehungen statt: Begehung I: BBCH 39-59 (Fahnenblatt sichtbar – Ende Ährenschieben), II: BBCH 60-69 (Blüte), III: BBCH 71-77 (Milchreife), IV: BBCH 83 -92 (frühe Teigreife – Totreife). Bei jeder Begehung wurden pro Schlag 150 Weizenhalme von derselben Person bonitiert, indem die Transekte gegangen wurden. Pro Transekt wurde an fünf zufälligen Punkten gestoppt und hier links, rechts und vor der bonitierenden Person im Abstand von 50 cm nacheinander 10 Halme gegriffen. Beim Greifen der Halme wurde achtgegeben, dass der Weizenhalm vor dem Zählen der Zielorganismen nicht zu stark geschüttelt wird und Tiere vom Halm fallen. Jeder Halm wurde von der Ähre bis zum

Boden inspiziert. Die Pflanzen wurden dabei nicht zerstört. Bis auf die Weizenhähnchen, deren Schadschwelle über das Auszählen von Individuen ausschließlich auf den Fahnenblättern ermittelt wird, wurden alle Zielorganismen am gesamten Weizenhalm erfasst. Am Ende der vierten Bonitur wurden zur Bestimmung der Tausendkornmasse als Maß für den Ertrag in jedem bonitierten Schlag 30 Ähren geerntet. Pro Tag wurden immer gleich viele von Ackerbohne wie von Winterweizen benachbarte Weizenschläge bonitiert.

Datenauswertung

Nach jeder Bonitur wurde berechnet, ob eine Schadschwelle überschritten war und dies wurde ggf. umgehend an die Besitzer / Bewirtschafter der Schläge weitergegeben. Die Leimböden der Delta-Fallen wurden im Anschluss an die Bonituren im Labor unter dem Binokular (Zeiss Discovery V8 SteREO) mit 10-80 facher Vergrößerung ausgewertet. Auf jedem Leimboden wurden die Individuen der o.g. Taxa gezählt, wobei von der Gruppe der Buckeltanzfliegen Individuen auf Gattungsebene ausgemacht werden konnten und von der Gruppe der Tanzfliegen Individuen auf Artebene. Alle Daten wurden mit gemischten linearen Modellen in R (R Core Team 2019) analysiert. Neben dem Nachbarschlag, der Begehung und der Entfernung zum Rand wurden die Breite und Blütendeckung der Strukturen zwischen den benachbarten Feldern sowie die Zeitpunkte der Pestizideinsätze als Erklärungsvariablen in die Modelle aufgenommen. Die Daten wurden außerdem aufbereitet und an die Projektpartner der FH Südwestfalen für eine Auswertung unter ökonomischen Gesichtspunkten weitergegeben.

3.3.3 Vorfruchteffekte der Ackerbohne auf epigäische Raubarthropoden, Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen sowie Schadschwellenermittlung

Neben den Pflanzeigenschaften einer Feldfrucht können auch die fruchtspezifischen Anbaumethoden Effekte auf die im oder am Acker lebenden Organismen haben. Das zeigt sich unter anderem im vermehrten oder verringerten Vorkommen von Artengruppen oder Arten, die aufgrund ihrer Lebensweise (z. B. Zeitpunkt der Fortpflanzung), morphologischer Eigenschaften (z. B. Größe) oder Mobilität besser oder schlechter an Bearbeitungsgänge wie zum Beispiel das Pflügen angepasst sind (Kromp 1999). Aufgrund der Wurzelmorphologie der Ackerbohne ist ein Anbau der Folgefrucht ohne tiefes Pflügen möglich, wodurch der Boden intakt bleibt und im Boden überwinterte Organismen geschönt werden könnten (Everwand et al. 2017). In den vorliegenden Studien wurde dies untersucht. Die Erwartung war, dass in Winterweizen, der auf Ackerbohne folgte (Bohnenweizen) messbar höhere Dichten von sowohl epigäischen als auch vegetationsbewohnenden räuberischen Arthropoden sind als in Winterweizen, der auf Winterweizen folgte (Stoppelweizen).

Schlagauswahl 2018

Für die Untersuchung der Vorfruchteffekte der Ackerbohne konnten 2018 insgesamt 30 Schläge in Niedersachsen ausgemacht und ihre Bewirtschafter zur Kooperation gewonnen werden. Bei der Auswahl der Schläge wurde vorgegangen wie unter 3.3.2

beschrieben. Auch die Lage der Schläge resultierte aus derselben Vorgehensweise. Auch hier stellten Besitzer bzw. Bewirtschafter Informationen zu Pestizideinsätzen und zur Bodenbearbeitung zur Verfügung.

Vorfruchteffekte auf epigäische Raubarthropoden

Für die Untersuchung der Vorfruchteffekte wurden zwei Methoden angewandt, damit Vorfruchteffekte auf sowohl epigäische als auch auf vegetationsbewohnende Raubarthropoden gemessen werden konnten. Für die Untersuchung von Effekten auf die epigäischen Raubarthropoden wurden zwischen April und Mai 2018 mithilfe von Photoeklektoren (Firma ecoTech, Abb. 8) auf 18 Schlägen (neun Bohnenweizen- und neun Stoppelweizenschläge) die im Schlag überwinterten Arthropoden erfasst. Ein Photoeklektor besteht aus einem 25 cm hohen Kunststoffzylinder, einer weißen Abdeckung aus Zeltstoff und einer an einer Edelstahlhalterung angebrachten Eklektorkopfdose, die als Lichtfalle dient. Die Eklektorkopfdose kann sowohl von geflügelten als auch, über die raue Innenseite des Eklektors, von ungeflügelten Arthropoden erreicht werden. Innerhalb des Kunststoffzylinders ist eine Bodenfalle mit der Bodenoberfläche abschließend in den Boden eingesetzt (Durchmesser 9cm). Der Kunststoffzylinder wurde etwa 5 cm tief in den Boden eingegraben. Er umringt eine Fläche von 0,25 Quadratmeter. Als Fangflüssigkeit in Licht- und Bodenfallen wurde Ethylenglycol (1:2 verdünnt mit Wasser) eingesetzt, in das ein geruchloses Detergenz zum Verringern der Oberflächenspannung gegeben wurde. Pro Schlag wurde ein Photoeklektor im Abstand von 60 m zu zwei Rändern installiert; dieser Abstand war im kleinsten beprobten Schlag der maximale Abstand, der zu allen Rändern eingehalten werden konnte. Die Boden- und Lichtfallen des Photoeklektors wurden dreimal im 14-tägigen Rhythmus ausgetauscht und die Falleninhalte in Whirlpacks bei 3°C bis zur weiteren Aufbereitung gelagert. Im Labor wurden die insg. 108 Proben der Boden- und Lichtfallen in 13 Taxa sortiert: Laufkäfer (Carabidae), Kurzflügelkäfer (Staphylinidae), Spinnen (Araneae), Weberknechte (Opiliones), Tausendfüßer (Diplopoda), Hundertfüßer (Chilopoda), Ameisen (Formicidae), Schnellkäfer (Elateridae), weitere Käfer (Coleoptera), Asseln (Isopoda), Wanzen (Heteroptera), Zikaden (Auchenorrhyncha), parasitoide Hautflügler (Hymenoptera).

Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen

Für die Untersuchung der vegetationsbewohnenden spezifischen Schädlinge, ihrer Fraßschäden und Nützlinge wurden auf zehn der unter 3.3.2 beschriebenen Schläge sowie auf 12 weiteren (insg. 22 Schläge, 11x Bohnenweizen, 11x Stoppelweizen) zwischen Mai und Juli 2018 an vier Terminen Bonituren vorgenommen. Ebenso wie zur Untersuchung der Nachbarschaftseffekte wurden hier das Weizenhähnchen (*Oulema spec*), Blattläuse (*Sitobion avenae*, *Rhopalosiphum padi*, *Metopolophium dirhodum*), sowie folgende Nützlinge (Schwebfliegen, Florfliegen, Marienkäfer und Webspinnen), das Schadbild des Weizenhähnchens und die Parasitierungsleistung durch Hymenopteren in Form von parasitierten Blattläusen (Mumien) aufgenommen. Die Bonituren erfolgten auf jedem Schlag entlang von drei 50 m langen Transekten, die einen Mindestabstand von 20 m zum Feldrand hatten (Abb. 8). Pro Schlag wurden 90 Halme bonitiert (30 pro Transekt). Die genaue Boniturmethode erfolgte wie unter 3.3.2. beschrieben.

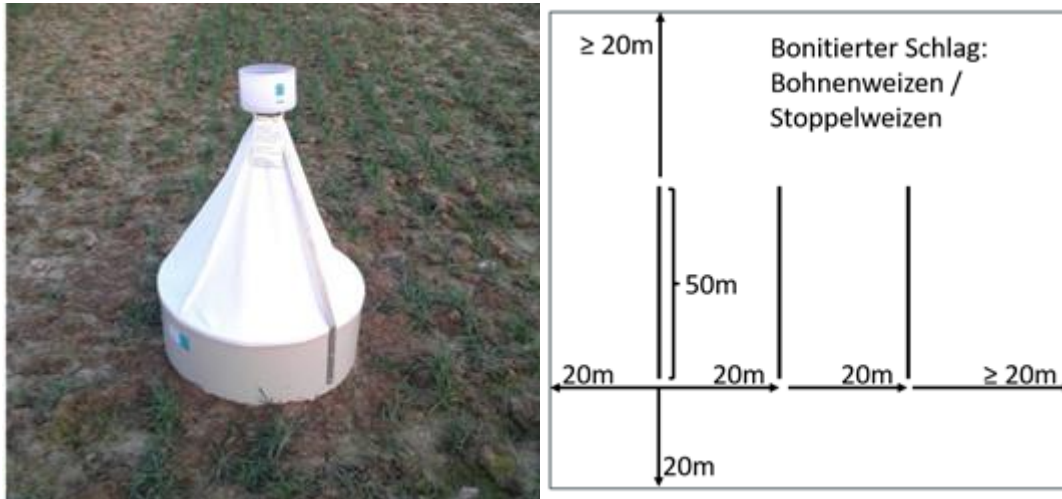


Abb. 8. Vorfruchteffekte wurden mit zwei Methoden quantifiziert. Links: Mit Photoelektroden, hier im Winterweizen im Einsatz, wurden im Schlag überwinternde epigäische Arthropoden erfasst. Rechts: Vegetationsbewohnende spezifische Schädlinge, ihre Fraßschäden und Nützlinge wurden über Bonituren erfasst. Bonituren erfolgten entlang von drei 50 m langen Transekten (Linien). Mindestabstände von 20 m zueinander und zu den Feldrändern wurden eingehalten.

Schadsschwellenermittlung

Die genaue Vorgehensweise zur Ermittlung von ökonomischen Schadsschwellen war wie unter 3.3.2 beschrieben.

Datenauswertung

Die Vorfruchteffekte wurden in R mit gemischten linearen Modellen ausgewertet, in denen die Vorfrucht und die Begehung bzw. Fangperiode sowie die Zeitpunkte der Pestizideinsätze und der Bodenbearbeitung als Einflussvariablen berücksichtigt werden.

3.4 Agrarökonomische und pflanzenbauliche Bewertung des Leguminosenanbaus

3.4.1 Datenerhebung

Zur ökonomischen und pflanzenbaulichen Bewertung wurden von den Praxisbetrieben die produktionsspezifischen Daten der einzelnen Kulturen aus den Erntejahren 2017 und 2018 mit Hilfe eines vom Demonstrationsnetzwerk Erbse/Bohne (DemoNetErBo) entwickelten und ggfs. angepassten Fragebogens erhoben. Um die Konkurrenzfähigkeit von Ackerbohnen im Vergleich zu anderen Kulturen bewerten zu können, wurden neben den produktionsspezifischen Daten der Ackerbohnen weitere Daten von Referenzkulturen, die alternativ zu den Körnerleguminosen in der Fruchtfolge stehen, abgefragt und den Ackerbohnen gegenübergestellt. Als Referenzkulturen dienten Winterweizen (Blattfrucht- und Stoppelweizen) und Raps. Neben allgemeinen Angaben zum Betrieb sowie den Leistungen und Kosten der relevanten Kulturen wurden auch detaillierte Angaben zur Betriebsführung und zu den Arbeitsmitteln (z. B. verwendete Maschinen, Pflanzenschutzmittel und Düngemittel) ermittelt. Um Aussagen über die betriebsindividuellen Vorteile des Leguminosenanbaus und ihre Vorfruchteffekte treffen

zu können, wurden jene Betriebe, welche Leguminosen anbauen, zudem nach ihrer Anbaumotivation und ihren Erfahrungen beim Anbau dieser Kulturen gefragt. Zur Überprüfung der Plausibilität der betriebsindividuellen Daten wurden diese mit den Referenzwerten der Richtwert-Deckungsbeiträge der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK Niedersachsen 2017b und 2018) sowie des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL 2018) verglichen und gegebenenfalls angepasst.

Für das Erntejahr 2017 konnten die Betriebsdaten aller relevanten Schläge erhoben werden. Hierbei handelt es sich um 15 Ackerbohnen-, 15 Stoppelweizen-, 28 Blattfruchtweizen- und 19 Raps-Schläge von insgesamt 31 Betrieben. Die Betriebsdaten von vier Praxisbetrieben wurden dabei vom DemoNetErBo zur Verfügung gestellt. Die für das Erntejahr 2018 relevanten Schläge konnten aufgrund mangelnder Aktivitäten und Bereitschaft zur Teilnahme einiger Betriebsleiter nicht vollständig erhoben werden. Für eine Auswertung standen insgesamt die Daten für 68 Schläge, davon 11 Winterraps-, 18 Ackerbohnen- und 39 Winterweizenschläge, von 26 Betrieben zur Verfügung.

3.4.2 Auswertung der Betriebsdaten

Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung

Die Bewertung der einzelbetrieblichen Wirtschaftlichkeit der Ackerbohnen und der Referenzkulturen erfolgte auf Grundlage des Berechnungssystems der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen (DAL). Die DAL wird berechnet, indem von der Leistung die Direktkosten sowie die festen und variablen Arbeitserledigungskosten abgezogen werden (siehe Tab.1) (KTBL 2017). Somit trägt die DAL zur Deckung der verbleibenden Kosten wie Gebäude-, Flächen-, Rechte-Kosten sowie allgemeine Kosten der Unternehmensführung bei. Anders als beim Deckungsbeitrag werden bei der DAL auch die festen Lohnkosten und festen Kosten der Arbeitsmittel (feste Arbeitserledigungskosten) in die Kalkulation einbezogen, wodurch sich in ihr auch die Effekte der Auslastung der Arbeitsmittel widerspiegeln. Die verwendeten Preise sind Nettopreise und stammen aus den betriebsspezifischen Angaben der Praxisbetriebe. Alternativ wurden bei fehlenden Preisangaben Durchschnittspreise aus den Richtwert-Deckungsbeiträgen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK Niedersachsen 2017b und 2018) verwendet.

Die Leistung der jeweiligen Produktionsverfahren ist der monetär bewertete Ertrag der Hauptprodukte. Die monetäre Bewertung der Erträge von Ackerbohnen und den Referenzkulturen erfolgte dabei über den betriebsindividuellen Preis, den die Betriebsleiter für ihr Produkt erzielen konnten. Auch Direktzahlungen aus Agrarumweltmaßnahmen können hier berücksichtigt werden, waren für die Praxis schläge hingegen nicht von Bedeutung. Zusätzlich wurde der monetäre Vorfruchtwert als Leistung der Ackerbohnen in die Berechnung einbezogen. Dieser fasst die pflanzenbaulichen Vorteile der Körnerleguminose auf die nachfolgenden Kulturen zusammen. Zur monetären Bewertung des Vorfruchtwertes wurden anhand der betriebsspezifischen Angaben der Betriebsleiter die Faktoren Mehrerlös der Folgefrucht, Einsparungen N-Düngerkosten und Einsparungen Maschinenkosten zur Folgefrucht als wesentliche Elemente des Vorfruchtwertes von Ackerbohnen, im Vergleich zu einer Getreidevorfrucht,

einbezogen. Auf Basis der entsprechenden Marktpreise errechnete sich so der jeweilige Vorfruchtwert der Ackerbohnen.

Zur Berechnung der Direktkosten wurden die betriebsspezifischen Kosten für Saatgut, Pflanzenschutzmittel, Hagelversicherung sowie Lager- und Trocknungskosten, sofern keine innerbetriebliche Verwertung der Ernte erfolgte, berücksichtigt. Die Kosten für Düngemittel wurden anhand der Nährstoffabfuhr berechnet. Die Nährstoffabfuhr bildet dabei das Produkt aus Kornertrag, Reinnährstoffgehalte (N, P, K, Mg) und Nährstoffpreise. Für die Ackerbohnen wurde angenommen, dass die Stickstofffixierung mindestens der Nährstoffabfuhr entspricht, sodass eine Stickstoffdüngung zur Leguminose selbst nicht berücksichtigt wurde.

Sofern keine konkreten Kosten für Arbeitsmittel und Lohnkosten von den Praxisbetrieben angegeben wurden, erfolgte die Berechnung der Arbeitserledigungskosten auf Grundlage der betriebsspezifischen Angaben mit dem KTBL-Feldarbeitsrechner (KTBL 2019). Als Lohnansatz wurden 15 Euro je Arbeitskraftstunde (Akh) angenommen. Kosten für die Vergabe von Arbeitsaufträgen an Lohnunternehmen wurden ebenfalls in die Berechnung einbezogen.

Tabelle 1. Berechnungsschema der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung (DAL) (nach KTBL 2017).

Leistungen	Erlös aus Verkauf (Direktzahlungen aus Agrarumweltmaßnahmen) Vorfruchtwert (Ackerbohne)
- Direktkosten	Kosten für Saatgut Kosten für Düngung / Nährstoffabfuhr Kosten für Pflanzenschutz Kosten für Versicherungen Kosten für Lagerung und Trocknung
= Direktkostenfreie Leistung	
- Arbeitserledigungskosten	Lohnansatz Kosten für Lohnunternehmer Feste Maschinenkosten Variable Maschinenkosten
= Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL)	

Pflanzenbauliche Bewertung

Auf pflanzenbaulicher Ebene erfolgte eine Bewertung der Bodenbearbeitungs-, Dünge- und Pflanzenschutzintensität anhand der erhobenen Betriebsdaten. Auch hierzu wurden die Daten der Ackerbohnen denen der Referenzkulturen gegenübergestellt. Weiterhin wurden die Ergebnisse aus den Fragebögen zur Anbaumotivation und Erfahrung beim Anbau von Ackerbohnen in die Bewertung einbezogen. So war es möglich, umfangreiche Aussagen über die pflanzenbaulichen Vorzüge des Ackerbohnenanbaus zu treffen.

Vorfrucht-, Nachbarschafts- und Landschaftseffekte

Für die gezielte ökonomische und pflanzenbauliche Bewertung der durch den Ackerbohnenanbau gesteigerten Biodiversität und Ökosystemleistungen wurden ergänzend zu den abgefragten Betriebsdaten weitere Daten aus dem Erntejahr 2018 von den Projektpartnern TI-BD und UGOE zur Verfügung gestellt. Diese umfassen Daten aus den Bonituren 2018, welche im Rahmen der Untersuchung von Nachbarschafts- und Vorfruchteffekten (TI-BD) sowie der Bestäuberleistung (UGOE) (Landschaftseffekte) durchgeführt wurden, mit denen die Erträge aller relevanten Kulturen durch Hochrechnung geschätzt werden konnten. Diese Daten sollten herangezogen werden, um Aussagen über ertragssteigernde Effekte im an Ackerbohnen angrenzenden bzw. diesen nachfolgenden Winterweizen und bei Raps in Ackerbohnenlandschaften zu treffen. Die Ergebnisse dieser Ertragshochschätzungen waren hingegen nur bedingt für eine ökonomische Bewertung geeignet. Eine Bewertung erfolgte aus diesem Grund auf Basis der abgefragten Betriebsdaten aller relevanten Schläge (Schlag-Paare), welche im Rahmen der Vorfrucht-, Nachbarschafts- und Landschaftseffekte von den Projektpartnern TIBD und UGOE untersucht wurden.

3.4.3 Berechnung des Energie- und Produktionsmitteleinsatzes in kg-CO₂-Äquivalente

In Anbetracht der aktuellen Klimadiskussion wurde als Zusatz die Verringerung der durch den Energie- und Produktionsmitteleinsatz verursachten Treibhausgasemissionen beim Anbau von Ackerbohne im Vergleich zu den Referenzkulturen kalkuliert. Diese Daten sollten als positive Umweltleistung der Ackerbohne in die Bewertung des Ackerbohnenanbaus einfließen. Anhand der erhobenen Betriebsdaten wurden die CO₂- Äquivalente als Maß für die Treibhauswirkung für den Bilanzierungszeitraum nach der Ernte der Vorfrucht bis einschließlich der Ernte der Hauptfrucht berechnet. Die Erfassung der Treibhauswirkung erfolgte dabei für die gesamten Energie- und Produktionsmittel, welche innerhalb des genannten Bilanzierungszeitraumes eingesetzt wurden. Mittels Umrechnungszahlen konnten so aussagefähige Kennzahlen zur Darstellung der Treibhausgasemission kalkuliert werden. Die Berechnung erfolgte in Anlehnung an den von der Agrarmarketinggesellschaft Sachsen-Anhalt GmbH, mit Unterstützung der MLU Sachsen-Anhalt, entwickelten „Leitfaden Energiemanagement und Klimaschutz in der Landwirtschaft“ (AMG 2011). Ergänzt und angepasst wurde die Berechnung durch Daten zu Vorleistungswerten für Saatgut und Pflanzenschutzmittel der Ecoinvent Datenbanken (Ecoinvent 2011 und 2013).

Folgende Tabelle 2 zeigt das Schema zur Berechnung der Treibhausgasemissionen im Feldanbau, welche durch den Einsatz von Saatgut, Diesel, Pflanzenschutzmittel sowie Stickstoff-, Phosphor-, Kalium- und Calciumdünger verursacht werden. Die Kalkulation der jeweiligen Produktionsmittel erfolgt dabei durch Multiplikation der Einsatzmenge mit den entsprechenden Koeffizienten der daraus resultierenden Treibhausgasemissionen und einer anschließenden Aufsummierung dieser Emissionen. Bei den Produktionsmitteln Saatgut, Pflanzenschutzmittel und Dünger liegt die Emissionsquelle in der Herstellung. Hierbei kommt es aufgrund des Energieverbrauchs zu CO₂-Emissionen. Hinzukommen Lachgasemissionen (N₂O) aus dem Herstellungsprozess und der Ausbringung von Stickstoffdünger (N-Dünger). Weitere Treibhausgasemissionen werden bei der Verbrennung von Treibstoffen (Diesel) in Form von CO₂ verursacht. Zudem entstehen

auch bei der Förderung und Verarbeitung des Grundstoffs (Erdöl) der Treibstoffe aufgrund des Energieaufwandes Treibhausgasemissionen (AMG 2011).

Tabelle 2. Berechnungsschema Treibhausgasemissionen beim Anbau von Ackerbohnen (AB), Weizen (W) und Raps (R) (nach AMG 2011).

Energieeinsatz		Produktionsverfahren	Quelle
Bezugsbasis		je ha Ackerfläche	
Saatgut	kg/ha		
E-Faktor Saatgut (Herstellung)	kg CO ₂ -Äq. kg Saatgut ⁻¹	0,68 (AB), 0,94 (W), 0,95 (R)	Ecoinvent 2011
= CO₂-Emission Saatgut	kg CO₂-eq/ha	0	
Dieseleinsatz			
Dieserverbrauch	l/ha		
E-Faktor Diesel (Hrst. + Einsatz)	kg CO ₂ -eq/l	2,10	TREMOD 2010
= CO₂-Emission Dieseleinsatz	kg CO₂-eq/ha	0	
Pflanzenschutzmitteleinsatz			
Pflanzenschutzmittel	kg/ha		
E-Faktor PSM (Herstellung)	kg CO ₂ -eq/kg	11,26	Ecoinvent 2013
= CO₂-Emission PSM Einsatz	kg CO₂-eq/ha	0	
Düngereinsatz			
N-Dünger	kg/ha		
E-Faktor N-Dünger (Herstellung)	kg CO ₂ -eq/kg Dünger	6,41	IFEU 2008
E-Faktor Feldemission Dünger	kg CO ₂ -eq/kg Dünger	4,87	IPCC 2006
= CO₂-Emission N-Düngereinsatz	kg CO₂-eq/ha	0	
P-Dünger	kg/ha		
E-Faktor P-Dünger (Herstellung)	kg CO ₂ -eq/kg Dünger	1,18	IFEU 2008
= CO₂-Emission P-Düngereinsatz	kg CO₂-eq/ha	0	
K-Dünger	kg/ha		
E-Faktor K-Dünger (Herstellung)	kg CO ₂ -eq/kg Dünger	0,66	IFEU 2008
= CO₂-Emission K-Düngereinsatz	kg CO₂-eq/ha	0	
Ca-Dünger	kg/ha		
E-Faktor Ca-Dünger (Herstellung)	kg CO ₂ -eq/kg Dünger	0,30	IFEU 2008
= CO₂-Emission Ca-Düngereinsatz	kg CO₂-eq/ha	0	
= CO₂-Emission Düngereinsatz ges.	kg CO₂-eq/ha	0	
= CO₂-Emission Anbau ges.	kg CO₂-eq/ha	0	

4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

4.1 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Bestäuber und ihre Bestäubungsleistung

4.1.1 Abundanz und Artenvielfalt von Bestäubern in Ackerrandstreifen und naturnahen Habitaten

Die Ergebnisse der Bestäuberaufnahmen aus den Transektgängen an den Ackerrandstreifen zeigen, dass Hummeln vom Anbau von Ackerbohnen profitieren. In den Ackerbohnenlandschaften waren nach der Ackerbohnenblüte mehr als doppelt so hohe Hummeldichten vorhanden, wie in den Landschaften ohne Bohnen (Abb. 9a). Andere Wildbienen (non-*Bombus*) wurden allerdings nicht vom Ackerbohnenanbau beeinflusst (Abb. 9b). Der wichtigste Faktor für die non-*Bombus* Wildbienenendichten war der Anteil naturnaher Habitats. Non-*Bombus* Wildbienenendichten waren höher in Landschaften mit einem erhöhten Anteil naturnaher Habitats, vor allem während Begehung 2 (Abb. 9c).

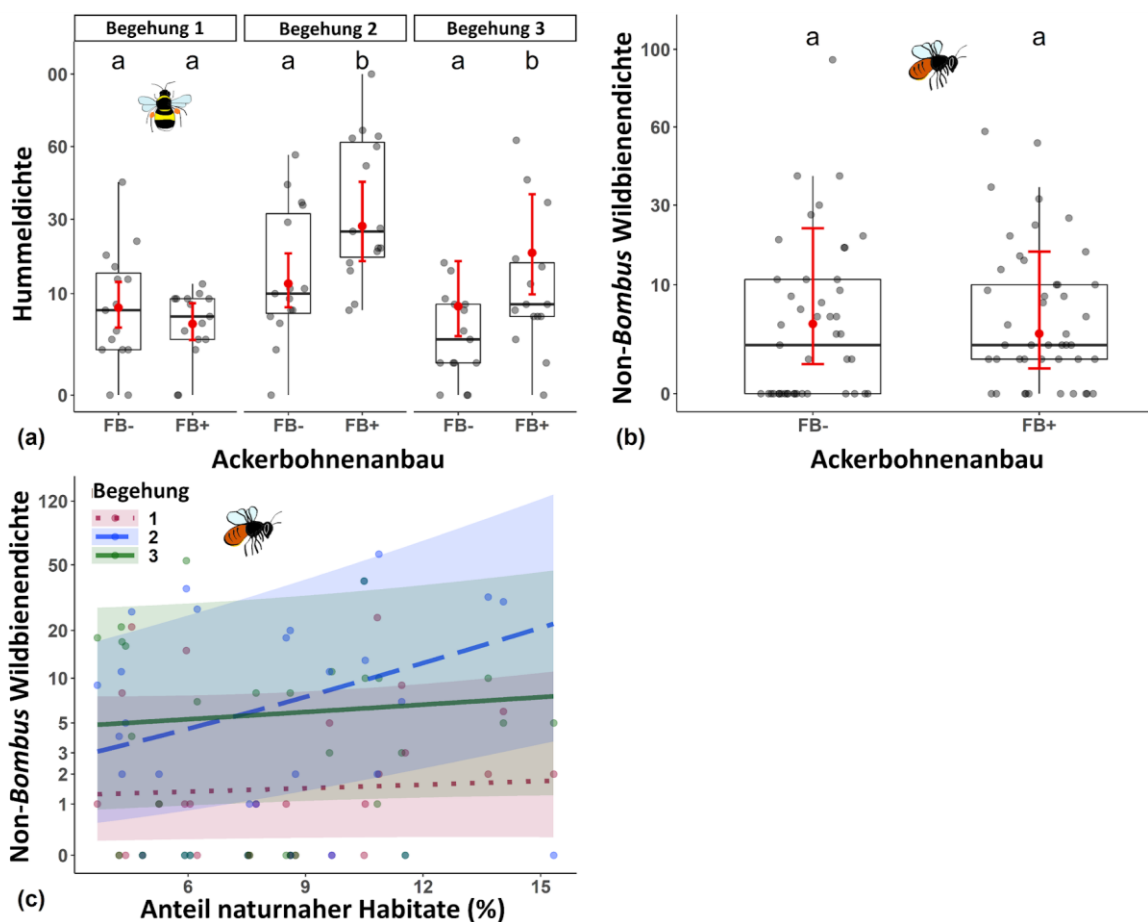


Abb. 9 Einfluss des Ackerbohnenanbaus auf (a) Hummeldichten (für die unterschiedlichen Begehungen) und auf (b) Dichten der non-*Bombus* Wildbienen (FB+ Landschaft mit Ackerbohnen; FB- Landschaft ohne Ackerbohnen). (c) Effekt des Anteils naturnaher Habitats auf die Dichte der non-*Bombus* Wildbienen für die unterschiedlichen Begehungen. Begehung 1 fand während der Ackerbohnenblüte statt, Begehung 2 und 3 danach. Abbildung bearbeitet von Beyer et al., 2020, *J. Appl. Ecol.*

Außerdem haben wir einen erhöhten Anteil an Bienen, die Pollen von Fabaceae sammeln in Landschaften mit Ackerbohnen verglichen mit den Landschaften ohne Bohnenanbau gefunden – nachdem die Ackerbohnenblüte vorbei war in Begehung 2 und 3 (Abb. 10a). In Landschaften mit einem höheren Anteil an naturnahen Habitaten waren die Bienen im Mittel kleiner als in Landschaften mit wenig naturnahen Lebensräumen (Abb. 10b).

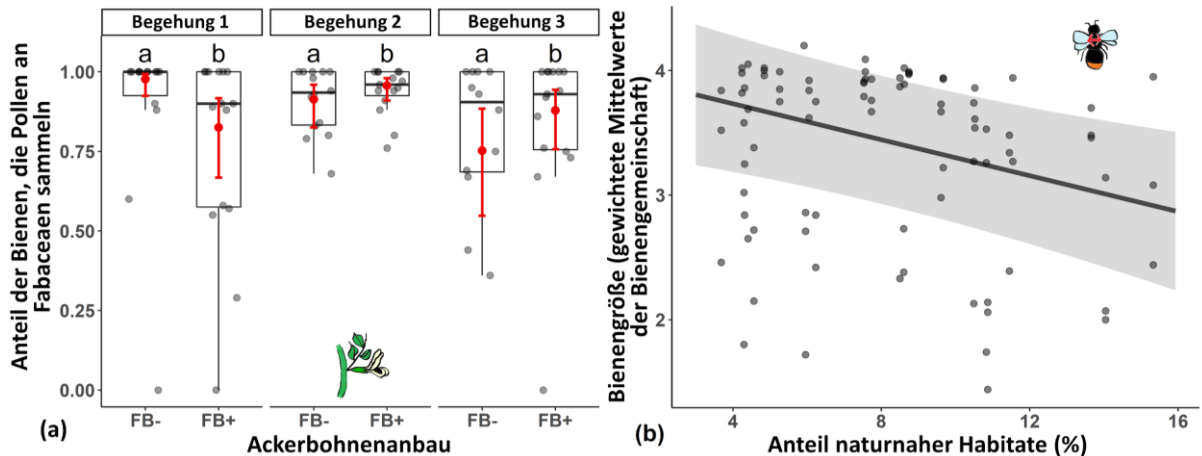


Abb. 10. (a) Einfluss des Ackerbohnenanbaus auf den Anteil der Hummeln, die Pollen von Fabaceae sammeln für die unterschiedlichen Begehungen (FB+ Landschaft mit Ackerbohnen; FB- Landschaft ohne Ackerbohnen). (b) Effekt des Anteils naturnaher Habitats auf die gewichteten Mittelwerte der Bienenlänge (gemessen als intertegular Abstand). Begehung 1 fand während der Ackerbohnenblüte statt, Begehung 2 und 3 danach. Abbildung bearbeitet von Beyer et al., 2020, *J. Appl. Ecol.*

Die Studienergebnisse der Daten von den Transektgängen in den naturnahen Habitaten zeigen, dass auch die Hummeldichten in den naturnahen Habitaten in Landschaften mit Ackerbohnenanbau höher sind als in den Landschaften ohne Bohnen (Abb. 11a). Die Dichten der non-*Bombus* Wildbienen und der Artenreichtum aller Wildbienen wurden nur von der lokalen Blütendeckung in den naturnahen Habitaten beeinflusst (Abb. 11 b&c).

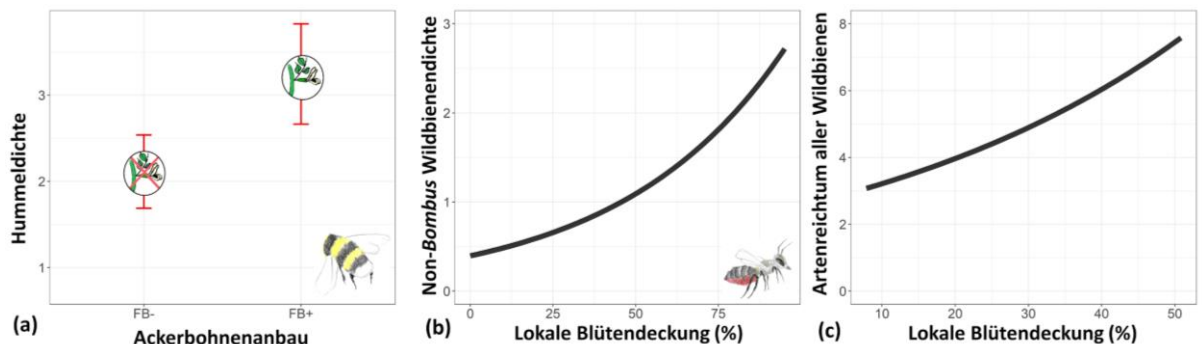


Abb. 11. (a) Einfluss des Ackerbohnenanbaus auf die Hummeldichte in naturnahen Habitaten (FB+ Landschaft mit Ackerbohnen; FB- Landschaft ohne Ackerbohnen). Einfluss der lokalen Blütendeckung in den naturnahen Habitaten auf (b) die Dichte der non-*Bombus* Wildbienen und auf (c) den Artenreichtum aller Wildbienen.

Wir haben einen erhöhten Anteil an sozialen Bienen in Landschaften mit Ackerbohnenanbau nach der Bohnenblüte gefunden (Abb. 12a), sowie dasselbe Muster für den Anteil der Bienen die Pollen an Fabaceae sammeln. Außerdem fanden wir einen höheren Anteil solitärer Bienen in den Bienengemeinschaften in Landschaften mit einem erhöhten Anteil an frühblühendem Raps (Abb. 12b). Es konnte eine marginal signifikante Tendenz eines höheren Anteils an langrüsseligen Hummeln in Landschaften mit Ackerbohnenanbau verzeichnet werden.

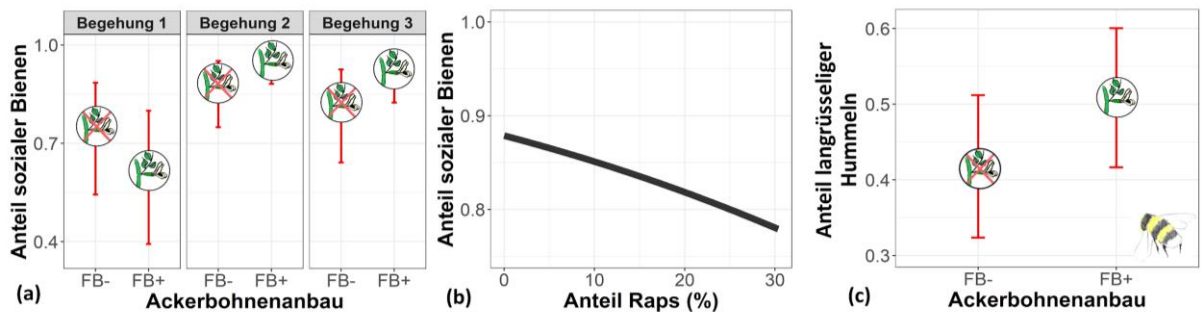


Abb. 12. (a) Einfluss des Ackerbohnenanbaus auf den Anteil der sozialen Bienen an der gesamten Bienengemeinschaft in den verschiedenen Untersuchungslandschaften (für die drei Begehungen). (b) Einfluss des Rapsanteils in der Landschaft auf den Anteil sozialer Bienen. (c) Effekt des Ackerbohnenanbaus auf den Anteil der langrüsseligen Hummeln (an allen aufgenommenen Hummeln). FB+ Landschaft mit Ackerbohnen; FB- Landschaft ohne Ackerbohnen.

Die Dichten und der Artenreichtum der Schwebfliegen aus den Transektgängen an den Ackerrandstreifen unterschied sich nicht signifikant zwischen Ackerbohnen Landschaften und Landschaften ohne Bohnen (Abb. 13a). Die Larven der zahlenmäßig größten Gruppe der gefangenen Schwebfliegen ernährt sich zoophag, die wenigsten gehörten der Gruppe mit phytophagen Larven an (Abb. 13b). Der Schwebfliegenartenreichtum sank mit steigendem Anteil an naturnahen Habitaten in Ackerbohnenlandschaften und erhöhte sich mit steigendem Anteil naturnaher Habitats in Landschaften ohne Bohnen (Abb. 13c). Keine weiteren Landschaftseffekte auf die Schwebfliegendichten oder den Artenreichtum konnten beobachtet werden.

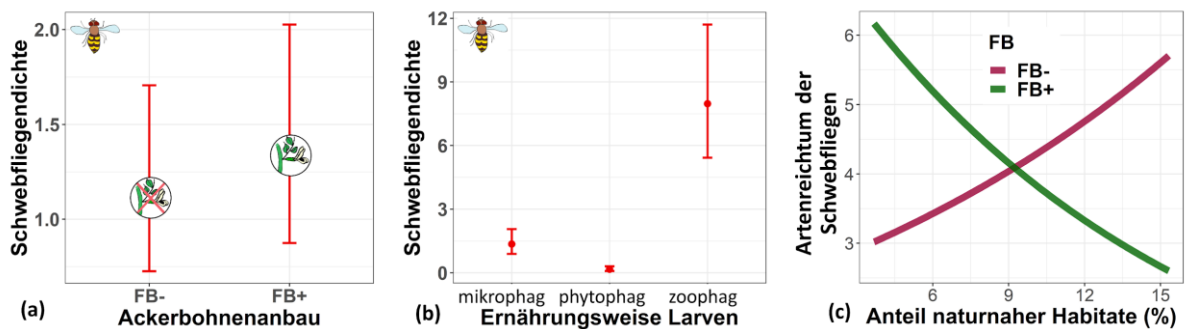


Abb. 13. (a) Einfluss des Ackerbohnenanbaus auf die Schwebfliegendichte (b) Schwebfliegendichten der unterschiedlichen Phagiegruppen (Ernährungsweise der Larven) (c) Effekt des Anteils naturnaher Habitats auf den Schwebfliegenartenreichtum, für Landschaft mit Ackerbohnen (FB+) und Landschaft ohne Ackerbohnen (FB-).

4.1.2 Reproduktion und Ressourcennutzung von Hummelkolonien

Das Strukturgleichungsmodell der Hummelkoloniedaten zeigt, dass die Anzahl der Brutzellen positiv mit der Anzahl junger Königinnen korreliert war (Abb. 14a). Die Anzahl der Brutzellen der Kolonien wurde negativ von dem Gewicht der Wachsmotten beeinflusst, welche die Kolonien befallen hatten. Der Anteil naturnaher Habitate in der Landschaft beeinflusste die Wachsmotten negativ. Ein erhöhter Pollentypenreichtum wirkte sich positiv auf die Anzahl der neuen Jungköniginnen aus, allerdings nur in den Landschaften ohne Ackerbohnenanbau und nicht in den Ackerbohnenlandschaften (Abb. 14b). Die Landschaftsstruktur beeinflusste die Reproduktion der Hummelkolonien oder ihre Ressourcennutzung nicht.

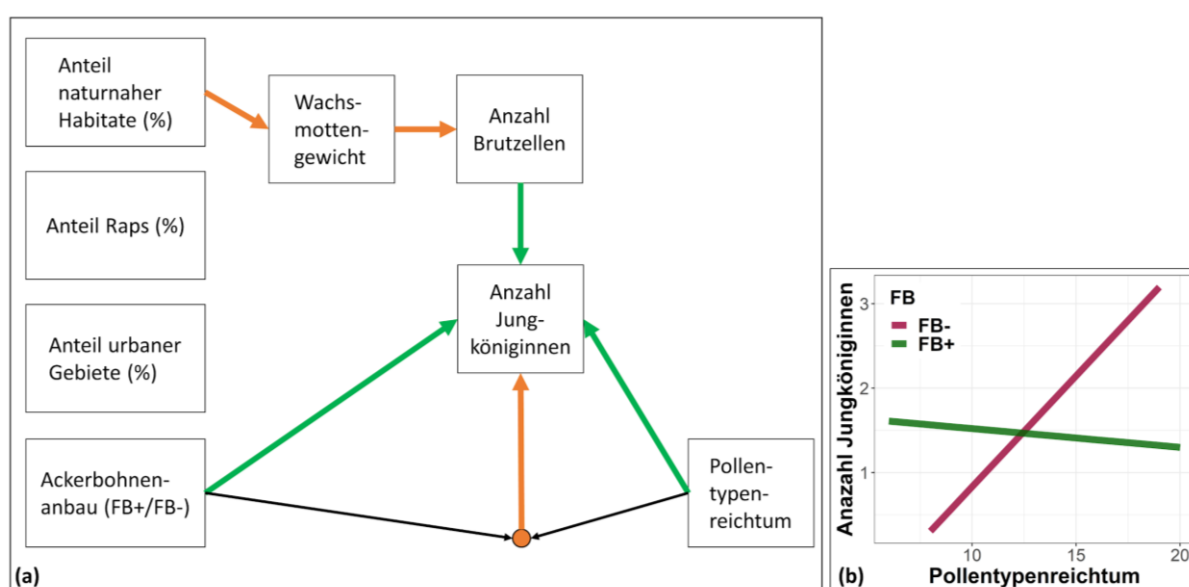


Abb. 14. (a) Strukturgleichungsmodell, welches die Zusammenhänge zwischen Landschaftsstruktur, Größe (Brutzellenzahl) und Reproduktionserfolg (Jungköniginnenanzahl) der Hummelkolonien, dem eingetragener Pollentypenreichtum und dem Wachsmottenbefall darstellt. Grüne Pfeile zeigen positive Effekte an und orangene negative Effekte. (b) Einfluss des Pollentypenreichtums auf die Anzahl der Jungköniginnen für Ackerbohnenlandschaften (FB+) und Landschaften ohne Bohnen (FB-).

4.1.3 Bestäuberverhalten, Bestäubungsleistung und Erträge von *V. faba* (Bestäubungsexperiment)

Die meisten der beobachteten Blütenbesuche an den Ackerbohnen waren Nektarraub. 88.5 % aller Honigbienenbesuche waren Nektarraub und 82.0 % aller Besuche von kurzrüsseligen Hummeln. Langrüsselige Hummeln dagegen besuchten die Blüten meistens regulär und nur 15.7 % ihrer Besuche waren Nektarraub.

Die Ergebnisse der Transektgänge in den Ackerbohnenfeldern haben ergeben, dass die Bienendichten im Feld, sowohl als auch ihr Sammelverhalten an den Ackerbohnen von der umgebenden Landschaftsstruktur beeinflusst wird. Mit einem höheren Anteil von Raps in der umgebenden Landschaft wurden geringere Bienendichten im Ackerbohnenfeld beobachtet (Abb. 15a). Mit erhöhtem Anteil naturnaher Habitate in der umgebenden

Landschaft waren mehr Hummeln in den Ackerbohnenfeldern vorhanden und weniger Honigbienen (Abb. 15b). Der Anteil der nektarraubenden kurzzüsseligen Hummeln im Ackerbohnenfeld nahm zu mit steigendem Anteil naturnaher Habitats (Abb. 15c).

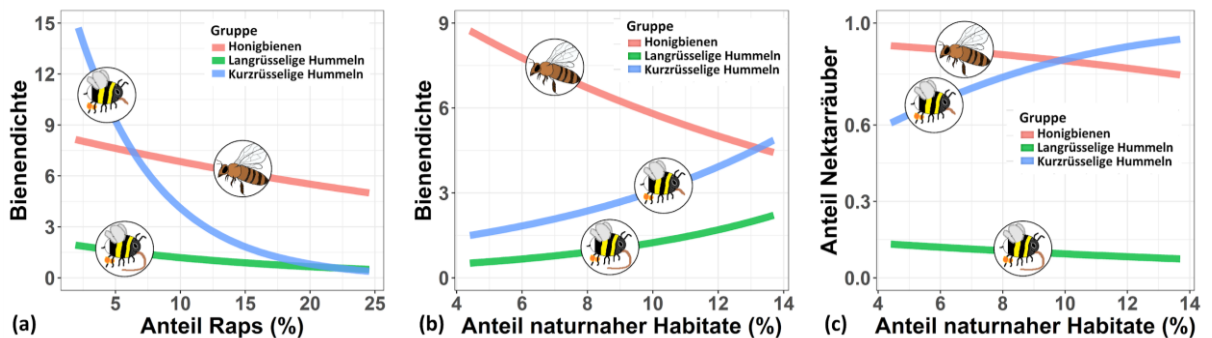


Abb. 15. (a) Einfluss des Rapsanteils in der umgebenden Landschaft auf die Dichte von Honigbienen, langrüsseligen und kurzzüsseligen Hummeln in Ackerbohnen. Einfluss des Anteils naturnaher Habitats in der umgebenden Landschaft auf die (b) Dichten und den (c) Anteil nektarraubender Honigbienen, kurzzüsseliger und langrüsseliger Hummeln.

Die Auswertung des Bestäuberausschlussexperimentes hat ergeben, dass der Einfluss der Insektenbestäubung auf den Ackerbohnenenertrag sortenabhängig ist. Die Samenanzahl pro Hülse war 57.9 % höher in offen bestäubten verglichen mit eingetüteten Ackerbohnenpflanzen bei der Sorte Fuego (Abb. 16a). Bei Sorte Tiffany war die Bohnenzahl pro Hülse dagegen nur um 37 % höher. Bei Fuego war das individuelle Samengewicht um 10.9 % höher in eingetüteten verglichen mit offen bestäubten Pflanzen, das Samengewicht pro Pflanze um 17.6 % höher und die Erträge um 57.5 % (Abb. 16b). Im Gegensatz dazu hatten die eingetüteten Pflanzen bei Tiffany 12.4 % mehr Hülsen, als die offen bestäubten, das individuelle Samengewicht, das Samengewicht pro Pflanze und die Erträge unterschieden sich allerdings nicht signifikant zwischen den Pflanzen mit und ohne Insektenbestäubung. Zudem wurden die Proteinenerträge nicht vom Ausschlussexperiment beeinflusst.

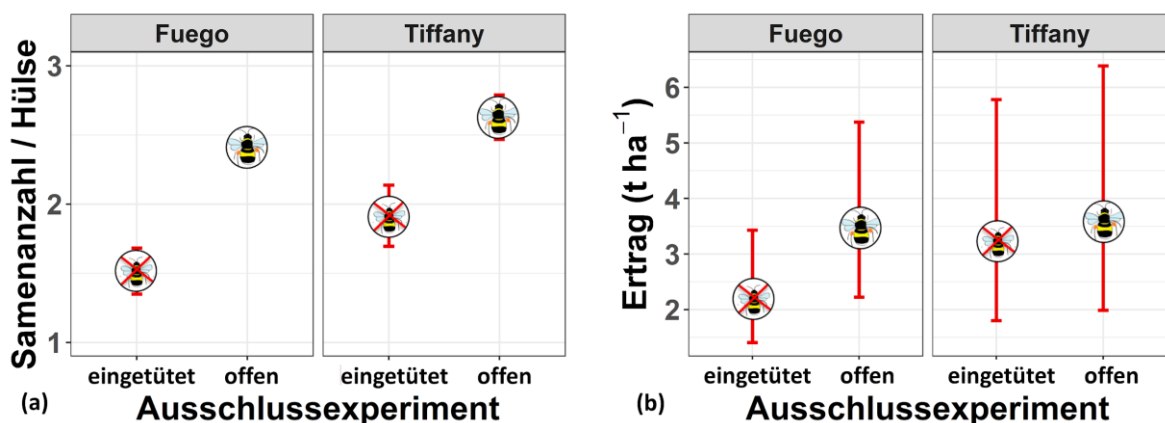


Abb. 16. (a) Samenanzahl / Hülse und (b) Erträge für die eingetüteten und offenen Ackerbohnenpflanzen der Sorten Fuego und Tiffany.

Des Weiteren hatte die umgebende Landschaft einen Einfluss auf die Ackerbohnenenerträge. In Landschaften mit einem erhöhten Anteil an Raps, wurden geringere Erträge verzeichnet (Abb. 17a). Im Gegensatz dazu waren die Ackerbohnenenerträge höher in Landschaften mit einem erhöhten Anteil naturnaher Habitate (Abb. 17b) und mit einem erhöhten Anteil an Ackerbohnen (Abb. 17c). Außerdem gab es Interaktionen zwischen der Landschaftsstruktur und der Bienendichte im Ackerbohnenfeld. Generell wurden höhere Ackerbohnenenerträge mit höheren Bienendichten im Feld verzeichnet. Der positive Einfluss der Bienendichte auf den Ertrag war allerdings stärker, wenn ein hoher Anteil an Raps, naturnahen Habitaten und Ackerbohnen in der Landschaft vorhanden war (im Gegensatz zu einem geringen Anteil der entsprechenden Landschaftsparameter) (Abb. 17d-f).

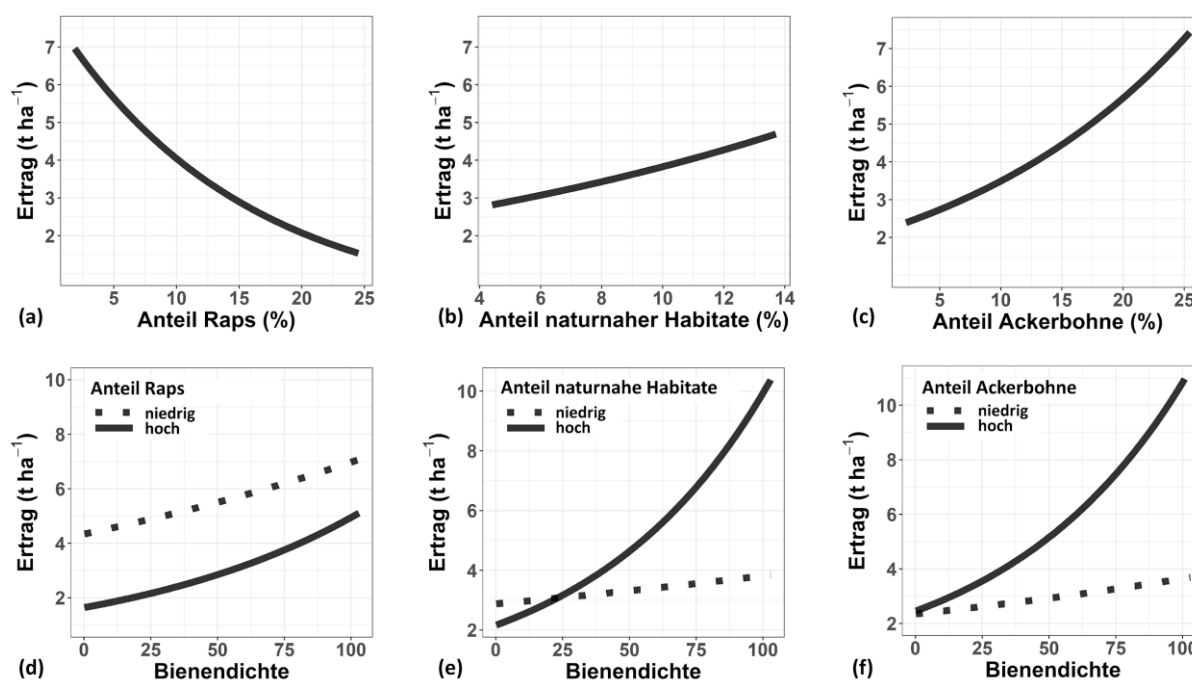


Abb. 17. Einfluss (a) des Rapsanteils, (b) des Anteils naturnaher Habitate und (c) des Ackerbohnenanteils in der umgebenden Landschaft auf den Ackerbohnenenertrag. Einfluss der Bienendichte im Untersuchungsackerbohnenfeld auf den Bohnenertrag für Landschaften mit einem niedrigen und einem hohen Anteil von (d) Raps (entspricht einem Anteil von 5.2 % und 18.7 % Raps), (e) naturnahen Habitaten (entspricht einem Anteil von 6.1 % und 11.3 % naturnaher Habitate) und (f) Ackerbohnen (entspricht einem Anteil von 5.9 % und 12.8 % Ackerbohnen).

Darüber hinaus hatte die umgebende Landschaft einen Einfluss auf den Anteil der Bohnensamen, die mit dem Ackerbohnenkäfer befallen waren. Die niedrigsten Befallsraten wurden in Landschaften mit einem hohen Anteil an naturnahen Habitaten verzeichnet und die höchsten in Landschaften mit einem niedrigen Anteil naturnaher Habitate, sowie einem mittleren Anteil von circa 10 % (Abb. 18a). Außerdem wurde ein negativer Zusammenhang zwischen der Hülsenanzahl pro Pflanze und dem Anteil befallener Samen festgestellt (Abb. 18b). Ein marginal signifikant höherer Anteil der Samen von Ackerbohnenpflanzen am Feldrand wurde befallen verglichen mit Pflanzen in der Feldmitte. Der Anteil der Ackerbohnen in der Landschaft hatte einen negativen Effekt

auf den Anteil befallener Samen, wobei dieser Zusammenhang stärker am Feldrand zu beobachten war (Abb. 18c).

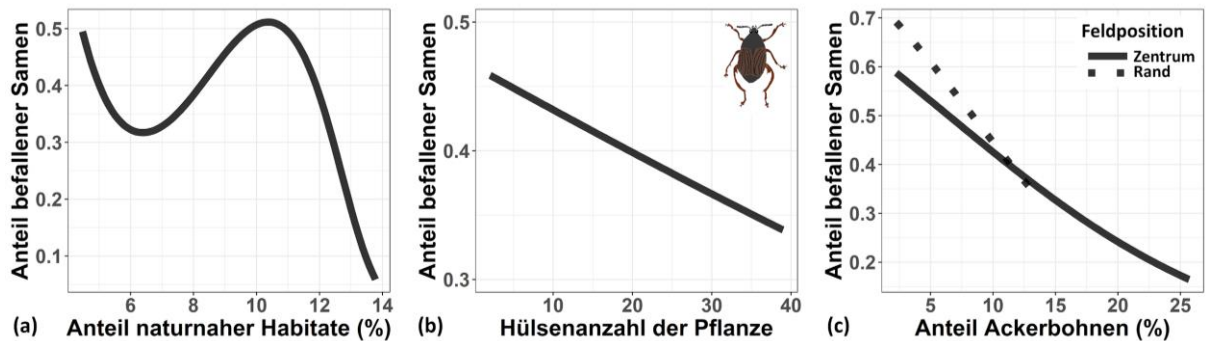


Abb. 18. Einfluss des (a) Anteils naturnaher Habitats in der umgebenden Landschaft und der (b) Hülsenanzahl pro Pflanze auf den Anteil der Samen, die mit dem Ackerbohnenkäfer befallen waren. (c) Einfluss des Anteils an Ackerbohnen in der umgebenden Landschaft auf den Anteil an befallenen Samen für Pflanzen am Rand und im Zentrum des Feldes.

4.1.4 Bestäubungsleistung und Erträge von Raps (Bestäubungsexperiment)

Die Ergebnisse der Transektbegehungen in den Rapsfeldern des Bestäubungsexperiments haben gezeigt, dass mit zunehmender Rapsfläche in der Landschaft weniger Wildbienen im Untersuchungsrapfeld zu beobachten waren (Abb. 19a). Im Gegensatz dazu stieg die Bienendichte im Untersuchungsrapfeld mit steigender Fläche von in den vorherigen Jahren angebauten Massentrachten (Abb. 19b). Honigbienendichten reagierten gegensätzlich zu den Wildbienendichten auf den Anbau von blühenden Massentrachten.

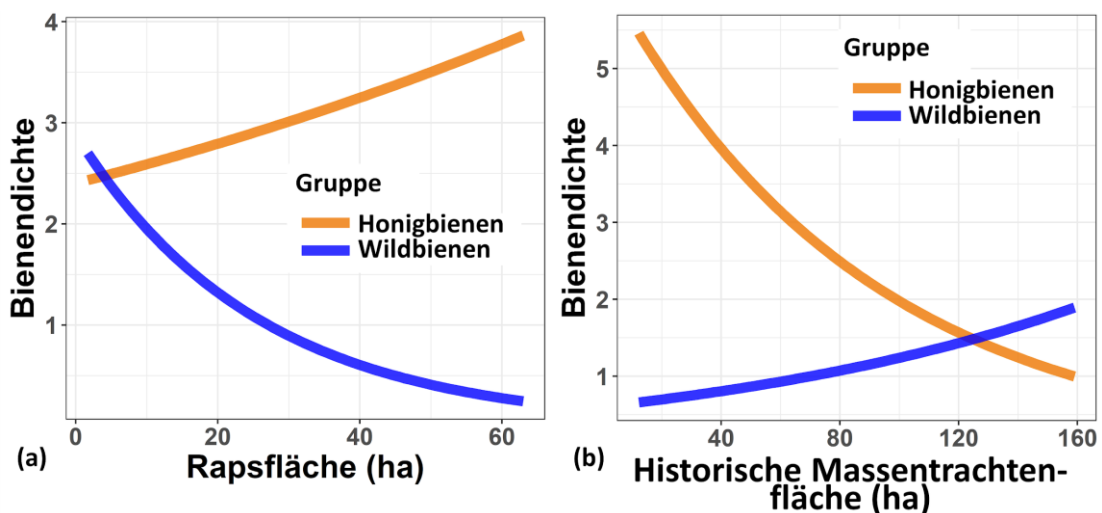


Abb.19. Einfluss der (a) aktuellen Rapsfläche und der (b) historischen Massentrachtenfläche (innerhalb eines 1000 m Radius um das Untersuchungsrapfeld) auf die Honigbienen- und Wildbienendichten im Untersuchungsrapfeld.

Das Bestäubungsexperiment zeigte, dass ein Ausschluss von Bestäubern zu einer geringeren Samenanzahl pro Schote, aber zu einer erhöhten Tausendkornmasse bei Raps führt (Abb. 20a&b). Die errechneten Erträge unterschieden sich nicht signifikant zwischen eingetüteten und offen bestäubten Rapspflanzen. Rapspflanzen wiesen eine höhere Samenanzahl pro Schote und höhere Erträge auf, wenn sie mehr Schoten ausbildeten. Dieser Zusammenhang wurde durch den Bestäuber-ausschluss moduliert. Bei Pflanzen mit einer geringen Anzahl von Schoten, hatten die offen bestäubten Pflanzen mehr Samen / Schote, sowie höhere Erträge, als die eingetüteten Pflanzen (Abb. 20c&d). Außerdem fanden wir ein erhöhtes Samengewicht pro Rapspflanze in Landschaften, in denen in den vergangenen drei Jahren große Flächen von Massentrachten angebaut waren (Abb. 20e).

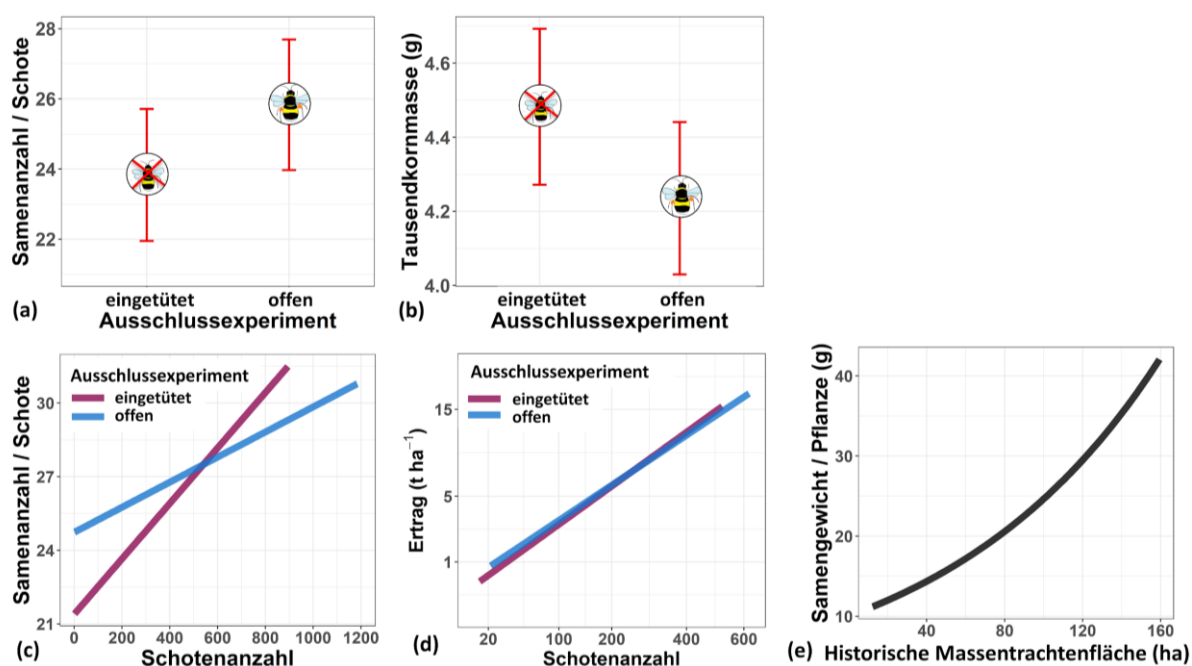


Abb. 20. Einfluss des Bestäuber-ausschluss-experiments auf die (a) Samenanzahl / Schote und die (b) Tausendkornmasse von Raps. Einfluss der Schotenanzahl auf die (c) Samenanzahl und den (d) Ertrag bei eingetüteten und offenen Rapspflanzen. (e) Einfluss der historischen Massentrachtenfläche auf das Samengewicht / Pflanze bei offen bestäubtem Raps.

4.1.5 Abundanz und Artenreichtum von hohlraumnistenden Bienen und Wespen

Die Masterarbeit über den Einfluss der Landschaftsstruktur und der benachbarten Kultur auf Nisthilfenbewohner hat erste vorläufige Ergebnisse erbracht. Die 81 ausgewerteten Nisthilfen enthielten im Mittel 8.8 Bienennester und 7.1 Wespenester, sowie 3 verschiedene Arten. Es wurden insgesamt 665 Bienennester (davon 72.8 % *Osmia bicornis*) und 539 Wespenester ausgewertet. Insgesamt enthielten die Nester 3015 Brutzellen von Bienen (Bienenabundanz) und 1959 Brutzellen von Wespen (Wespenabundanz). 74 % aller Bienenbrutzellen waren von *Osmia bicornis*. 10.8 % aller Brutzellen waren aufgrund von Parasitierung abgestorben und 19 % aller Brutzellen aufgrund anderer Einflüsse. Die höchsten Bienen- (ohne die häufigste Art *Osmia bicornis*) und Wespenabundanzen wurden in den Nisthilfen gefunden, die an eine nicht blühende Kultur mit benachbartem halbnatürlichem Habitat grenzten (im Vergleich zu einer nicht

blühenden Kultur ohne halbnatürliches Habitat und einer blühenden Massentracht/Raps). Der Landschaftsanteil an Ackerbohnen, an Ackerland und die Randlängendichte beeinflussten die Abundanz der Nisthilfenbewohner, allerdings war die Richtung des Effekts abhängig von der angrenzenden Kultur/Struktur. Ein hoher Anteil an Ackerbohnen in der Landschaft hatte einen negativen Einfluss auf die Bienen- und Wespenabundanzen in den Nisthilfen, die an eine blühende Kultur grenzten (sowie eine nicht blühende Kultur mit halbnatürlichem Habitat für Wespen) (Abb. 21a&c). Allerdings wurde ein positiver Effekt des Ackerbohnenanteils auf die Bienenabundanz in Nisthilfen angrenzend an nicht blühende Kulturen (mit und ohne halbnatürliches Habitat) verzeichnet, sowie ein positiver Einfluss auf die Wespenabundanz in Nisthilfen angrenzend an eine nicht blühende Kultur (ohne halbnatürliches Habitat). Die Randlängendichte hatte einen positiven Einfluss auf die Bienenabundanz in den Nisthilfen (unabhängig von der angrenzenden Kultur) (Abb. 21b) und einen positiven Einfluss auf die Wespenabundanz in den Nisthilfen, die an eine blühende Kultur angrenzten (Abb. 21d). Außerdem hatte ein steigender Anteil an Ackerland in der Untersuchungslandschaft einen positiven Effekt auf die Bienenabundanz in den Nisthilfen an einer blühenden Kultur und einen negativen Einfluss auf die Bienenabundanz in den Nisthilfen an einer nicht blühenden Kultur.

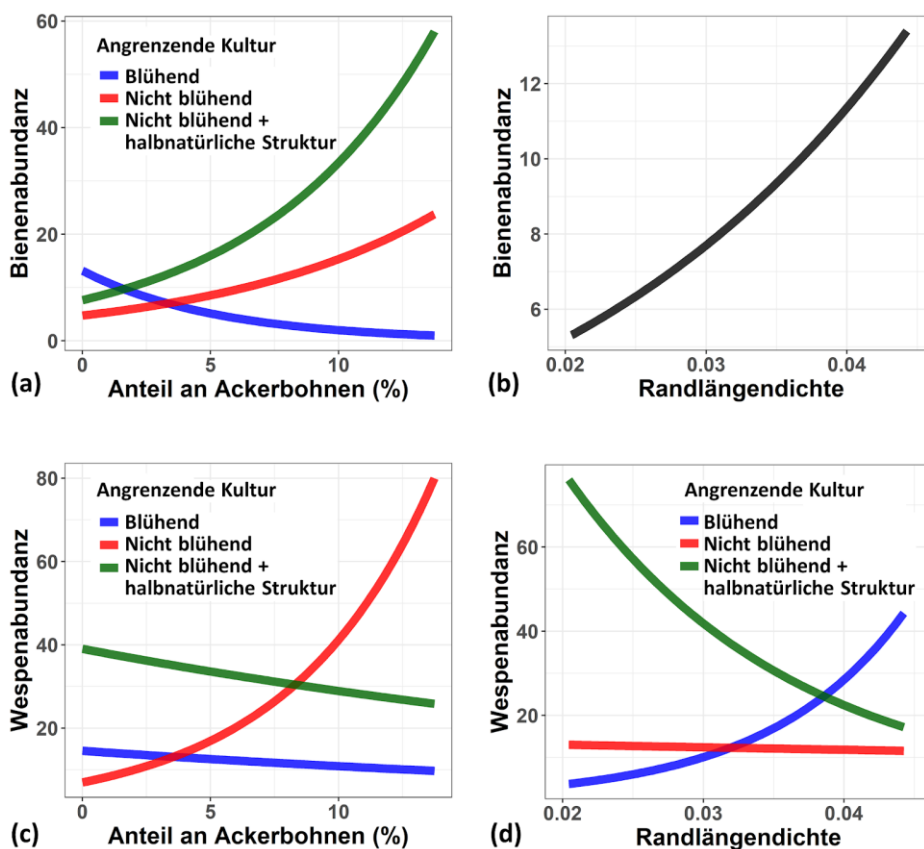


Abb. 21. Einfluss des (a) Ackerbohnenanteils in der Landschaft und der (b) Randlängendichte auf die Abundanz von Bienen in Nisthilfen (die an eine blühende, nicht blühende oder nicht blühende Kultur mit naturnahem Habitat angrenzen für a). Einfluss des (c) Ackerbohnenanteils in der Landschaft und der (d) Randlängendichte auf die Abundanz von Wespen in Nisthilfen, die an eine blühende, nicht blühende oder nicht blühende Kultur mit naturnahem Habitat angrenzen.

Die endgültige Auswertung aller aufgestellter Nisthilfen ist noch in Bearbeitung. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung waren in etwa 60 % der 440 Nisthilfen ausgewertet. Diese umfassen eine Gesamtzahl von über 4000 einzelnen Bienen- und Wespennestern, welche insgesamt rund 15600 einzelne Brutzellen enthielten. Ungefähr 13 % aller Brutzellen waren parasitiert und circa 17 % waren durch andere Einflüsse als Parasiten abgestorben.

4.2 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Raubarthropoden und biologische Schädlingskontrolle

4.2.1 Bedeutung der Ackerbohne für epigäische Raubarthropoden in der Fruchtfolge und im Landschaftsmaßstab

Biomasse

Von zwei Dritteln der Fallen (insg. 480) waren 419 auswertbar, die übrigen sind durch Wildschweine und andere Säugetiere oder Unwetter zerstört worden. In den Landschaften mit und ohne Ackerbohnenanbau wurden insgesamt 10,39 kg epigäische Raubarthropoden erhoben, wobei die totale Biomasse pro Falle zwischen 0,48 g und 188,1 g variierte. Die mittlere Biomasse pro Falle unterschied sich nicht auffällig zwischen Landschaften mit (27,92 g; Standardfehler: 2,39) und Landschaften ohne Ackerbohnenanbau (21,52 g; Standardfehler=1,37). Der Vergleich der Kulturgruppen zeigte, dass sie am höchsten in Ackerbohne (31,07 g; Standardfehler=4,13), gefolgt von Mais, Kartoffel und Zuckerrübe (28,82 g; Standardfehler=4,79), Wintergetreide (23,25 g; Standardfehler=1,76), Sommergetreide (22,87 g; Standardfehler=3,28) und am niedrigsten, etwa eineinhalbmals so gering wie in Ackerbohne, in Winterraps (18,5 g; Standardfehler=1,95) war.

Aktivitätsdichte

Von einem Drittel der Fallen (insg. 240) konnten 238 ausgewertet werden. In Landschaften mit und ohne Ackerbohnenanbau wurde eine Aktivitätsdichte von 79182 epigäischer Arthropoden erhoben. Den größten Anteil davon stellten Laufkäfer (37025 Individuen), Kurzflügelkäfer (11999), und Spinnen (18068) dar. Weiterhin enthielten die Fallen 632 Weberknechte, 2811 Tausendfüßer, 1158 Hundertfüßer, 615 Ameisen, 317 Schnellkäfer, 5678 weitere Käfer, 709 Asseln, 33 Wanzen, 137 Zikaden.

Die Aktivitätsdichte der 12 Taxa und die der Laufkäfer waren sowohl von den Landschaften mit/ohne Ackerbohne als auch von den Kulturgruppen und der Gesamtkantenlänge der Landschaften unbeeinflusst (Abb. 22).

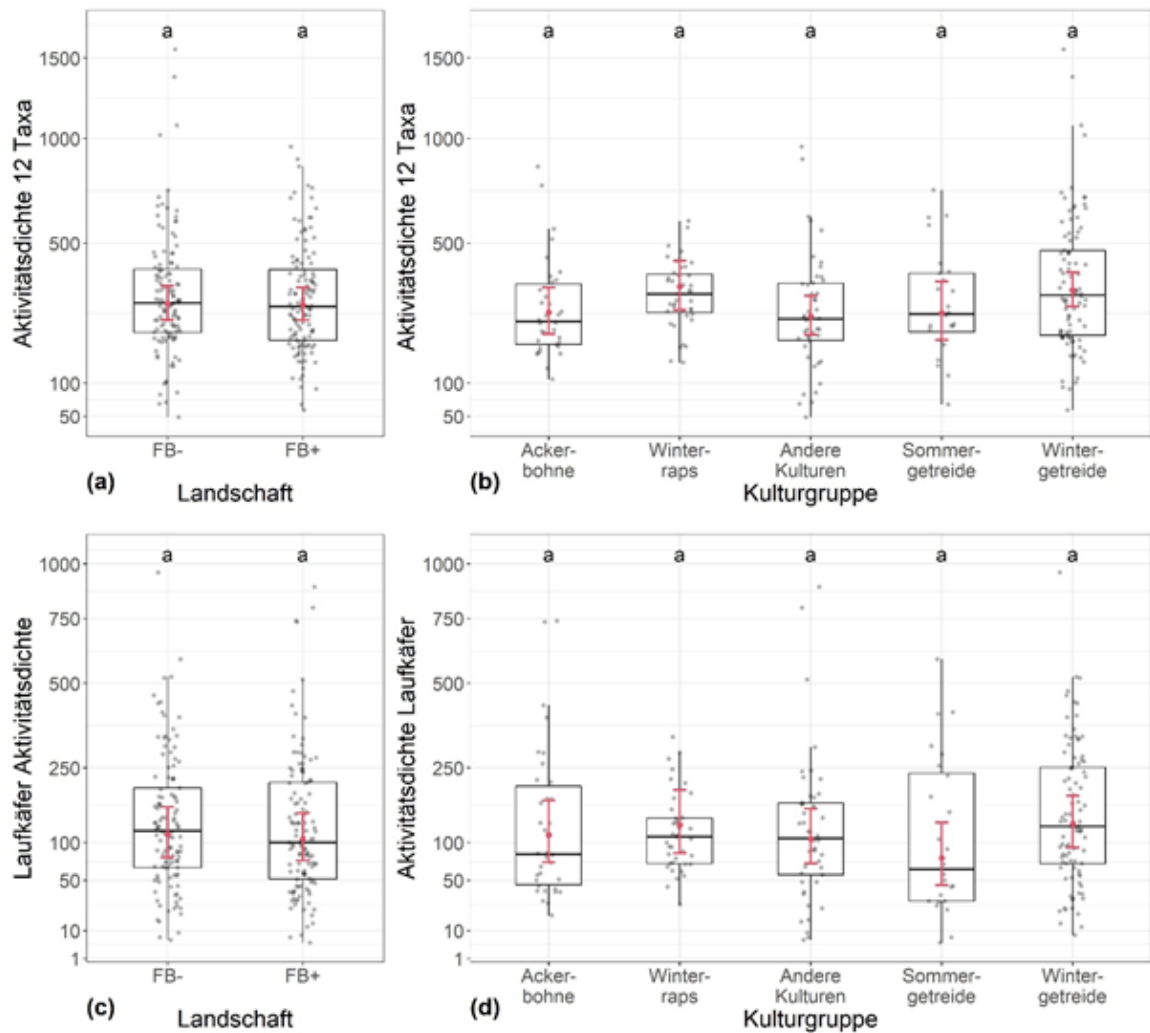


Abb. 22. Einfluss der Landschaften ohne (FB-) und mit (FB+) Ackerbohnenanbau sowie der Kulturgruppen auf die Aktivitätsdichte von 12 Taxa epigäischer Arthropoden insgesamt (Laufkäfer, Kurzflügelkäfer, Spinnen, Weberknechte, Tausendfüßer, Hundertfüßer, Ameisen, Schnellkäfer, weitere Käfer, Asseln, Wanzen, Zikaden) (a und b) sowie auf die der Laufkäfer (c und d) Gezeigt sind Boxplots mit Median, oberem und unteren 25 %Perzentil in schwarz, die Datenpunkte in grau sowie Mittelwert und 95 % Konfidenzintervalle in rot. Gruppen, die mit demselben Buchstaben markiert sind, unterscheiden sich nicht signifikant.

Die Aktivitätsdichte der Kurzflügelkäfer unterschied sich zwar nicht zwischen FB+ und FB- Landschaften, dafür aber zwischen Kulturgruppen. In Ackerbohne und der Gruppe Andere Kulturen (Mais, Zuckerrübe, Kartoffel) war sie mit durchschnittlich 19 (Ackerbohne) und 20 (Andere Kulturen) Individuen pro Falle zweimal geringer als in Winterweizen (45 Individuen) und mehr als viermal geringer als in Winterraps (86 Individuen) (Abb. 23).

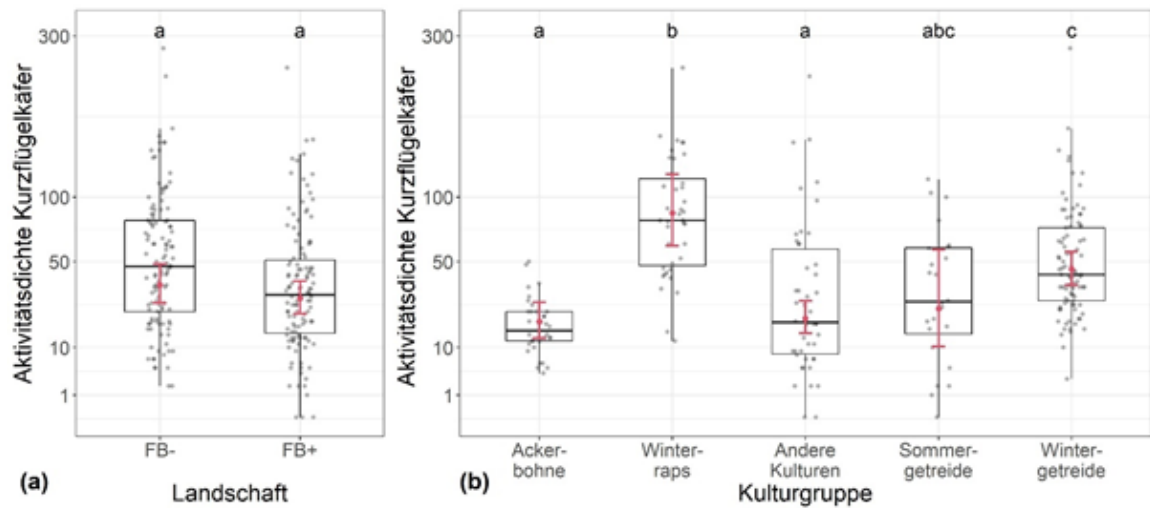


Abb. 23. Einfluss der Landschaften ohne (FB-) und mit (FB+) Ackerbohnenanbau (a) sowie der Kulturgruppen (b) auf die Aktivitätsdichte von Kurzflügelkäfern. Gezeigt sind Boxplots mit Median, oberem und unteren 25%Perzentil in schwarz, die Datenpunkte in grau sowie Mittelwert und 95% Konfidenzintervalle in rot. Gruppen, die mit demselben Buchstaben markiert sind, unterscheiden sich nicht signifikant.

Die Aktivitätsdichte der Spinnen dagegen war in FB+ Landschaften signifikant höher als in FB- Landschaften (durchschnittlich 72 im Vergleich zu 53 Individuen pro Falle). Der Vergleich der Kulturen zeigte aber, dass die Aktivitätsdichte in der Ackerbohne sich nicht von der in den übrigen Kulturgruppen unterschied, sondern dass sie lediglich in der Gruppe Andere Kulturen geringer war als in Winterweizen (41 im Vergleich zu 72 Individuen pro Falle) (Abb. 24).

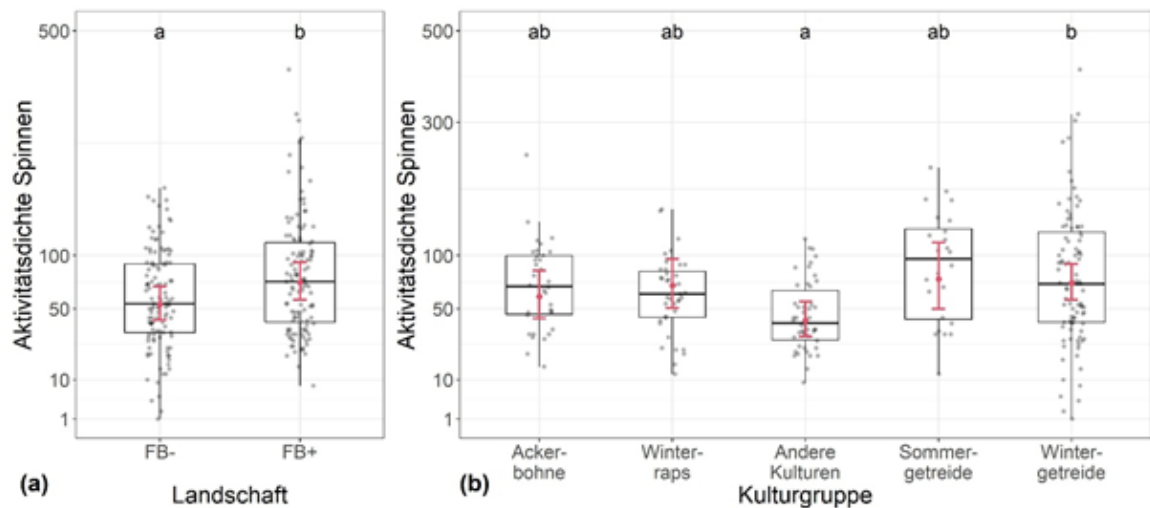


Abb. 24. Einfluss der Landschaften ohne (FB-) und mit (FB+) Ackerbohnenanbau (a) sowie der Kulturgruppen (b) auf die Aktivitätsdichte von Spinnen. Gezeigt sind Boxplots mit Median, oberem und unteren 25 %Perzentil in schwarz, die Datenpunkte in grau sowie Mittelwert und 95 % Konfidenzintervalle in rot. Gruppen, die mit demselben Buchstaben markiert sind, unterscheiden sich nicht signifikant.

Laufkäfer

Es konnten insgesamt 76 Laufkäferarten nachgewiesen werden. Eine Art, *Pterostichus melanarius*, machte 54 % der Aktivitätsdichte der Laufkäfer aus, gefolgt von *Anchomenus dorsalis* (9,87 %), *Trechus quadristriatus* (5,48 %), *Bembidion lampros* (5,05 %). Diese vier sind typische Bewohner der Äcker und leben räuberisch. Alle übrigen Arten machten jeweils weniger als 5 % der Aktivitätsdichte der Laufkäfer aus. Die Analyse von Effekten der Ackerbohne auf die Artenzusammensetzung war zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch in Arbeit. Es zeigte sich bereits, dass die Aktivitätsdichte der vier häufigsten Arten sich nicht auffällig zwischen Landschaften mit Ackerbohnenanbau und Landschaften ohne Ackerbohnenanbau unterschied. Beim Vergleich der Kulturen fiel auf, dass die Aktivitätsdichte dieser vier Arten insgesamt am höchsten in Winterweizen war, gefolgt von der Gruppe andere Kulturen (Mais, Zuckerrübe, Kartoffel) und Ackerbohne und am niedrigsten in Winterraps und Sommergetreide (Abb. 25).

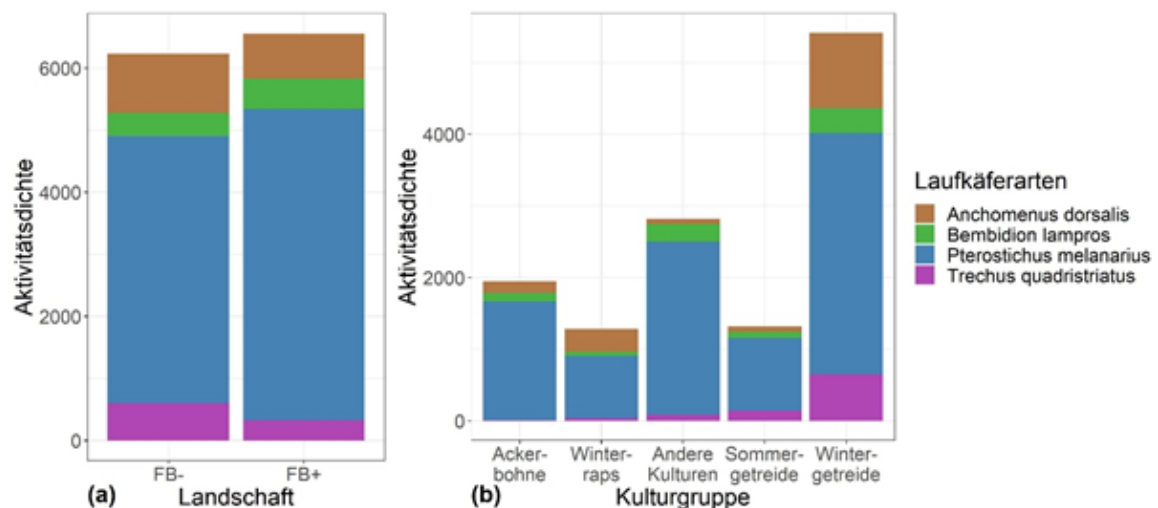


Abb. 25. Dargestellt ist die Aktivitätsdichte der vier Laufkäferarten, die >5 % der Aktivitätsdichte der Laufkäfer ausmachten, in Landschaften ohne (FB-) und mit (FB+) Ackerbohnenanbau (a) sowie in fünf verschiedenen Kulturgruppen (Ackerbohne, Winterraps, andere Kulturen (Mais, Kartoffel, Zuckerrübe), Sommergetreide, Wintergetreide) (b).

4.2.2 Nachbarschaftseffekte der Ackerbohne: Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen sowie Schadschwellenermittlung

Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen

Insgesamt wurde während der Bonituren ein Vielfaches an Schädlingen (9566 Individuen) als an Nützlingen (344 Individuen) gezählt. 97 % der Schädlinge waren Blattläuse (*Sitobion avenae* 83 %, *Metopolophium dirhodum* 14 %, *Rhopalosiphum padi* 3 %), 3 % Weizenhähnchen. Von den Nützlingen waren 72 % Insekten, die als Larve räuberisch leben und als Imagines vom Nektar- und Pollenangebot abhängig sind (Schwebfliegen und Florfliegen) und 28 % Gliedertiere, die in jedem Lebensstadium räuberisch leben (Spinnen, Marienkäfer). Die Auswertung der Bonituren erbrachte nur wenige signifikante Haupteffekte. Die Dichte aller je Transekt nachgewiesenen Prädatoren war signifikant höher in Winterweizen, der an Ackerbohne grenzte (Abb. 26). Dieser

Nachbarschaftseffekt war abhängig von der Begehung und bestand in Begehung 1 und 4 (Abb. 26). Die Prädatorendichte nahm zum Feldinneren hin ab. Die Dichte aller Schädlinge war weder vom Nachbarschlag noch von der Position im Feld beeinflusst. Deshalb spiegelte sich der Effekt auf die Nützlinge auch nicht im Räuber-Beute Verhältnis wieder. Die Dichte der Weizenhähnchen wies tendenziell eine höhere Dichte angrenzend an Ackerbohne auf. Das hatte aber keinen Einfluss auf den durch die Weizenhähnchen erfolgten Fraßschaden auf den Fahnenblättern. Die Parasitierungsrate war ebenfalls nicht vom Nachbarschlag beeinflusst. Auch das Tausendkorngewicht (Weizenertragsschätzung) zeigte keine Unterschiede zwischen Weizen der an Ackerbohne und Weizen der an Winterweizen angrenzte. Die Breite und Blütendeckung der Strukturen zwischen den benachbarten Schlägen hatten keinen Einfluss auf die Dichten der Nützlinge. Die in den bonitierten Schlägen durchgeführten Insektizidbehandlungen hatten einen maskierenden Effekt auf den Nachbarschaftseffekt der Ackerbohne (d. h. die Effekte waren schwächer, wenn die Behandlung mit Insektiziden in den statistischen Modellen berücksichtigt wurden), veränderten den gezeigten Haupteffekt aber nicht.

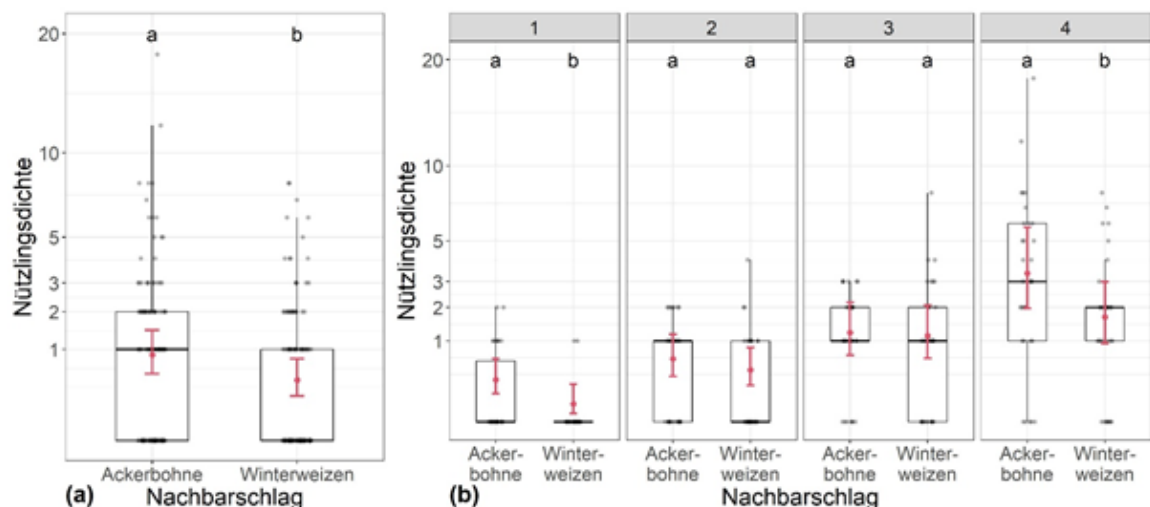


Abb. 26. Effekt des Nachbarschlags auf die Dichte der Nützlinge pro Transekt insgesamt (a) und pro Begehung 1-4 (b). Die Begehungen 1-4 waren angepasst an die Entwicklungsstufen von Winterweizen: 1: BBCH 39-59, 2: BBCH 60-69, 3: BBCH 71-77, 4: BBCH 83 -92. Gezeigt sind Boxplots mit Median, oberem und unterem 25% Perzentil in schwarz, die Datenpunkte in grau sowie Mittelwert und 95% Konfidenzintervalle in rot. Gruppen, die mit demselben Buchstaben markiert sind, unterscheiden sich nicht signifikant.

In den Delta-Fallen wurden insgesamt 9387 Schwebfliegen, 1563 Tanzfliegen (davon 1087 Individuen der Art *Empis livida*), 603 Langbeinfliegen, 422 Buckeltanzfliegen der Gattung *Platypalpus*, 213 Schnabelhafte und 70 Florfliegen identifiziert. Die Auswertung der Delta-Fallen zeigte nur wenig signifikante Effekte. Die Dichten der beiden letztgenannten, Schnabelhafte und Florfliegen, waren zu gering für eine statistische Analyse. Auf keine der übrigen Gruppen wurde ein Nachbarschaftseffekt gemessen (Abb. 27). Die Schwebfliegendichte nahm von der ersten bis zur letzten Fangperiode zu und war im Feldinneren höher als am Rand. Die Dichte der Langbeinfliegen hingegen nahm von der ersten bis zur letzten Fangperiode ab und hing nicht von der Position im Feld ab.

Die Dichten der Tanzfliegen und der Buckeltanzfliegen nahmen ebenfalls von der ersten bis zur letzten Fangperiode ab und waren im Feldinneren niedriger als am Rand.

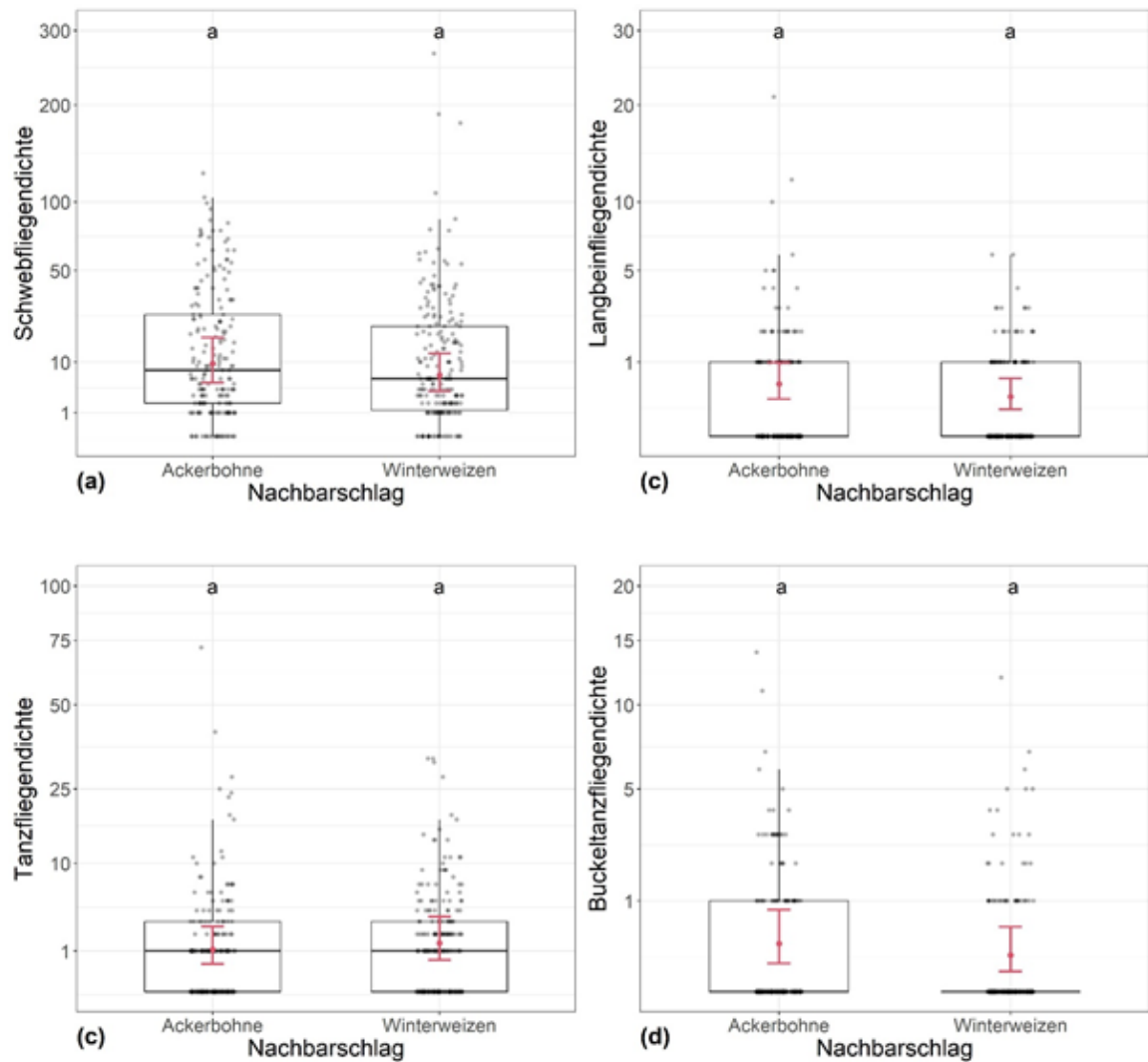


Abb. 27. Effekt des Nachbarschlags (Ackerbohne oder Winterweizen) auf die Dichte von vier Fliegenfamilien in Winterweizen (a) Schwebfliegen, b) Langbeinfliegen, c) Tanzfliegen, d) Buckeltanzfliegen). Gezeigt sind Boxplots mit Median, oberem und unterem 25 %Perzentil in schwarz, die Datenpunkte in grau sowie Mittelwert und 95 % Konfidenzintervalle in rot. Gruppen, die mit demselben Buchstaben markiert sind, unterscheiden sich nicht signifikant.

Vergleicht man die mittleren Dichten der vier häufigsten Gruppen zwischen den Nachbarschlägen Ackerbohne und Winterweizen, also den Schlägen, von denen aus die Nachbarschaftseffekte gemessen wurden, so zeigen sich für die Schwebfliegen (Ackerbohne: 19; Standardfehler=2,95, Winterweizen: 17; 3,18) keine auffälligen Unterschiede. Die Tanzfliegendichte war in Ackerbohne (2; 0,47) nur halb so hoch wie in Winterweizen (4; 0,97), während die mittlere Dichte pro Falle der Buckeltanzfliegen (Ackerbohne: 2; 0,47; Winterweizen: 1; 0,17) und Langbeinfliegen (Ackerbohne: 5, Standardfehler: 1,35; Winterweizen: 1; 0,11) doppelt bzw. fünfmal so hoch in

Ackerbohnen wie in Winterweizen war; beim Vergleich muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Dichten im Mittel sehr niedrig waren.

Schadschwelenermittlung

Ökonomische Schadschwellen wurden in keinem der bonitierten Schläge zu keiner Begehung weder in Bezug auf Weizenhähnchen noch in Bezug auf Saugschäden durch Blattläuse überschritten.

4.2.3 Vorfruchteffekte der Ackerbohne auf epigäische Raubarthropoden, Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen sowie Schadschwelenermittlung

Vorfruchteffekte auf epigäische Raubarthropoden

Insgesamt wurden in den Boden- und Lichtfallen der Photoelektoren 4591 epigäische Arthropoden erfasst. Die mit Abstand am stärksten vertretene Gruppe (41,4 %) waren Kurzflügelkäfer, gefolgt von Käfern außer Laufkäfern und Schnellkäfern (15,5 %), Tausendfüßern (13,42 %) Spinnen (11,33 %), parasitoiden Hymenopteren (9,95 %) und Laufkäfern (7,8 %). Alle übrigen Taxa (Asseln, Weberknechte, Zikaden, Schnellkäfer, Ameisen, Wanzen, Hundertfüßer) stellten zusammen nur 0,66 % des Fangs dar. Die statistische Analyse war zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht komplett abgeschlossen. Es konnte bereits deskriptiv dargestellt werden, dass die Aktivitätsdichte der häufigsten Taxa sich nicht auffällig zwischen Bohnen- und Stoppelweizen unterschied. Eine Ausnahme waren die Zweiflügler, die in Bohnenweizen (Mittelwert: 8,86; Standardfehler=3,00) eine mehr als doppelt so hohe Aktivitätsdichte hatten wie in Stoppelweizen (3,46; 1,13) und diese vor allem während der letzten Fangperiode aus dem Boden kamen. Die Aktivitätsdichten der häufigsten sechs Taxa vervielfachten sich von der ersten und zweiten zur dritten Fangperiode um das Zwei- (Spinnen) bis Fünffache (Tausendfüßer) (Abb. 28).

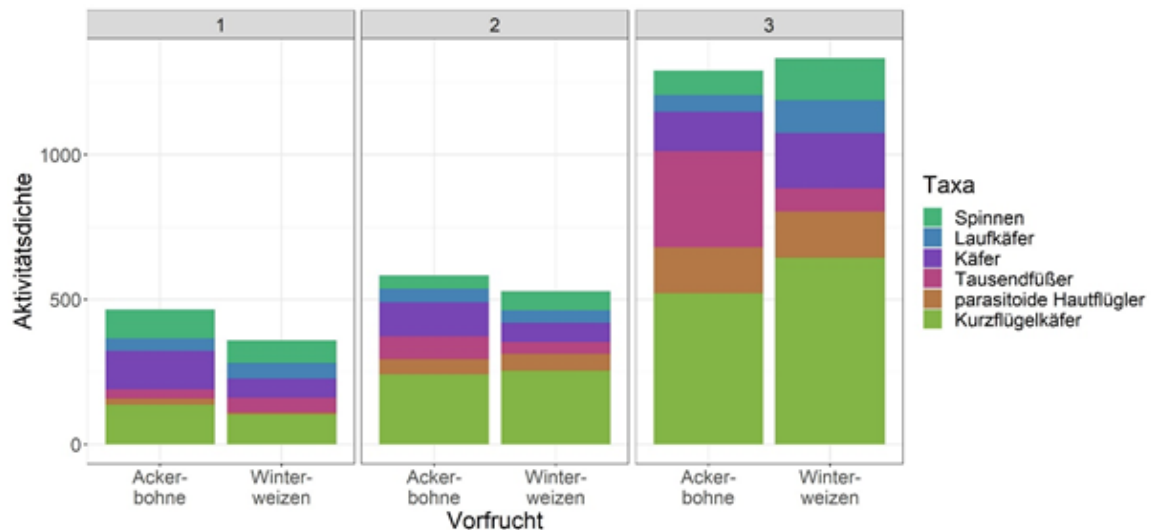


Abb. 28. Dargestellt ist die Aktivitätsdichte der sechs häufigsten Taxa epigäischer Arthropoden (Spinnen, Laufkäfer, andere Käfer, Tausendfüßer, parasitoide Hautflügler, Kurzflügelkäfer), die mit Photoektoren in Winterweizen erhoben wurden. Diese Taxa machten 99,44 % der Falleninhalte aus. Vorfrucht des beprobten Winterweizen war entweder Ackerbohne oder Winterweizen. Beprobte wurde in drei Fangperioden: 1: 9.-24. April., 2: 23.April.-8.Mai, 3: 7.-22.Mai 2018.

Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen

Bei den Bonituren wurden 3392 Blattläuse (84,5 % *S. avenae*, 14,56 % *M. dirhodum*, 0,99 % *R. padi*) und 453 Weizenhähnchen erfasst. Weitere 318 Blattläuse waren mumifiziert. Wie erwartet wurden weitaus weniger Nützlinge erfasst, insgesamt 134, davon 63 Schwebfliegen, 36 Florfliegen, 31 Spinnen und 4 Marienkäfer. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung war die statistische Analyse noch in Arbeit. Es zeigte sich bereits, dass, wie erwartet, die Dichten von Schädlingen und Nützlingen von der ersten zur letzten Begehung zunahm (Abb. 29). Die durchschnittlichen Dichten der Schädlinge und Nützlinge pro Transekt unterschieden sich nicht auffällig zwischen Bohnen- und Winterweizen (Schädlinge im Bohnenweizen: 12,59; Standardfehler=1,72; Stoppelweizen: 14,12; 1,89; Nützlinge im Bohnenweizen: 0,49; 0,08; Stoppelweizen 0,57; 0,09).

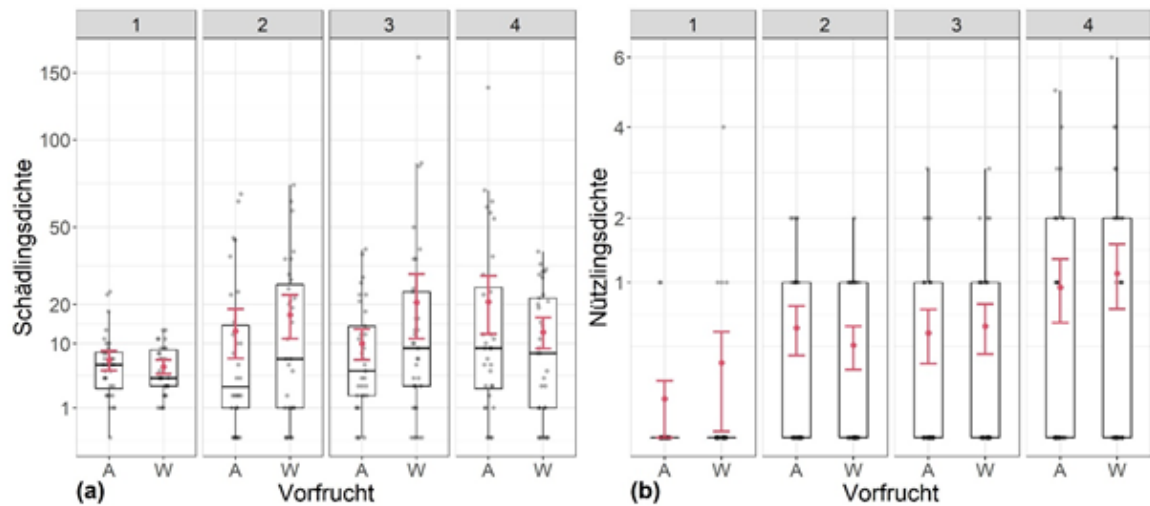


Abb. 29. Dichte der Schädlinge (a) und Nützlinge (b) pro Transekt in Winterweizen an vier Begehungen. Vorfrucht war entweder Ackerbohne (A) oder Winterweizen (W). Die Begehungen 1-4 waren angepasst an die Entwicklungsstufen von Winterweizen: 1: BBCH 39-59, 2: BBCH 60-69, 3: BBCH 71-77, 4: BBCH 83-92. Gezeigt sind Boxplots mit Median, oberem und unterem 25 % Perzentil in schwarz, die Datenpunkte in grau sowie Mittelwert und 95 % Konfidenzintervalle in rot.

Schadsschwellenermittlung

Ökonomische Schadsschwellen wurden im Rahmen der Untersuchungen der Vorfruchteffekte der Ackerbohne in keinem der bonitierten Schläge zu keiner Begehung weder in Bezug auf Weizenhähnchen noch in Bezug auf Saugschäden durch Blattläuse überschritten.

4.3 Agrarökonomische und pflanzenbauliche Bewertung des Leguminosenanbaus

4.3.1 Wirtschaftlichkeit

Auf Basis der Daten aus den Erntejahren 2017 und 2018 wird im Folgenden ein Überblick über die produktionsspezifischen Leistungen und Kosten der bewerteten Ackerbohnen und ihrer Referenzkulturen gegeben. Zunächst werden hierbei die Erträge, Preise und Vorfruchtwerte (nur Ackerbohnen) der jeweiligen Kulturen beider Erntejahre gegenübergestellt. Im Anschluss daran wird auf die Unterschiede bezüglich der Leistungen, Produktionskosten und Direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistungen (DAL) zwischen den Ackerbohnen und ihren Referenzkulturen näher eingegangen.

Erträge 2017 und 2018

Im Erntejahr 2017 erzielten die konventionell wirtschaftenden Praxisbetriebe für Ackerbohnen mit durchschnittlich 52,56 dt/ha gute Erträge und lagen damit über dem Bundesdurchschnitt von 40,70 dt/ha (siehe Tab. 3). Das hohe Ertragspotenzial dieser Körnerleguminosen wurde ebenfalls in den maximal erzielten Erträgen von 68,00 dt/ha

deutlich. Auch im Erntejahr 2018 konnten mit maximal 63,00 dt/ha hohe Erträge erwirtschaftet werden. Bedingt durch die Trockenheit im Jahr 2018 fiel die Ernte der Ackerbohnen im Mittel allerdings deutlich geringer aus als im Vorjahr. Mit Erträgen von durchschnittlich 25,94 dt/ha lagen diese unter dem Bundesdurchschnitt von 29,10 dt/ha.

Die Erträge der Referenzkulturen fielen im Erntejahr 2018 ebenfalls im Mittel geringer aus als im Vorjahr. Im Vergleich zu den Ackerbohnen waren die Ertragseinbußen beim Stoppelweizen, Blattfruchtweizen und Raps hingegen niedriger.

Tabelle 3. Durchschnittliche Erträge der Ackerbohnen und ihrer Referenzkulturen in den Erntejahren 2017 und 2018.

Kultur		Ackerbohne		Stoppelweizen		Blattfruchtweizen		Raps	
Erntejahr		2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Ø Ertrag (dt/ha)	Min.	30,00	12,84	70,00	39,15	53,00	42,00	31,00	20,00
	Ø	52,56	25,94	87,85	73,98	90,05	72,54	37,82	34,34
	Max.	68,00	63,00	122,00	90,00	122,00	105,00	45,90	46,00
Ø Differenz (%)		- 51 %		- 16 %		- 19 %		- 9 %	
Bundesdurchschnitt (dt/ha)*		40,70	29,10	76,90	67,70	76,90	67,70	32,70	29,90
Ø Differenz (%)		- 29 %		- 12 %		- 12 %		- 9 %	

*Statistisches Bundesamt 2018

Vorfruchtwert

Nahezu alle befragten Betriebsleiter der Praxisbetriebe bestätigten die positiven Effekte von Ackerbohnen auf die nachfolgende Kultur. Abgeleitet aus den Angaben der Befragten wurde anhand der Faktoren Mehrerlös der Folgefrucht, Einsparung Stickstoffdünger zur Folgefrucht sowie Bodenbearbeitungsintensität und arbeitswirtschaftliche Aspekte, zusammengefasst als Einsparung Bodenbearbeitung, für das Jahr 2017 ein Vorfruchtwert von 167 €/ha berechnet (siehe Tab. 4). In der Erhebung 2018 bewerteten die befragten Betriebsleiter die pflanzenbaulichen Vorteile der Ackerbohnen im Mittel noch besser als im Vorjahr, wodurch der kalkulierte Vorfruchtwert bei 240 €/ha lag. Der Mehrerlös der Folgekultur fiel bei der Berechnung des Vorfruchtwertes am stärksten ins Gewicht. Durch höhere Erträge bei der nachfolgenden Kultur (v. a. Getreide) stieg die monetäre Leistung der Ackerbohnen im Mittel der Erhebungsjahre 2017/2018 um 156 €/ha an.

Tabelle 4. Durchschnittlicher Vorfruchtwert der Ackerbohnen; Ergebnisse der Erhebung 2017 und 2018.

Praxisbetriebe	2017	2018
Ø Mehrerlös der Folgefrucht (€/ha)	121	191
Ø Einsparung N-Dünger (kg/ha)	30	39
Ø Einsparung N-Dünger (€/ha)	20	28

Ø Einsparung Bodenbearbeitung (€/ha)	27	32
Ø Vorfruchtwert (€/ha)	167	240
2-jähriges Mittel Vorfruchtwert (€/ha)	204	

Preis

Die hier dargestellten Erzeugerpreise basieren auf den betriebsindividuellen Angaben der Betriebsleiter. Wie aus Tabelle 5 ersichtlich, unterliegen die Preise für Ackerbohnen einer deutlichen Schwankung. Im Mittel konnten die Praxisbetriebe für das Anbaujahr 2017 einen Preis von 20,18 €/dt für Ackerbohnen erzielen. Im Folgejahr lag der durchschnittliche Preis mit 19,09 €/dt leicht unter den Preis von 2017. Im Gegensatz dazu stiegen die Preise für Stoppelweizen und Blattfruchtweizen im Erntejahr 2018 im Vergleich zum Vorjahr um 2,79 €/dt bzw. 2,74 €/dt an. Der mittlere Raps-Preis unterschied sich zwischen den beiden Erntejahren nur gering.

Tabelle 5. Durchschnittliche Erzeugerpreise der Ackerbohnen und ihrer Referenzkulturen in den Erntejahren 2017 und 2018.

Kultur		Ackerbohne		Stoppelweizen		Blattfruchtweizen		Raps	
Erntejahr		2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Ø Preis (€/dt)	Min.	17,00	17,45	13,00	14,95	13,50	15,55	30,00	34,90
	Ø	20,18	19,09	15,61	18,40	15,81	18,55	36,24	36,85
	Max.	25,00	24,50	17,00	22,60	19,10	22,60	40,01	38,97
Ø Differenz		- 1,09		+ 2,79		+ 2,74		+ 0,61	

Produktionskosten und DAL

Auf Grundlage der DAL wurden die betriebswirtschaftlichen Daten des Ackerbohnenanbaus und ihrer Referenzkulturen ausgewertet. Tabelle 6 stellt die durchschnittlichen Ergebnisse der Auswertung sowie die einzelnen Leistungskennzahlen und wesentlichen Kosten aller Kulturen der Erntejahre 2017 und 2018 gegenüber.

Der Vergleich der durchschnittlichen Leistungen zeigte, dass die Ackerbohnen im Erntejahr 2017 aufgrund guter Ertragsleistungen und der Berücksichtigung des Vorfruchtwerts im Vergleich zu den Referenzkulturen mit durchschnittlich 1.236 €/ha annähernd ähnlich hohe Leistungen erzielen konnten. Im Gegensatz dazu fiel die mittlere Leistung der Ackerbohnen im Erntejahr 2018 mit 732 €/ha deutlich geringer aus. Ausschlaggebend dafür waren insbesondere die geringen Ertragsleistungen dieser Körnerleguminosen im Erntejahr 2018.

Die durchschnittlichen Kosten der jeweiligen Kulturen lagen in beiden Erntejahren in Summe auf einem ähnlichen Niveau. Lediglich bezüglich der Nährstoffabfuhr ergaben sich im Vergleich zum Vorjahr bei den Ackerbohnen und ihren Referenzkulturen zum Teil

deutlich niedrigere Kosten für das Erntejahr 2018. Grund dafür war die Kalkulation der Düngerkosten nach Nährstoffentzug, welche bedingt durch die niedrigeren Erträge im Erntejahr 2018 geringer ausfielen.

Abb. 30 stellt die einzelnen Kosten aller Kulturen im Mittel der Erntejahre 2017 und 2018 dar. Die Gegenüberstellung zeigte, dass beim Anbau von Ackerbohnen geringere Kosten für Düngung (Nährstoffabfuhr), Pflanzenschutz und Arbeitserledigung anfielen. Insbesondere die Kosten der Nährstoffabfuhr waren bei den Ackerbohnen deutlich niedriger. In Summe wurden für die Ackerbohnen der Praxisbetriebe durchschnittliche Kosten von 734 €/ha berechnet. Die mittleren Kosten der Referenzkulturen beider Erntejahre waren in Summe zwischen 185 €/ha und 210 €/ha höher als bei den Ackerbohnen.

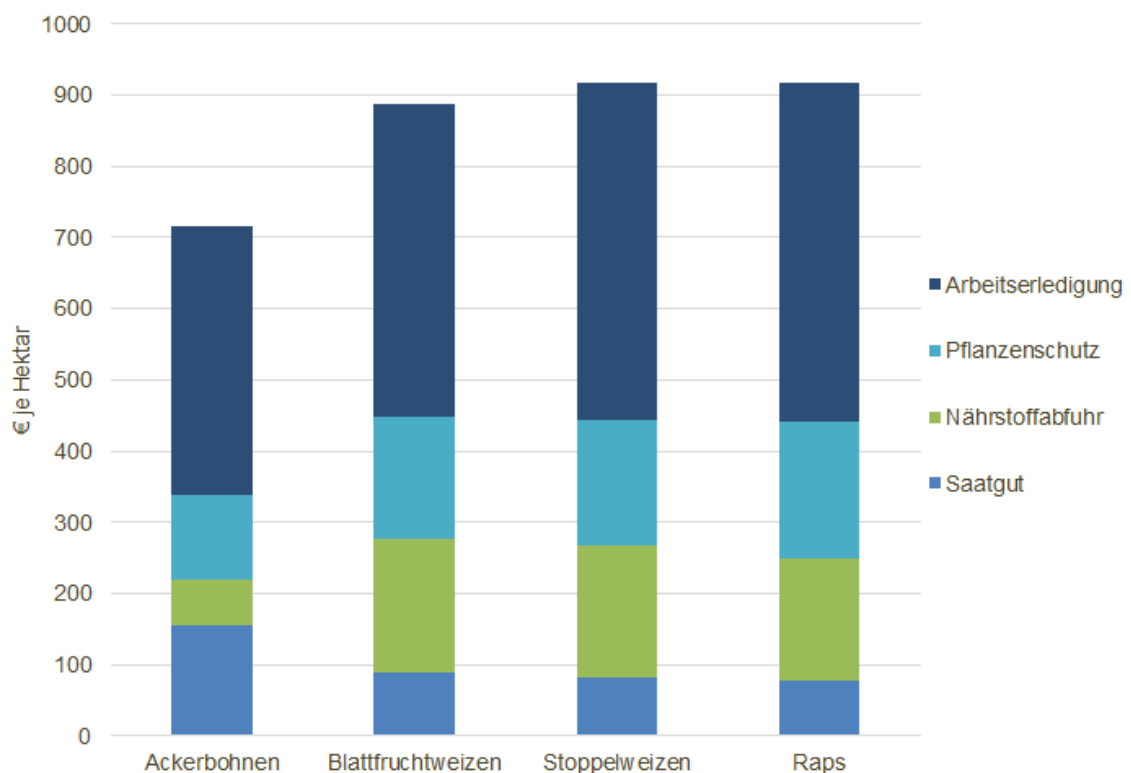


Abb. 30. Durchschnittliche Kosten der Ackerbohnen und ihrer Referenzkulturen im Mittel der Erntejahre 2017 und 2018.

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Ackerbohnenanbaus im Vergleich zu den Referenzkulturen wurde die DAL als Erfolgsmaßstab herangezogen. Die Auswertung in Tabelle 6 zeigte, dass sich die Ackerbohnen für das Erntejahr 2017 als eine wirtschaftlich gute Alternative zu den Referenzkulturen darstellten. Trotz der geringeren Ertragsleistung im Vergleich zu den Referenzkulturen konnten die Ackerbohnen aufgrund ihres hohen Vorfruchtwertes und niedrigerer Kosten für Pflanzenschutz, Dünger und Arbeitserledigung (Maschinenkosten und Lohnansatz) im Durchschnitt eine höhere DAL (500 €/ha) erzielen als der Blattfruchtweizen (454 €/ha). Die DAL der Raps- und Stoppelweizen-Schläge waren im Vergleich zu den Ackerbohnen um knapp 110 €/ha (Raps) bzw. 129 €/ha (Stoppelweizen) niedriger. Da bei der Kalkulation der Raps-Leistungen kein Vorfruchtwert

für diese Kultur einbezogen wurde, ist die tatsächliche Leistung dieser Referenzkultur allerdings als höher einzuschätzen.

Während die DAL der Ackerbohnen im Erntejahr 2017 auf einem konkurrenzfähigen Niveau lagen, konnte im Erntejahr 2018 durchschnittlich nur eine knapp negative DAL (-1) erwirtschaftet werden. Bei Betrachtung der DAL Min. und Max. zeigte sich allerdings ein deutlicher Schwankungsbereich. So konnte ein Praxisbetrieb auch im Jahr 2018 einen hohen Ertrag und somit eine positive DAL (627 €/ha) erzielen. Die Mehrheit der Betriebe erwirtschaftete 2018 hingegen nur sehr schwache bis negative DAL. Auch die DAL der Referenzkultur Raps war im Erntejahr 2018 durchschnittlich geringer als im Vorjahr. Eine höhere DAL trotz leichter Ertragsseinbußen im Erntejahr 2018 konnten hingegen die beiden Winterweizenkulturen erwirtschaften. Hier zu berücksichtigen sind hingegen die geringeren Kosten aufgrund der reduzierten Nährstoffabfuhr.

Tabelle 6. Durchschnittliche Leistungs-/Kostenkennzahlen und DAL der Ackerbohnen und ihrer Referenzkulturen für die Erntejahre 2017 und 2018.

Kultur	Ackerbohne		Stoppelweizen		Blattfruchtweizen		Raps		
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	
Erntejahr									
Anzahl Schläge	n=15	n=18	n=15	n=20	n=28	n=19	n=19	n=11	
Ertrag (dt/ha)	53	26	88	74	90	73	38	34	
Erzeugerpreis (€/ha)	20,18	19,09	15,61	18,40	15,81	18,55	36,24	36,85	
Vorfruchtwert (€/ha)	167	240							
Summe Leistungen (€/ha)	1.236	732	1.372	1.364	1.427	1.355	1.369	1.263	
Saatgut (€/ha)	123	187	77	85	85	90	76	80	
Nährstoffabfuhr (€/ha)	87	43	218	155	223	152	180	163	
Pflanzenschutz (€/ha)	130	106	171	182	174	174	211	172	
Arbeitserledigung (€/ha)	367	392	494	452	452	424	485	465	
Summe (€/ha)	Kosten	736	732	1.001	883	973	858	979	908
DAL (€/ha)	Min.	202	-337	109	32	-123	-64	33	-85
	Ø	500	-1	371	480	454	504	390	355
	Max.	1023	627	669	925	840	1441	671	813

4.3.2 Ökonomische und pflanzenbauliche Bewertung der Vorfrucht-, Nachbarschafts- und Landschaftseffekte

Zur Bewertung der Vorfrucht-, Nachbarschafts- und Landschaftseffekte wurden die Betriebsdaten jener Praxisschläge herangezogen, welche im Jahr 2018 von den Projektpartnern TI-BD und UGOE zur Untersuchung dieser Effekte genutzt wurden. Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse sollen die Erkenntnisse der Projektpartner zu den genannten Effekten beim Anbau von Körnerleguminosen um die ökonomische und pflanzenbauliche Perspektive ergänzen. Zwar konnten nicht alle produktionsspezifischen Daten der relevanten Praxisschläge erhoben werden, dennoch war es möglich, ökonomisch und pflanzenbaulich relevante Tendenzen bezüglich der Vorfrucht- und Nachbarschaftseffekte aufzuzeigen.

In folgender Tabelle 7 sind die zu bewerteten Kennzahlen zum Vorfruchteffekt (TI-BD) der Ackerbohnen differenziert nach Winterweizenschlägen (WW) mit einer Getreidevorfrucht und Winterweizenschlägen mit Ackerbohnen (AB) als Vorfrucht dargestellt. Als ökonomische Kenngröße wurde die DAL herangezogen, die Bewertung der pflanzenbaulichen Vorteile erfolgte durch einen Vergleich der aufgewendeten Mengen an Pflanzenschutzmitteln (PSM) und Stickstoffdünger (tatsächliche Düngung; Reinnährstoffe). Zudem wurden die Kenngrößen Arbeitszeitbedarf, Dieserverbrauch und Energiebedarf durch den Maschineneinsatz gegenübergestellt.

Der Vergleich zeigte, dass die Erträge der Winterweizenschläge mit Ackerbohnen als Vorfrucht tendenziell höher waren als mit einer Getreidevorfrucht (+ 9 %). Auch die eingesetzte Menge an Stickstoffdünger auf den Winterweizenschlägen mit einer Ackerbohnenvorfrucht war im Mittel um 22 % geringer. Weiter zeigt die Auswertung, dass der Arbeitszeitbedarf (- 10 %), Dieserverbrauch (- 9 %) sowie Energiebedarf (- 8 %) aufgrund der reduzierten Bodenbearbeitung und Düngung bei einer Ackerbohne als Vorfrucht durchschnittlich niedriger war. Eine Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in der Folgefrucht war nicht erkennbar. Insgesamt konnte auf den Winterweizenschlägen mit einer Ackerbohnenvorfrucht eine höhere DAL von durchschnittlich 28 % im Vergleich zu den Referenzschlägen erwirtschaftet werden.

Tabelle 7. Differenz der Kennzahlen Ertrag, DAL, Pflanzenschutzmittel (PSM), Stickstoffdünger (N-Dünger), Arbeitszeitbedarf, Dieserverbrauch und Energiebedarf zwischen Winterweizen vor Winterweizen (WW vor WW) und Ackerbohnen vor Winterweizen (AB vor WW).

	WW vor WW (n=9)	AB vor WW (n=8)	Differenz
Ø Ertrag (dt/ha)	77	84	+ 9 %
Ø DAL (€/ha)	544	694	+ 28 %
Ø PSM (l/ha)	8,62	9,72	+ 13 %
Ø N-Dünger (Reinnährstoffe) (kg/ha)	216	169	- 22 %
Ø Arbeitszeitbedarf (Akh/ha)	7,27	6,57	- 10 %
Ø Dieserverbrauch (l/ha)	94	85	- 9 %
Ø Energieaufwand (MJ/ha)	5782	5304	- 8 %

Zur Bewertung der Nachbarschaftseffekte (TI-BD) waren vor allem die Kenngrößen Ertrag und Pflanzenschutzmitteleinsatz von Interesse. Hierzu wurden die Daten von Winterweizenschlägen neben Winterweizenschlägen und Winterweizenschlägen neben Ackerbohnenchlägen gegenübergestellt.

Wie die Ergebnisse in Tabelle 8 zeigen, konnte anhand der zur Verfügung stehenden Daten durchschnittlich kein Mehrertrag bei Winterweizen neben Ackerbohne nachgewiesen werden. Hingegen wurde auf den Winterweizen-Schlägen neben Ackerbohnen im Mittel weniger Pflanzenschutzmittel (- 18 %) als bei den Referenzschlägen ausgebracht.

Tabelle 8. Differenz der Kennzahlen Ertrag und Pflanzenschutzmitteleinsatz (PSM) zwischen Winterweizen neben Winterweizen (WW neben WW) und Winterweizen neben Ackerbohnen (WW neben AB).

	WW neben WW (n=8)	WW neben AB (n=8)	Differenz
Ø Ertrag (dt/ha)	67	57	- 15 %
Ø PSM (l/ha)	10,08	8,23	- 18 %

Für eine monetäre Bewertung von Ökosystemleistungen durch Bestäuber wurden für das Erntejahr 2018 die Ertragsdaten von Raps in Ackerbohnenlandschaften mit Raps ohne Ackerbohnen in der Landschaft gegenübergestellt. Die Auswertung der Betriebsdaten zeigte keinen Mehrertrag bei Raps in Ackerbohnenlandschaften.

4.3.3 Motivation zum Anbau

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Befragung zu den betriebsindividuellen Vorteilen des Leguminosenanbaus und den Erfahrungen der Betriebsleiter beim Anbau von Ackerbohnen aufgezeigt. Weiterhin wird dargestellt, für welche innerbetrieblichen und außerbetrieblichen Zwecke diese Körnerleguminosen in den Praxisbetrieben angebaut wurden.

Abb. 31 stellt die von den Betriebsleitern genannten Gründe für den Anbau von Ackerbohnen dar. Am häufigsten nannten die Betriebsleiter die Anbaugründe „Fruchtfolgeauflockerung, -erweiterung“, „Ackerfuchsschwanzbekämpfung/ Ackerhygiene“ und „Vorfruchtwert“. Als weitere Gründe wurden „Fütterung“, „Saatgutverkauf“ und „Greening“ genannt. Auch die Leistungen „gut in die Betriebsabläufe integrieren“ sowie „Wirtschaftlichkeit“ sind für die befragten Betriebsleiter Grund zum Anbau dieser Körnerleguminosen.

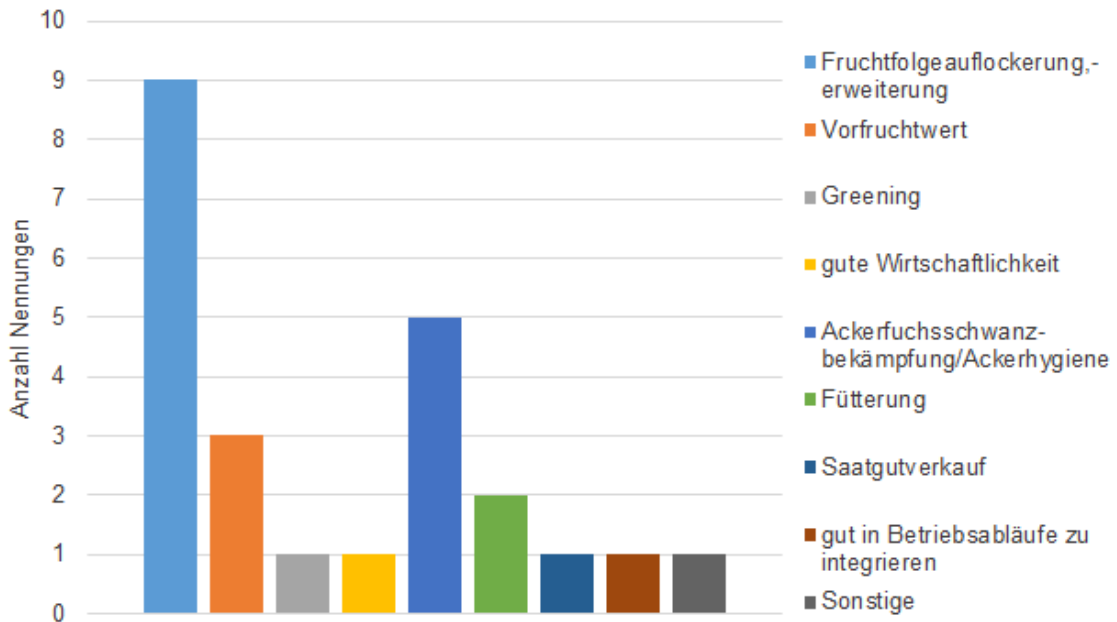


Abb. 31. Gründe für den Ackerbohnenanbau (n=11); Mehrfachnennung möglich.

Weiterhin wurden die Betriebsleiter gefragt, wie sie die in Tabelle 9 dargestellten Leistungen des Ackerbohnenanbaus für ihren Betrieb bewerten. Die Beantwortung erfolgte dabei auf einer Skala von 1 (völlig unwichtig) bis 5 (sehr wichtig). Die Leistung „Auflockerung der Fruchtfolge und Erweiterung des Fruchtfolgespektrums“ wurde mit 84 % der Nennungen deutlich am häufigsten als „sehr wichtig“ beim Ackerbohnenanbau bewertet. Auch die weiteren Leistungen „Sicherung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit“, „Erhöhung der Erträge der Nachfrucht“, „Erhöhung der Artenvielfalt“, „N₂ Fixierung und damit keine zusätzliche Stickstoffversorgung zur Leguminose“, „Reduzierung der mineralischen Stickstoffdüngung zur Nachfrucht“, „Reduzierung der Bodenbearbeitung zur Leguminose“, „Verringerung des Pflanzenschutzaufwandes zur Nachfrucht“ und „Bessere Verteilung von Arbeitsspitzen“ wurden mehrheitlich als „eher wichtig“, „wichtig“ oder „sehr wichtig“ bewertet. Lediglich die „Unabhängigkeit von externen Futterzukauf“ wurde von der Mehrheit der Befragten als „völlig unwichtig“ beim Anbau von Ackerbohnen eingestuft.

Tabelle 9. Bewertung der Leistungen des Ackerbohnenanbaus auf der Skala 1 (völlig unwichtig) bis 5 (sehr wichtig).

Leistungen des Ackerbohnenanbaus	1 = völlig unwichtig	2	3	4	5 = sehr wichtig	Anzahl Nennungen
Auflockerung der Fruchtfolge und Erweiterung des Fruchtfolgespektrums	0 %	0 %	11 %	5 %	84 %	19
Erhöhung der Artenvielfalt	0 %	5 %	21 %	32 %	42 %	19
N2 Fixierung und damit keine zusätzliche Stickstoffversorgung zur Leguminose	0 %	11 %	37 %	21 %	32 %	19
Sicherung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit	0 %	0 %	5 %	26 %	68 %	19
Reduzierung der mineralischen Stickstoffdüngung zur Nachfrucht	6 %	12 %	35 %	35 %	12 %	17
Reduzierung der Bodenbearbeitung zur Leguminose	5 %	16 %	32 %	26 %	21 %	19
Verringerung des Pflanzenschutzaufwands zur Nachfrucht	6 %	24 %	24 %	6 %	41 %	17
Erhöhung der Erträge der Nachfrucht	7 %	7 %	0 %	40 %	47 %	15
Bessere Verteilung von Arbeitsspitzen	5 %	11 %	47 %	11 %	26 %	19
Unabhängigkeit von externen Futterzukauf	57 %	0 %	29 %	0 %	14 %	14

Die folgende Abb. 32 stellt die auf den Praxisbetrieben innerbetriebliche und außerbetriebliche Verwertung der Ackerbohnen dar. Von den 20 befragten Praxisbetrieben mit Ackerbohnenanbau gaben 60 % an, die Ackerbohnen nicht innerbetrieblich zu verwerten. Die anderen 40 % nutzen die Ackerbohnen vorwiegend als betriebseigenes Futtermittel für Rinder bzw. Kühe, Schweine oder Geflügel. Die deutliche Mehrheit der Praxisbetriebe (80 %) verwertet die Ackerbohnen, ausschließlich oder zusätzlich zur innerbetrieblichen Verwertung, außerbetrieblich. Insgesamt 30 % der Betriebe verkaufen ihre Ackerbohnen an andere Betriebe bzw. gehen eine Futter-Mist-Kooperation ein, weitere 30 % veräußern ihre Ernte als Futtermittel an Futtermischwerke. Auch der Verkauf als Saatgut wird von 15 % der Befragten praktiziert.

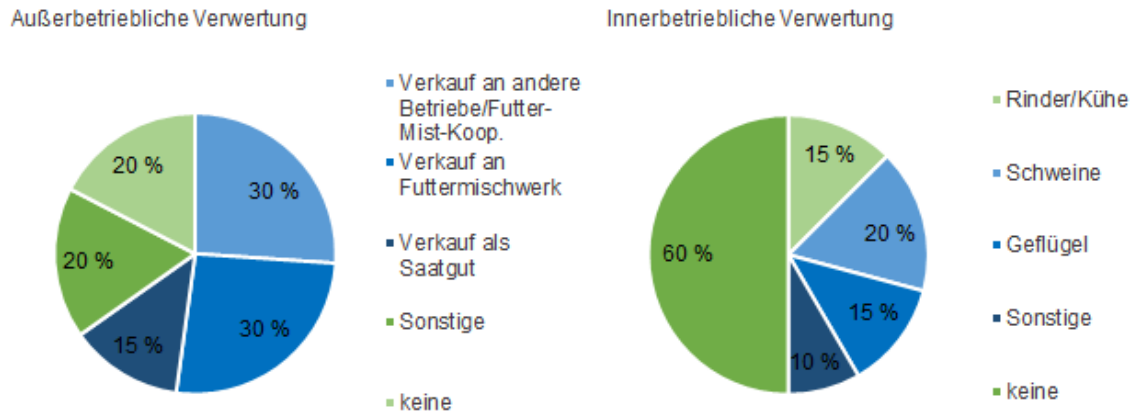


Abb. 32. Häufigkeit der Angaben zu den unterschiedlichen innerbetrieblichen und außerbetrieblichen Verwertungsmöglichkeiten von Ackerbohnen (n=20); Mehrfachnennung möglich.

4.3.4 Energie- und Produktionsmitteleinsatz in CO₂-Äquivalente

Basierend auf den erhobenen Betriebsdaten der Erntejahre 2017 und 2018 werden nachfolgend jene Kennzahlen dargestellt, welche die durch den Energie- und Produktionsmitteleinsatz verursachten Treibhausgasemissionen beim Anbau von Ackerbohnen und ihrer Referenzkulturen widerspiegeln. Neben einer Gegenüberstellung der relevanten Kennzahlen der gesamten Ackerbohnen- und Referenzschläge erfolgt zusätzlich ein Vergleich dieser Kennzahlen zwischen den Untersuchungs- und Referenzschlägen, welche im Rahmen des Vorfruchteffekts bewertet wurden.

Abb. 33 zeigt die erfassten Treibhausgasemissionen, dargestellt in kg CO₂-Äquivalente pro Hektar, welche im Mittel der Erntejahre 2017 und 2018 durch den Einsatz von Diesel, Saatgut, Dünger und Pflanzenschutzmitteln beim Anbau der Ackerbohnen und ihrer Referenzkulturen verursacht wurden. Die Gegenüberstellung der berechneten Kennzahlen verdeutlichte, dass die CO₂-Bilanz der Referenzkulturen wesentlich von der eingesetzten Menge an Stickstoffdünger (N-Dünger) beeinflusst wurde. Über 80 % der Treibhausgasemissionen wurden beim Anbau von Blattfruchtweizen, Stoppelweizen und Raps durch den Einsatz von Stickstoffdünger verursacht. Da eine Stickstoffdüngung beim Anbau von Körnerleguminosen in der Regel nicht notwendig ist, fielen die CO₂-Emissionen der Ackerbohnen vergleichsweise gering aus. Weitere Treibhausgasemissionen sind vorwiegend durch den Einsatz von Saatgut (Herstellung), Diesel (Herstellung und Einsatz) und Pflanzenschutzmittel (PSM) (Herstellung) entstanden. Auch hier zeigte sich, dass durch den verminderten Bedarf an Bodenbearbeitung, Düngerausbringung und Pflanzenschutz beim Anbau von Ackerbohnen Treibhausgasemissionen eingespart werden konnten. Der Einfluss der durch den Einsatz von mineralischen Phosphor-, Kalium- und Calciumdünger (Herstellung) verursachten Treibhausgasemissionen auf die CO₂-Bilanz war insgesamt vergleichsweise unbedeutend.

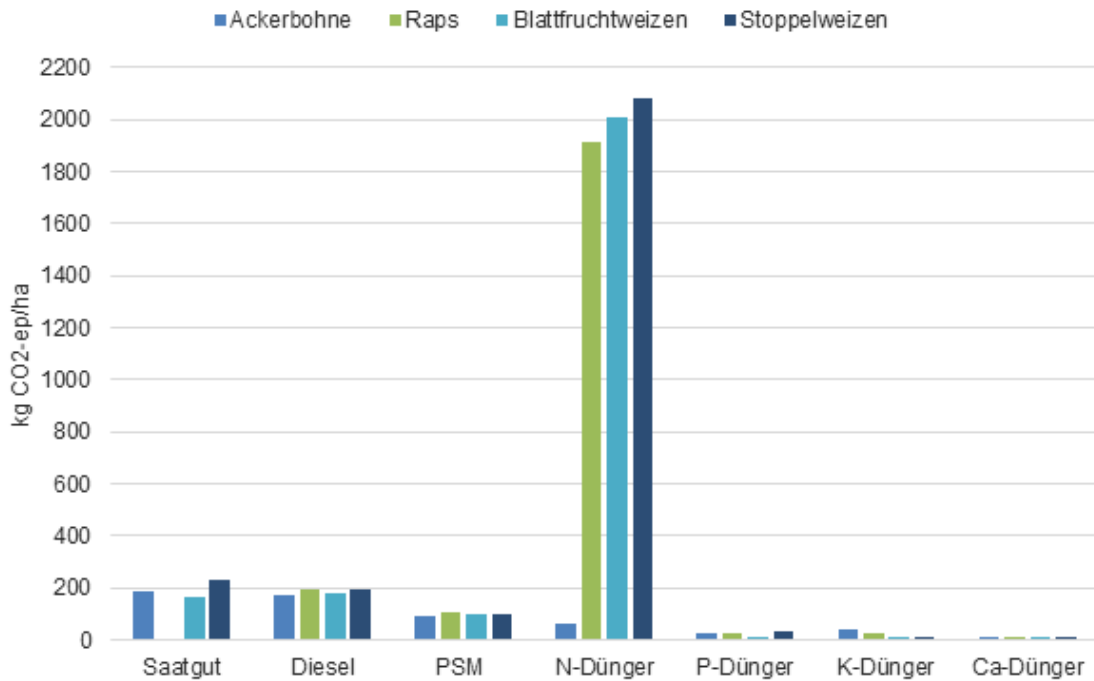


Abb. 33. Durchschnittliche Treibhausgasemissionen in kg CO₂-Äquivalente pro Hektar des Energie- und Produktionsmitteleinsatzes beim Anbau von Ackerbohnen, Stoppel- und Blattfruchtweizen und Raps.

Weiterhin stellt die Abb. 34 die gesamten durch den Energie- und Produktionsmitteleinsatz verursachten Treibhausgasemissionen der Untersuchungs- und Referenzschläge dar, welche im Rahmen des Vorfruchteffekts untersucht wurden. Bei der Gegenüberstellung zeigte sich, dass die Treibhausgasemissionen der Winterweizenschläge mit einer Ackerbohne als Vorfrucht um 16 % geringer waren als bei den Winterweizenschlägen mit einer Getreidevorfrucht. Die in Kapitel 4.3.2 dargestellten Einsparungen in Bezug auf Stickstoffdünger und Bodenbearbeitung bei einer Ackerbohnenvorfrucht beeinflussten somit auch die Treibhausgas-Bilanz der Folgekultur positiv.

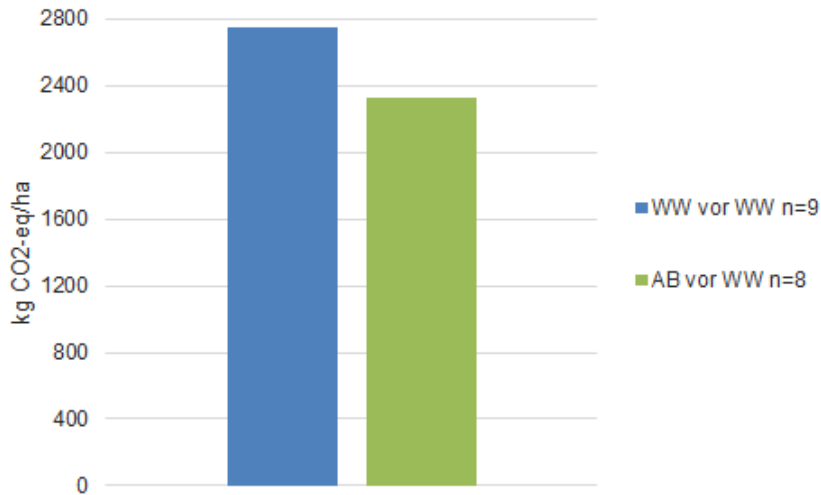


Abb. 34. Durchschnittliche Treibhausgasemissionen in kg CO₂-Äquivalente pro Hektar des Energie- und Produktionsmitteleinsatzes beim Anbau von Winterweizen vor Winterweizen (WW vor WW) und Winterweizen mit Ackerbohnenvorfrucht (AB vor WW).

5. Diskussion der Ergebnisse

5.1 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Bestäuber und ihre Bestäubungsleistung

5.1.2. Abundanz und Artenvielfalt von Bestäubern in Ackerrandstreifen

Unsere Studien haben gezeigt, dass Hummeln von Ackerbohnen profitieren. Eine Förderung des Ackerbohnenanbaus als GAP Greening Maßnahme ist deshalb sinnvoll zur Förderung von bestimmten Biengruppen. Somit konnten wir zeigen, dass auch Maßnahmen in Kulturlächen einen Nutzen für Bestäuber haben. Der Nutzen solcher Maßnahmen hängt allerdings stark von den Merkmalen der Kulturpflanzen und der Bestäuber ab. Massentrachten fördern nur diejenigen Bestäuber, die an ihre Blütenmorphologie angepasst sind. So konnten wir zeigen, dass soziale Bienen, Bienen die Pollen an Fabaceae sammeln und langrüsselige Hummeln vom Anbau von Ackerbohnen profitierten, solitäre Bienen im Gegensatz dazu eher von einem hohen Rapsanteil in der Landschaft. Deshalb ist ein diverses Angebot von blühenden Massentrachten mit verschiedenen Blütenmorphologien sinnvoll, um eine diverse Bestäubergemeinschaft zu unterstützen.

Der wichtigste Faktor für die non-*Bombus* Wildbienen und den Artenreichtum der Wildbienen war der Anteil naturnaher Habitats und deren lokale Blütendeckung. Eine hohe Quantität und Qualität von naturnahen Habitats in der Agrarlandschaft ist demnach essenziell für den Erhalt von Wildbienen. Auch der Artenreichtum der Schwebfliegen wurde vom Anteil naturnaher Habitats in der Landschaft beeinflusst. Die Richtung des Effekts hing vom Anbau der Ackerbohnen ab, was vermutlich mit der Qualität der naturnahen Lebensräume in den Landschaften mit und ohne Ackerbohnen zusammenhängt, welche wir nicht aufgenommen haben.

Schlussfolgernd, schlagen wir eine Kombination von Maßnahmen vor, um die gesamte Bestäubergemeinschaft in Agrarlandschaften zu unterstützen. Diese beinhalten einen diversen Anbau von blühenden Massentrachten, sowie den Erhalt und die Förderung von

blütenreichen naturnahen Lebensräumen in Agrarlandschaften, die Nahrung und Nistmöglichkeiten für viele verschiedene Bestäuber bieten.

5.1.2 Reproduktion und Ressourcennutzung von Hummelkolonien

Die Analyse der Hummelkolonien hat gezeigt, dass das Wachstum und die Reproduktion von *B. terrestris* Kolonien nicht direkt vom Ackerbohnenanbau beeinflusst wird. Dies kann damit begründet werden, dass die Erdhummeln kurzzüsselige Bienen sind und hauptsächlich Nektar an Ackerbohnen rauben (Marzinzig et al. 2018). Da Pollen eine wichtige Proteinquelle für die Larvenernährung und somit Produktion von Bienen darstellt (Michener 2007) und Ackerbohnen hauptsächlich als Nektarquelle genutzt wurden, konnte die zusätzliche Massentracht den Kolonien keinen Vorteil erbringen. Der eingetragene Pollentypenreichtum beeinflusste die Reproduktion der Hummelkolonien allerdings positiv. Wir konnten außerdem zeigen, dass ein Wachsmottenbefall die Größe der Kolonien beeinträchtigt und somit auch deren Reproduktion. Ein hoher Anteil an naturnahen Habitaten in der umgebenden Landschaft verringerte den Wachsmottenbefall, wahrscheinlich durch eine Förderung der natürlichen Feinde der Parasiten. Ein hoher Anteil naturnaher Habitats in der Agrarlandschaft ist demnach vorteilhaft für Hummelkolonien, da der Parasitendruck verringert werden kann und da sie ein potenzielles Angebot an diversen Pollenquellen bieten. Die Landschaftsstruktur hatte entgegen unserer Erwartungen keinen Einfluss auf die Reproduktion der Hummelkolonien und auch nicht auf den eingetragenen Pollentypenreichtum. Allerdings haben wir nur die Flächenanteile verschiedener Landschaftselemente bestimmt und nicht die Qualität der einzelnen Habitats. Es ist anzunehmen, dass das Angebot und die Diversität der Blühpflanzen in den naturnahen Habitats einen wichtigen Einfluss auf die Ressourcennutzung und Reproduktion unserer Hummelkolonien hatten.

5.1.3 Bestäuberverhalten, Bestäubungsleistung und Erträge von *V. faba* (Bestäubungsexperiment)

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Landschaftsstruktur Bienendichten und das Bienenverhalten in Ackerbohnenfeldern, sowie Ackerbohnenenerträge beeinflusst. Ein hoher Anteil an naturnahen Habitats und an Ackerbohnen in der Agrarlandschaft wirkte sich positiv auf die Hummeldichten in den Feldern aus. Naturnahe Habitats bieten diverse Nahrungsressourcen und Nistmöglichkeiten für Bestäuber und fördern bekanntlich Wildbienen (Diekötter et al. 2014; Steffan-Dewenter et al. 2002). Somit ist anzunehmen, dass Landschaften mit einem hohen Anteil naturnaher Habitats die Abundanzen von Hummeln erhöhten, welche dann vermehrt die Ackerbohnenfelder besuchten. Der positive Effekt eines höheren Ackerbohnenanteils in der Landschaft auf die Hummeldichten in Bohnenfeldern kann mit einer erhöhten Attraktivität einer größeren Menge von blühenden Massenressourcen zusammenhängen oder mit einer erhöhten Arbeiterinnenanzahl der Hummelkolonien aufgrund der vermehrten Ressourcenverfügbarkeit (Westphal et al. 2003). Wie bereits aus den Daten aus 2017 hervorging, fördern Ackerbohnen Hummeldichten (Beyer et al. 2020). Im Gegensatz dazu widersprach der negative Effekt eines steigenden Rapsanteils auf die Hummeldichten in Ackerbohnenfeldern unseren Erwartungen. Dieses Ergebnis könnte mit einem negativen Einfluss eines hohen Rapsanteils auf Hummeln zusammenhängen, eventuell durch starke

Konkurrenz durch Honigbienen (Lindström et al. 2016) oder durch Pflanzenschutzmittel in Rapsfeldern. Eine andere Erklärung wären attraktive Blühressourcen in den naturnahen Habitaten in den Landschaften mit viel Rapsanbau, die die Hummeln von den Bohnenfeldern wegzogen. Da wir die Pflanzen in den naturnahen Habitaten nicht aufgenommen haben, können wir dies allerdings nicht nachweisen. Neben den Hummeldichten wurde auch das Sammelverhalten der Bienen von der Landschaftsstruktur beeinflusst. Ein hoher Anteil an naturnahen Habitaten bietet ein reiches Angebot an diversen Pollenquellen und kann zu einer verringerten Pollensammelaktivität von Hummelarbeiterinnen führen (Requier et al. 2020). Demnach ist es möglich, dass die Ackerbohnen nur noch als Nektarquelle dienten, da die Hummeln bereits genügend Pollenressourcen in den naturnahen Habitaten fanden, was die Nektarraubaktivitäten der Hummeln förderte.

Wie erwartet, hatte Insektenbestäubung einen positiven Einfluss auf die Ackerbohnenenerträge und die Erträge stiegen mit steigenden Bienendichten im Feld. Der Beitrag der Insektenbestäubung zum Ertrag hängt allerdings von der Bohnensorte und von der Landschaftsstruktur ab. Ein steigender Anteil naturnaher Habitats und Ackerbohnen erhöhte die Erträge, was höchst wahrscheinlich mit den höheren Hummeldichten in den Ackerbohnenfeldern dieser Landschaften zusammenhängt. Dies war der Fall, obwohl in diesen Landschaften ein höherer Anteil kurzrüsseliger Hummeln Nektar raubte, statt reguläre Blütenbesuche zu vollziehen. Da Bienen die Blüte beim Nektarraub bewegen, können sie auch so zur Selbstbestäubung der Ackerbohnen beitragen und zu einem erhöhten Samenansatz führen (Kendall & Smith, 1975; Maloof & Inouye, 2000). Ein erhöhter Rapsanteil in der Landschaft verringerte die Ackerbohnenenerträge, was sich auch auf die geringeren Hummeldichten in den Bohnenfeldern dieser Landschaften zurückführen lässt. Zudem fanden wir komplexe Interaktionen zwischen der Landschaftsstruktur und den Bienendichten im Feld auf die Bohnenerträge. Bienendichten erhöhten den Ertrag vor allem in Landschaften mit einem hohen Anteil an naturnahen Habitats, an Raps und an Ackerbohnen. Dies könnte mit den unterschiedlichen Bienengemeinschaften in Landschaften mit einem hohen oder niedrigen Anteil der entsprechenden Landschaftsparameter zusammenhängen, sowie mit dem veränderten Sammelverhalten.

In Landschaften mit einem hohen Anteil naturnaher Habitats fanden wir die geringsten Anteile an Samen, die vom Ackerbohnenkäfer befallen waren, was sich mit der Förderung von natürlichen Feinden der Käfer in solchen Landschaften erklären lässt. Ein höherer Ackerbohnenanteil in der Landschaft und eine größere Hülsenzahl pro Pflanze verringerten die Befallszahlen, was mit einer Verdünnung der Käfer durch die höhere Anzahl an Blüten zu erklären ist. Der höhere Befall der Pflanzen am Feldrand ist mit der Migration der Käfer von der Umgebung ins Feld zu erklären (Pölit & Reike, 2019).

Schlussfolgernd, zeigen die Ergebnisse, dass diverse Landschaften mit einem hohen Anteil naturnaher Habitats wichtig sind für die Förderung von Bestäubern und auch für die natürliche Schädlingskontrolle. Da Insektenbestäubung, vor allem durch hohe Hummeldichten, die Erträge von Ackerbohnen erhöht, ist ein Erhalt von naturnahen Lebensräumen in Agrarlandschaften unabdingbar, um Wildbienen zu fördern und somit die Erträge zu steigern.

5.1.4 Bestäuberleistung und Erträge von Raps (Bestäubungsexperiment)

Wir fanden gegensätzliche Reaktionen der Wildbienenendichten in Rapsfeldern auf eine erhöhte Massentrachtenfläche im aktuellen Studienjahr und auf eine erhöhte historische Massentrachtenfläche (der vorhergehenden drei Jahre). Die abnehmenden Wildbienenendichten mit steigender Rapsfläche in der umgebenden Landschaft lassen auf einen Verdünnungseffekt schließen, welcher bereits in anderen Studien beobachtet wurde und negative Auswirkungen auf gleichzeitig blühende Kultur- oder Wildpflanzen haben könnte (Bänsch et al. 2020b; Holzschuh et al. 2016; Shaw et al. 2020). Im Gegensatz dazu waren die Wildbienenendichten in Rapsfeldern in Landschaften mit einer hohen historischen Massentrachtenfläche erhöht, was auf einen positiven Einfluss des Langzeit-Massentrachtenanbaus auf die Reproduktion von Wildbienen schließen lässt. Außerdem fanden wir eine erhöhte Samenanzahl pro Pflanze bei den offen bestäubten Pflanzen, die in Landschaften mit einer hohen historischen Massentrachtenfläche wuchsen. Dies ist wahrscheinlich auf die höheren Wildbienenendichten in den Feldern dieser Landschaften zurückzuführen und unterstreicht die Bedeutung von blühenden Ressourcen für Bestäuber und deren Bestäubungsleistung in folgenden Kulturen. Die konträren Ergebnisse der Honigbienenendichten deuten auf eine potenzielle Konkurrenz zwischen Wild- und Honigbienen in blühenden Massentrachten hin (Herbertsson et al. 2016; Lindström et al. 2016).

Unsere Ergebnisse zeigen außerdem, dass Insektenbestäubung zu einer höheren Samenanzahl pro Schote und zu einem geringeren Samengewicht bei Raps führt. Da Pflanzen nur eine bestimmte Menge an Ressourcen zur Verfügung haben kompensierten sie die höhere Samenanzahl durch eine geringere Samengröße (Grosse et al. 1992; Zou et al. 2017). Gegen unsere Erwartungen erbrachten die offen bestäubten Pflanzen keine höheren Erträge als die eingetüteten. Wir vermuten, dass die extremen Klimabedingungen im Sommer 2018, in dem die Studie stattfand und in dem es besonders heiß und trocken war zu diesem Ergebnis beigetragen haben. Wir fanden eine sehr geringe Bienenzahl in den Rapsfeldern, welche zu gering gewesen sein dürfte, um messbare Ertragsunterschiede zu erbringen (Samnegård et al. 2016).

Des Weiteren fanden wir, dass die Schotenanzahl bei Raps eine wichtige Rolle bei der Erklärung der Ertragsmuster spielt. Da die Schoten eine wichtige Rolle bei der Bereitstellung von Assimilaten an die Samen durch Photosynthese spielen (Geisler 1988; Grosse et al. 1992), bildeten Pflanzen mit einer höheren Schotenanzahl mehr Samen pro Schote aus und hatten höhere Erträge. Dieses Muster wurde allerdings durch Insektenbestäubung moduliert. Unsere Ergebnisse zeigen, dass Insektenbestäubung eine geringe Schotenanzahl und Assimilaten Produktion bei Raps durch einen erhöhten Samenansatz pro Schote kompensieren kann.

5.1.5 Abundanz und Artenreichtum von hohlraumnistenden Bienen und Wespen

Den größten Teil der Bienennester in unseren Nisthilfen wurden von der roten Mauerbiene (*Osmia bicornis*) besiedelt, welche auch in anderen Studien in deutschen Agrarlandschaften die dominanteste Art darstellte (Dainese et al. 2018; Diekötter et al. 2014; Holzschuh et al. 2010; Steffan-Dewenter et al. 2002). Die vorläufigen Auswertungen zeigen eine Parasitierungsrate von circa 10-13 % der Nisthilfenbewohner. In anderen Studien in Deutschland findet man ähnliche Parasitierungsraten zwischen circa 7 % und

17 % (Dainese et al. 2018; Steckel et al. 2014; Steffan-Dewenter & Schiele 2008). Die meist besiedelten Nisthilfen waren diejenigen, die an ein naturnahes Habitat grenzten. Naturnahe Habitats bieten Nahrungsressourcen und es wurde bereits gezeigt, dass ein hoher Anteil naturnaher Habitats in der Landschaft hohlraumnistende Bienen und Wespen fördert (Steffan-Dewenter 2002). Die vorläufigen Ergebnisse der Masterarbeit haben gezeigt, dass die Landschaftszusammensetzung, sowie die Konfiguration der Landschaft hohlraumbesiedelnde Bienen und Wespen beeinflussen, was sich mit anderen Studien deckt (Holzschuh et al. 2010; Steckel et al. 2014). So fanden wir einen positiven Einfluss der Randlängendichte in der Landschaft auf die Bienen- und Wespenabundanz in den Nisthilfen. Ein positiver Effekt vieler Randstrukturen, die die Konnektivität der Landschaft erhöhen, auf Wespen ist bereits bekannt (Holzschuh et al. 2010). Allerdings war dieser Effekt vom Standort unserer Nisthilfen abhängig und drehte sich bei Nisthilfen um, die direkt an ein naturnahes Habitat grenzten. Es ist anzunehmen, dass ein angrenzendes Naturnahes Habitat in einer heterogenen Landschaft mit vielen Randstrukturen viele alternative Nistmöglichkeiten bietet und daher die Besiedlung unserer Nisthilfen geringer ausfiel. Außerdem beeinflusste der Landschaftsanteil an Ackerbohnen und Ackerland die Nisthilfenbewohner. Es ist bekannt, dass ein steigender Anteil an Massentrachten und ein geringerer Anteil an Ackerland hohlraumnistende Bienen und Wespen fördert (Diekötter et al. 2014; Holzschuh et al. 2010). Die Landschaftseffekte interagieren in unserer Studie allerdings mit lokalen Faktoren (ob die Nisthilfen in direkter Nachbarschaft an eine blühende oder nicht blühende Kultur oder ein naturnahes Habitat stehen). So wirkte sich ein hoher Anteil an Ackerbohnen in der Landschaft nur positiv auf die Besiedlung derer Nisthilfen aus, die an eine nichtblühende Kultur grenzten, allerdings nicht, wenn Raps in direkter Nachbarschaft lag. Die Frage, ob der Anbau von Ackerbohnen hohlraumbesiedelnde Bienen und Wespen fördert, kann durch diese Ergebnisse allerdings nicht bestätigt werden und soll durch die noch ausstehende Analyse aller aufgestellten Nisthilfen beantwortet werden.

5.2 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Raubarthropoden und biologische Schädlingskontrolle

5.2.1 Bedeutung der Ackerbohne für epigäische Raubarthropoden in der Fruchtfolge und im Landschaftsmaßstab

Insgesamt wurden weniger Effekte der Ackerbohne in der Fruchtfolge und im Landschaftsmaßstab gefunden als erwartet. Mögliche Gründe dafür sind im Folgenden erläutert.

Die Biomasse unterschied sich nicht auffällig zwischen Landschaften mit und ohne Ackerbohnenanbau. Im Vergleich der Kulturgruppen war sie am höchsten in Ackerbohne und am niedrigsten in Winterraps. Über Kulturarteneffekte auf die Biomasse epigäischer Arthropoden ist bisher wenig bekannt. Es gibt aber Hinweise darauf, dass die Biomasse epigäischer Arthropoden mit der Feldbearbeitung zusammenhängt und höher ist, wenn weniger gepflügt wird (Marasas et al. 2001). Weiterhin zeigen unsere Ergebnisse, dass Laufkäfer die Kultur Ackerbohne nicht gegenüber Winter- und Sommergetreide, Winterraps und Kartoffel/Mais/Zuckerrübe bevorzugen. Auch im Vergleich der 1km² großen Landschaften mit/ohne Ackerbohnenanbau war kein Effekt auf Laufkäfer messbar. Da für Laufkäfer die Verfügbarkeit von Nahrung entscheidend für die Qualität

des Lebensraums ist (Bommarco 1998) kann eine der möglichen Erklärungen für diese Ergebnisse sein, dass die Ackerbohne Laufkäfern nicht ausreichend Nahrung zur Verfügung stellt, und somit nicht attraktiver als andere Kulturen für sie ist. Andererseits wurden positive Effekte der Ackerbohne auf die Aktivitätsdichte von Laufkäfern im Vergleich zu Wintergerste, Klee-Grasmischung und Gemüse bereits gezeigt (Eyre et al. 2012). Diese Untersuchung, und weitere, die Kulturarteneffekte auf die Aktivitätsdichte von Laufkäfern zeigen (Meyer et al. 2019), waren allerdings Mesokosmos- Experimente, d.h. die Daten wurden auf für wissenschaftliche Untersuchungen im Freiland angelegten, kleinräumigen Versuchsflächen erhoben. Es ist deshalb interessant, dass ein positiver Effekt der Ackerbohne in der vorliegenden Studie, in der reell konventionell bewirtschaftete Felder auf großer räumlicher Skala beprobt wurden, nicht wiedergefunden wurde. Hier ist die Anzahl der Einflussfaktoren auf die Aktivitätsdichten von Arthropoden sehr viel höher, wodurch die Kulturart als Einflussvariable an Bedeutung verlieren kann. Dies deckt sich mit vielen Studien, die demonstrieren, dass die Aktivitätsdichte von Laufkäfern in Agrarlandschaften nicht an Kulturarten gebunden ist, sondern dass sie stattdessen von der Feldbearbeitung, der Phänologie und wechselnden mikroklimatischen Bedingungen abhängt (Kromp 1999). Die Aktivitätsdichte der Kurzflügelkäfer war in Ackerbohne niedriger als in Raps und Winterweizen. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass Kurzflügelkäfer, obwohl sie überwiegend tagaktiv sind, insgesamt dunkle Habitate bevorzugen (Bohac 1999). Die Ackerbohne stand in den beprobten Schlägen überwiegend relativ licht und ohne Streuschicht, in der Kurzflügelkäfer Schutz gefunden hätten. Dass sich der Effekt auf die Kultur Ackerbohne nicht im Landschaftsmaßstab wiederfindet, kann daran liegen, dass Kurzflügelkäfer fliegen und deshalb sehr mobil sind (Bohac 1999). Sie können so während einer Vegetationsperiode nicht bevorzugte Habitate verlassen und bevorzugte aufsuchen und dadurch in der Landschaft bleiben. Insgesamt leistet unsere Untersuchung einen wichtigen Beitrag für das Verständnis des Vorkommens von Kurzflügelkäfern in Agrarlandschaften. Denn zwar konnte bereits gezeigt werden, dass Kurzflügelkäfer in Agrarlandschaften von einer hohen Pflanzendiversität profitieren, insgesamt ist darüber bisher aber wenig bekannt (Twardowski et al. 2020). Die Aktivitätsdichte der Spinnen war zwar nicht innerhalb der Ackerbohne höher als in anderen Kulturen. Im Landschaftsmaßstab konnte aber eine höhere Aktivitätsdichte in Landschaften mit Ackerbohnenanbau gemessen werden. Da die Aktivitätsdichte in allen Kulturen außer der Gruppe anderer Kulturen gleich hoch war kann die Ackerbohne als eine von mehreren Kulturen verstanden werden, von der Spinnen profitieren. Ein Grund dafür kann ihre komplexe Vegetationsstruktur sein. Spinnen profitieren von komplexer Vegetationsstruktur, weil sie diese für das Fixieren ihrer Netze benötigen (Diehl et al. 2013).

5.2.2 Nachbarschaftseffekte der Ackerbohne: Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen sowie Schadschwelenermittlung

Wie erwartet waren die Prädatorendichten in Winterweizenfeldern, die an Ackerbohne grenzten, höher als in solchen, die an Winterweizen grenzten. Allerdings hing dieser Effekt nicht von der Phänologie der Ackerbohne ab, was auf eine weniger wichtige Rolle der Ackerbohnenblüte für die Förderung von vegetationsbewohnenden Nützlingen schließen lässt, als erwartet. Stattdessen ist anzunehmen, dass der Effekt von erhöhten Dichten

derjenigen Nützlinge herrührt, die nicht auf Nektar- und Pollen als Nahrungsquelle angewiesen sind, sondern sich vom Honigtau der Blattläuse ernähren (einige Florfliegenarten) oder in allen Entwicklungsstadien räuberisch leben (Spinnen, Marienkäfer). Diese könnten vom hohen Angebot von Herbivoren profitiert haben, die die Ackerbohne, die zum Zeitraum der Feldarbeiten stark mit Schädlingen besetzt war (überwiegend Blattläuse), zur Verfügung gestellt hat, und Spinnen können darüber hinaus von der komplexen Struktur der Ackerbohne profitiert haben (Anderlik-Wesinger et al. 1996). Es ist demnach zu schlussfolgern, dass im untersuchten System aus benachbarten Weizen- und Ackerbohnenfeldern die Ackerbohne eine Möglichkeit zur komplementären Ressourcennutzung (Rand et al. 2006) war, die zu erhöhten Nützlingsdichten in an Ackerbohne grenzendem Winterweizen führte. Auch die Verteilung der Nützlinge im Weizenfeld, mit einer höheren Dichte am Rand zum Nachbarfeld, weist darauf hin, dass eher die weniger mobilen Artengruppen von der angrenzenden Ackerbohne profitiert haben (Rand et al. 2006). Die wahrscheinlich untergeordnete Rolle der Ackerbohnenblüte für die Förderung von vegetationsbewohnenden Nützlingen steht im Gegensatz zu einer Vielzahl an Studien, die demonstrieren, dass besonders das an ein Feld angrenzende Blütenangebot von zentraler Bedeutung für die Erhöhung von Nützlingspopulationen ist (Albrecht et al. 2020; Tschumi et al. 2016) und unterstreicht somit, dass die Auswahl der Blühpflanzen, die zum Zweck der Nützlingsförderung eingesetzt werden, entscheidend ist für den Erfolg einer Maßnahme (Wäckers & van Rijn 2012). Um das Potential der Ackerbohne als eine solche Maßnahme besser zu verstehen ist es deshalb in der Zukunft wichtig, die Zusammenhänge der Ackerbohne mit Prädatoren auf Artebene zu untersuchen.

Trotz erhöhter Prädatorendichten in Weizen neben Ackerbohnenfeldern war kein solcher Effekt auf Herbivorendichten, Prädations- und Parasitierungsraten messbar. Die natürliche Schädlingskontrolle war demnach von der angrenzenden Ackerbohne unbeeinflusst. Offenbar reichten die erhöhten Prädatorendichten nicht aus, um auch den Druck auf die Herbivorenpopulationen zu erhöhen. Auch die Parasitierungsraten, die für eine natürliche Kontrolle von Blattlauskolonien in Winterweizen besonders entscheidend sind (Schmidt et al. 2003) waren offenbar zu gering. Dies ist überraschend, weil parasitoiden Nützlinge mehrfach als mit der Ackerbohne assoziiert gefunden wurden (Bugg et al. 1989; Nuessly et al. 2004). Da Wirt-Parasitoid Beziehungen allerdings hochspezialisiert sind, ist es möglich, dass ein Austausch von Parasitoiden zwischen verschiedenen Ackerkulturen eingeschränkt ist. Um auch hier das Potenzial der Ackerbohne als Maßnahme zur Förderung parasitoider Nützlinge in Agrarlandschaften zu nutzen, ist es in der Zukunft notwendig, dies auf Artebene zu untersuchen. Auch auf die Tausendkornmasse von Weizen hatte die benachbarte Kultur keinen Effekt. Einerseits könnte dies mit dem fehlenden Effekt des Nachbarfeldes auf Herbivore und den durch sie verursachten Schaden zusammenhängen. Dies lässt sich aber nicht sicher sagen, da der Herbivorendruck nur einer von vielen Faktoren ist, der den Ertrag beeinflusst (Frederick & Bauer 1999).

Für die fehlenden Effekte des Nachbarschlags auf die räuberischen Fliegen, die in den Delta-Fallen gefangen wurden, gibt es verschiedene Gründe. Es ist möglich, dass dadurch, dass die räuberischen Fliegen sich auch untereinander fressen, Effekte maskiert wurden (Rusch et al. 2016). Es ist außerdem wahrscheinlich, dass das Verhältnis der Dichten der räuberischen Fliegen zueinander durch die Fallenfarbe beeinflusst wurden. Die Gattung *Empis*, die zwei Drittel des Fangs der Tanzfliegen ausmachte, bevorzugt

weiß, während die Gattung *Platypalpus* (Buckeltanzfliegen) gelbe und bestimmte Gattungen der Langbeinfliegen blaue Fallen bevorzugen (Dr. Andreas Stark, persönliche Kommunikation).

Abschließend ist hervorzuheben, dass der Nachbarschaftseffekt auf die bonitierten Prädatorendichten messbar war, obwohl die Daten in konventionell bewirtschafteten Schlägen erhoben wurden. Dies lässt vermuten, dass potentielle weitere Effekte der Ackerbohne von Maßnahmen wie der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln maskiert waren. Ebenso maskierend könnten sich die außergewöhnlich trocken-heißen Wetterbedingungen in 2018 ausgewirkt haben.

Da die im Rahmen der Untersuchungen von Nachbarschafts- und Vorfruchteffekten beprobten Schläge während des Untersuchungszeitraums konventionell bearbeitet wurden ist es sehr wahrscheinlich, dass die Pestizideinsätze die Schädlingsdichten unterhalb der Schadschwellen gehalten haben.

5.2.3 Vorfruchteffekte der Ackerbohne auf epigäische Raubarthropoden, Bonitur von spezifischen Schädlingen, Fraßschäden und Nützlingen sowie Schadschwellenermittlung

Vorfruchteffekte auf Arthropoden werden im Allgemeinen mit den aufeinanderfolgenden Kulturen einer Fruchtfolge und der kulturspezifischen Feldbearbeitung erklärt (Basedow 1991). In der vorliegenden Untersuchung ist kein Effekt von Bohnenweizen im Vergleich zu Winterweizen auf die Aktivitätsdichte der Gesamtheit der erhobenen epigäischen Arthropoden sowie auf die vegetationsbewohnenden Arthropoden zu erwarten. Es ist möglich, dass der im Vergleich zu anderen Kulturen bodenschonendere Anbau der Ackerbohne (Everwand et al. 2017) keine messbare Auswirkung auf die Aktivitätsdichte der epigäischen Arthropoden in den beprobten Schlägen hatte. Dies stünde im Gegensatz zu Studien, die positive Effekte von reduzierter Bodenbearbeitung in Äckern auf die Biodiversität demonstrieren (Basedow 1991; Kromp 1999). Eine Ausnahme können hier die Tausendfüßer bilden, die auffällig häufiger in Bohnen- als in Stoppelweizen waren; Da Tausendfüßer Zersetzer sind, ist dies für die natürliche Schädlingskontrolle allerdings nicht relevant. Es ist daher eher wahrscheinlich, dass der Untersuchungszeitraum von einer Vegetationsperiode, analysiert unter Berücksichtigung des Vorjahres, nicht ausreicht um Vorfruchteffekte der Ackerbohne zu messen. Alternativ könnte es sein, dass die Bewirtschafter von der Möglichkeit der reduzierten Bodenbearbeitung nach Ackerbohne keinen Gebrauch gemacht hatten. Da eine Ackerbohnenfruchtfolge fünf bis sechs Jahre dauert, ist es notwendig Schläge mehrjährig, über mindestens eine komplette Fruchtfolge hinweg, zu beproben, um aussagekräftigere Erkenntnisse über die Vorfruchteffekte der Ackerbohne auf Arthropoden zu erzielen (Eyre et al. 2016)

Wie unter 5.2.2 bereits diskutiert ist es wahrscheinlich auf die konventionelle Bewirtschaftung der Schläge zurückzuführen, dass Schadschwellen nicht überschritten wurden.

5.3 Agrarökonomische und pflanzenbauliche Bewertung des Leguminosenanbaus

5.3.1 Wirtschaftlichkeit

Die Ergebnisse des Verfahrensvergleichs zwischen den Ackerbohnen und ihren Referenzkulturen zeigten zunächst, dass die Körnerleguminosen sich im Erntejahr 2017 als eine wirtschaftlich gute Alternative zu dem vergleichsweise intensiv geführten Winterweizen und Raps erwiesen. Die DAL der Ackerbohnen lag im Mittel sogar auf einem höheren Niveau als die der Referenzkulturen. Grund für diese wirtschaftlich guten Leistungen der Ackerbohnen war unter anderem die Berücksichtigung des monetären Vorfruchtwertes, welcher die Wettbewerbsfähigkeit der Ackerbohnen um durchschnittlich 164 €/ha ansteigen ließ. Zudem waren die Produktionskosten (Stickstoffdünger, Pflanzenschutz, Arbeitserledigung) beim Ackerbohnenanbau geringer als beim Anbau der Referenzkulturen. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam auch das DemoNetErBo (Zerhusen-Blecher et al. 2018). In den Erntejahren 2016 und 2017 konnten auf den konventionell geführten Demonstrationsbetrieben unter Berücksichtigung des monetären Vorfruchtwertes ebenfalls gute wirtschaftliche Leistungen der Ackerbohnen nachgewiesen werden. Auch in weiteren Einzelstudien aus Polen (LMC international, 2009), Deutschland (Zilles 2010) und Finnland (Peltonensainio & Niemi 2012) wird die Wettbewerbsfähigkeit von Ackerbohnen und Erbsen gegenüber Getreide beschrieben.

Im Gegensatz dazu bestätigte der Verfahrensvergleich des Erntejahres 2018 die Volatilität in der wirtschaftlichen Leistung dieser Körnerleguminosen (Von Richthofen et al. 2006). Die mittleren Erträge der untersuchten Ackerbohnen-Schläge lagen vergleichsweise auf einem sehr geringen Niveau, die DAL der Körnerleguminosen war trotz Einbezug des Vorfruchtwertes entsprechend im Mittel knapp negativ. Grund für die geringen Erträge war insbesondere die im Frühjahr und Frühsommer 2018 vorherrschende Trockenheit auf den Standorten der Praxisbetriebe. Da Ackerbohnen vor allem in der Blüte anfällig auf Wassermangel und Hitze reagieren, hängt ihre Ertragsleistung stark von den Witterungsbedingungen und der Wasserführung des Bodens ab (Herrmann & Bader 2020). Die Referenzkulturen erwiesen sich dagegen als deutlich trockenresistenter, sodass die Einbußen bei Ertrag und DAL vergleichsweise gering ausfielen. Des Weiteren beeinflusste auch der betriebsindividuell realisierte Preis den Erfolg des Ackerbohnenanbaus. Dieser unterschied sich zwischen den Praxisbetrieben zum Teil deutlich und lag in den Erntejahren 2017 und 2018 zwischen 17 €/dt und 25 €/dt. Zudem reagierte der Ackerbohnenmarkt, anders als beim Getreide, auf die Ertragseinbrüche nicht mit steigenden Preisen, was den wirtschaftlichen Erfolg der Ackerbohnen ebenfalls negativ beeinflusste. Auch Direktzahlungen aus Agrarumweltmaßnahmen (Greening) waren, vermutlich aufgrund des Verbots von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf Ökologischen Vorrangflächen, bei den konventionell wirtschaftenden Praxisbetrieben nicht von Bedeutung. Dabei sind die an den Körnerleguminosenanbau gebundene Zahlungen nicht zu unterschätzende Zusatzeinnahmen, welche die Attraktivität des Leguminosenanbaus deutlich erhöhen können (BMEL 2020). Wie bereits von Zerhusen-Blecher et al. (2018) beschrieben, konnten die Ergebnisse verdeutlichen, dass der ökonomische Erfolg des Ackerbohnenanbaus neben dem erzielten Preis im Wesentlichen vom Ertrag und somit von den gegebenen Standort- und Witterungsbedingungen bestimmt wird. Die

Wirtschaftlichkeit des Leguminosenanbaus kann demzufolge entsprechend der gegebenen Standortbedingungen regional sehr unterschiedlich sein.

Die gute Wettbewerbsfähigkeit der Ackerbohnen im Erntejahr 2017 wurde unter anderem auch von der Berücksichtigung des monetären Vorfruchtwerts bestimmt. Dieser fasst die Vorteile für die nachfolgenden Kulturen in Form eines höheren Ertrages und verringerter Kosten im Bereich Düngung und Bodenbearbeitung zusammen. Insgesamt wurde nach Einschätzung der befragten Betriebsleiter im Durchschnitt der Erntejahre 2017 und 2018 ein Vorfruchtwert von 204 €/ha ermittelt. In der Literatur variiert der Vorfruchtwert von Leguminosen stark und wird mit bis zu 500 €/ha angegeben (Böhm et al. 2020). Grund für diese großen Spannweiten sind vor allem Unterschiede bezüglich der Berechnungsannahmen. Mit ähnlichen Annahmen kalkulierte wiederum das DemoNetErBo. Auf Basis der Daten ihrer Praxisbetriebe errechnete sich für die Ackerbohnen im Durchschnitt der Jahre 2017 bis 2019 ein annähernd ähnlich hoher Vorfruchtwert von 168 €/ha (Zerhusen-Blecher et al. 2020).

5.3.2 Ökonomische und pflanzenbauliche Bewertung der Vorfrucht-, Nachbarschafts- und Landschaftseffekte

Die vielen pflanzenbaulichen Vorteile der Körnerleguminosen auf die nachfolgenden Kulturen wurden in der Literatur bereits umfangreich beschrieben (u. a. Alpmann & Schäfer 2014; Zerhusen-Blecher et al. 2016 und 2018; DAFA 2012). Durch den direkten Vergleich von Winterweizen mit einer Getreidevorfrucht und Winterweizen mit Ackerbohnen als Vorfrucht waren diese Vorfruchteffekte der Ackerbohnen ebenfalls erkennbar. Die durchschnittlichen Erträge der untersuchten Winterweizenschläge mit Ackerbohnen vorfrucht fielen tendenziell um 9 % höher aus. Weiterhin zeigte der Vergleich auch den verringerten Bedarf an Stickstoffdünger in der Folgekultur. Da Ackerbohnen durch Knöllchenbakterien an den Wurzeln in der Lage sind, Stickstoff aus der Luft zu fixieren, enthalten die nach der Ernte auf dem Feld verbleibenden Wurzel- und Pflanzenreste zum Teil hohe Mengen an Stickstoff. Dieser steht den Folgekulturen dann als Stickstoffquelle zur Verfügung (Alpmann & Schäfer 2014). Entsprechend war die eingesetzte Menge an Stickstoffdünger auf den untersuchten Winterweizenschlägen mit einer Ackerbohnen vorfrucht im Mittel um 22 % niedriger. Weiterhin wurde durch den Vergleich auch die reduzierte Intensität der Bodenbearbeitung zur Nachfrucht aufgrund der intensiven Durchwurzelung und guten Bodengare nach Ackerbohnen sowie der verringerte Maschineneinsatz, bedingt durch die Vermeidung von Überfahrten zur N-Düngung, aufgezeigt. Der Arbeitszeitbedarf, Dieselverbrauch sowie Energiebedarf war im Mittel um bis zu 10 % geringer. Ein reduzierter Pflanzenschutzmitteleinsatz in der Folgefrucht von Ackerbohnen konnte im Rahmen dieses Vergleichs nicht nachgewiesen werden. In der Literatur wird diese Leistung allerdings häufig mit den Leguminosen in Verbindung gestellt, da diese den Lebenszyklus von fruchtartenspezifischen Pathogenen durchbrechen und folglich Pflanzenschutzmittel eingespart werden können (Munier-Jolain & Collard 2006; Alpmann & Schäfer 2014).

Der Vergleich von Winterweizen neben Winterweizen und Winterweizen neben Ackerbohnen deutete auf einen weiteren pflanzenbaulichen Vorteil der Ackerbohnen auf die angrenzenden Kulturen hin. Der Vergleich ließ zwar keinen Mehrertrag bei Winterweizen neben Ackerbohnen erkennen, allerdings war die Aufwandmenge an Pflanzenschutzmitteln bei Winterweizen neben Ackerbohnen im Mittel um 18 % geringer.

Ein pflanzenbaulicher Vorteil der Ackerbohnen auf Raps in Ackerbohnenlandschaften war durch den Vergleich von Raps in Ackerbohnenlandschaften mit Raps ohne Ackerbohnen in der Landschaft nicht ersichtlich. Die Auswertung der produktionsspezifischen Daten ergab keinen Mehrertrag bei Raps in Ackerbohnenlandschaften.

Da die bewerteten Schläge zum Vorfrucht-, Nachbarschafts- und Landschaftseffekt teilweise von unterschiedlichen Betriebsleitern bewirtschaftet wurden, ist dadurch allerdings auch ein Einfluss der Managementleistung auf die Ergebnisse nicht auszuschließen. Weiterhin ist anzumerken, dass nicht alle relevanten Schläge zur pflanzenbaulichen und ökonomischen Bewertung der beschriebenen Effekte einbezogen werden konnten. Eine Verallgemeinerungsfähigkeit der Ergebnisse erscheint aus diesem Grund zwar nicht möglich, dennoch zeigen die Vergleiche zum Teil deutliche Tendenzen auf.

5.3.3 Motivation zum Anbau

Die Befragung zur Motivation der Betriebsleiter zum Ackerbohnenanbau bestätigte und ergänzte die weiteren Ergebnisse dieser Studie zu den pflanzenbaulichen Vorteilen der Körnerleguminosen. Als Gründe, sich für den Anbau von Ackerbohnen zu entscheiden, nannten die Befragten am häufigsten die positiven Effekte der Ackerbohnen auf die Fruchtfolge (v. a. Auflockerung und Erweiterung der Fruchtfolge, Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz bzw. Ackerhygiene). Zudem ergab auch die direkte Bewertung der Ackerbohnenleistung, dass die Auflockerung der Fruchtfolge und Erweiterung des Fruchtfolgespektrums als besonders wichtige Leistungen eingestuft werden. Aber auch die Wichtigkeit weiterer Leistungen der Ackerbohnen (v. a. Sicherung der Bodenfruchtbarkeit, Mehrerträge in der Folgekultur, Erhöhung der Artenvielfalt, N-Fixierung, Verringerung des Pflanzenschutzaufwandes zur Folgekultur) kam durch die Bewertung zum Ausdruck. Hierzu wird ebenso auf das Review Böhm et al. (2020) und die Ergebnisse des DemoNetErBo (Zerhusen-Blecher et al. 2018) verwiesen, welche die Effekte der Ackerbohnen auf die Fruchtfolge ebenfalls als besonders wichtige Argumente für den Anbau von Leguminosen bewerten. Eher unwichtig empfanden die Befragten hingegen die Unabhängigkeit vom externen Futterzukauf durch den Anbau von Ackerbohnen. Dies deckt sich allerdings mit der Tatsache, dass 60 % der Praxisbetriebe mit Ackerbohnenanbau keine innerbetriebliche Verwertung der Ackerbohnen verfolgten.

5.3.4 Energie- und Produktionsmitteleinsatz in CO₂-Äquivalente

In Anbetracht der aktuellen Klimadiskussion unterstreicht das Einsparungspotenzial von Treibhausgasemissionen beim Ackerbohnenanbau die Vorzüge dieser Körnerleguminosen. Die Berechnungen der durch den Energie- und Produktionsmitteleinsatz verursachten Treibhausgasemissionen beim Ackerbohnenanbau zeigten deutlich, dass vor allem durch den Verzicht auf mineralischen Stickstoffdünger erhebliche Mengen an Treibhausgasemissionen eingespart werden konnten. Im Vergleich dazu wurden rund 80 % der Treibhausgasemissionen beim Weizen- und Rapsanbau durch den Einsatz von Stickstoffdünger verursacht. Neben CO₂-Emissionen aufgrund des Energieverbrauchs verursachen der Herstellungsprozess des synthetischen Stickstoffdüngers und die Ausbringung auf dem Feld (Mineraldünger und Wirtschaftsdünger) Lachgasemissionen. Wegen der hohen Klimawirksamkeit von

Lachgas (ca. das 300-fache von CO₂) sind diese Lachgasemissionen von besonderer Relevanz für die Treibhausgas-Bilanz (AMG 2011). Die Fähigkeit der Leguminosen den Bedarf an Stickstoffdünger durch die biologische Fixierung von Luftstickstoff zu substituieren und auch den Folgekulturen zur Verfügung zu stellen, beeinflusst die Klimabilanz der Leguminosenfruchtfolge daher deutlich. Aus diesem Grund ist die Erweiterung des Leguminosenanteils in der Fruchtfolge als Maßnahme zum Klimaschutz anerkannt (BMEL 2020; Newell Price et al. 2011; Wang et al. 2018). Der Vergleich zeigte weiter, dass durch den reduzierten Maschineneinsatz (Dieselverbrauch), vor allem bedingt durch die Vermeidung von Überfahrten zum Zwecke der Düngung, ebenfalls CO₂-Emissionen eingespart wurden. Auch die im Rahmen des Vorfruchteffekts bereits dargestellten Einsparungen bezüglich der Stickstoffdüngung und Bodenbearbeitung bei einer Ackerbohnenvorfrucht beeinflussten die Treibhausgas-Bilanz der Folgekultur positiv. Zur ganzheitlichen Bewertung der Klimabilanz von Ackerbohnen ist hingegen zu beachten, dass weitere relevante Emissionsquellen (v. a. Lachgasemissionen durch Pflanzen- und Wurzelrückstände der Ackerbohnen) die Treibhausgas-Bilanz dieser Kulturen bestimmen (Böhm et al. 2020).

5.4 Gemeinsame Schlussfolgerung

5.4.1 Bestäuber und Bestäubungsleistung

Basierend auf den landschaftsskaligen Untersuchungen zur Abundanz und Artenvielfalt von Bestäubern und der von ihnen geleisteten Kulturpflanzenbestäubung konnten wir zeigen, dass nicht alle Wildbienen vom Ackerbohnenanbau profitieren. Der Anbau von Ackerbohne hat sich positiv auf die Hummeln, soziale Wildbienen und Wildbienen, die Pollen an Fabaceae sammeln ausgewirkt. Für die meisten Wildbienen, die nicht der Gattung *Bombus* angehören, zeigte sich jedoch, dass blütenreiche naturnahe Lebensräume von großer Bedeutung für die Abundanz und Artenvielfalt sind. In den Bestäubungsexperimenten mit Ackerbohnen und Raps konnte gezeigt werden, dass Insektenbestäubung positive Effekte auf verschiedene Ertragsparameter haben kann. Diese Effekte werden allerdings durch die Zusammensetzung der Agrarlandschaften beeinflusst. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass der Anbau von Ackerbohnen mit anderen Maßnahmen auf der Landschaftsebene kombiniert werden muss, v.a. der Wiederherstellung und Anlage von blütenreichen, naturnahen Lebensräumen, um langfristig diverse Bestäubergemeinschaften zu erhalten und zu fördern, die für die Bestäubung von blühenden Kulturpflanzen, wie Raps und Ackerbohne, von ökonomischer Bedeutung sind.

5.4.2 Raubarthropoden und natürliche Schädlingskontrolle

Die Untersuchungen der Schädlinge und Raubarthropoden zeigten weniger Effekte des Ackerbohnenanbaus als erwartet. Es wird allerdings deutlich, dass sie höchstwahrscheinlich von der konventionellen Feldbearbeitung maskiert wurden. Damit demonstrieren die Untersuchungen, dass die Erweiterung konventioneller Fruchtfolgen um bestimmte Kulturen nicht *per se* die Biodiversität fördert. Dies ist in der agrarbiologischen Forschung bereits in verschiedenen Zusammenhängen gezeigt und thematisiert worden (z.B. Wäckers & van Rin 2012, Kühl et al. 2020). Die Effekte, die gemessen werden konnten, deuten darauf hin, dass die Ackerbohne nicht aufgrund ihres

Nektar- und Pollenangebots sondern vermutlich eher aufgrund ihrer Pflanzenstruktur förderlich für räuberische Arthropoden sein kann. Ferner kann die Ackerbohne als Quellhabitat für die Gruppe verstanden werden, die von der komplexen Pflanzenstruktur der Ackerbohne profitiert (v.a. Spinnen).

5.4.3 Ökonomische Bewertung

Der Verfahrensvergleich konnte aufzeigen, dass Ackerbohnen in einzelnen Jahren unter Berücksichtigung des monetären Vorfruchtwerts eine wirtschaftlich konkurrenzfähige Alternative zu den Hauptkulturen Weizen und Raps sein können. Die Ertragseinbußen im Erntejahr 2018 machten hingegen deutlich, dass die Erträge und somit der ökonomische Erfolg des Ackerbohnenanbaus stark von den gegebenen Standort- und Witterungsbedingungen (Wasser und Boden) beeinflusst werden. Die hohe Volatilität in der Wirtschaftlichkeit des Ackerbohnenanbaus kam somit auch in dieser Untersuchung zum Ausdruck. Bei der Anbauentscheidung für Ackerbohnen sollten daher vor allem die pflanzenbaulichen Vorteile des Leguminosenanbaus im Vordergrund stehen. Die Befragung ergab, dass nahezu alle Betriebsleiter mit Ackerbohnenanbau die Leistungen dieser Körnerleguminosen auf die Fruchtfolge (v. a. Fruchtfolgeauflockerung und -erweiterung, Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und Ackerhygiene) schätzten.

Die ökonomische und pflanzenbauliche Bewertung der Ökosystemleistungen durch den Vergleich von Schlägen mit und ohne Ackerbohnen in der Vorfrucht, Nachbarschaft oder Landschaft brachte keine eindeutigen neuen Erkenntnisse. Allerdings konnten die bereits bekannten Effekte der Ackerbohnen auf die nachfolgende Kultur (Vorfruchteffekt) bestätigt werden. Zudem zeigten die Ergebnisse, dass der Pflanzenschutzmittelverbrauch bei Weizen neben Ackerbohnen tendenziell geringer war als bei Weizen in Nachbarschaft zu Weizen. Ob dieses Ergebnis in einem direkten Zusammenhang mit den Ackerbohnen in der Nachbarschaft stand, konnte aufgrund der geringen Datengrundlage und möglicher Managementeinflüsse der Betriebsleiter letztlich nicht abgesichert werden. Eine Verringerung des Energie- und Produktionsmitteleinsatzes (v. a. Stickstoffdünger, Pflanzenschutzmittel, Diesel) in der Ackerbohnenfruchtfolge konnte dagegen bestätigt werden. Von besonderer Bedeutung zeigte sich in diesem Zusammenhang der positive Einfluss der Ackerbohnen auf die Klima-Bilanz der Fruchtfolge. Durch Umrechnung des Energie- und Produktionsmitteleinsatzes in CO₂-Äquivalente konnte dargestellt werden, dass vor allem erheblicher Mengen Treibhausgasemissionen, welche im Rahmen der Produktion und der Ausbringung von mineralischem Stickstoffdünger verursacht werden, beim Anbau der Ackerbohnen selbst und bei der nachfolgenden Kultur aufgrund der beschriebenen Vorfruchteffekte eingespart werden können.

5.4.4 Synthese: Ökologische und ökonomische Bewertung des Ackerbohnenanbaus

Abweichend von den eingangs formulierten Hypothesen konnten wir nur positive Effekte des Ackerbohnenanbaus auf Hummeln zeigen. Auf epigäische Raubarthropoden und die regulierenden Ökosystemleistungen (Schädlingskontrolle, Kulturpflanzenbestäubung) zeigten sich unterschiedliche und schwache Effekte des Ackerbohnenanbaus, die durch das lokale Management und die Landschaftszusammensetzung beeinflusst wurden.

Insbesondere für Wildbienen, die nicht zur Gattung *Bombus* gehören, bestätigte sich die Hypothese, dass das Vorhandensein von naturnahen Nist- und Nahrungshabitaten ein wesentlicher Faktor für hohe Abundanzen und Artenvielfalt sind. Die Reproduktionsleistung von Erdhummeln wurde v.a. durch die Pollenernährung und das Vorkommen von Antagonisten und nicht wie angenommen durch Landschaftsfaktoren beeinflusst. Der Bestäubungserfolg von Kulturpflanzen kann durch erhöhte Bestäuberdichten und das Vorkommen von naturnahen Lebensräumen gefördert werden. Neben biotischen Faktoren spielten auch abiotische Faktoren (v.a. die Trockenheit im Jahr 2018) für die Ertragsbildung eine entscheidende Rolle. Dies konnte auch durch die ökonomische Bewertung belegt werden. Die Ertragsleistung und somit der wirtschaftliche Erfolg des Ackerbohnenanbaus wurde deutlich von den Standort- und Witterungsbedingungen beeinflusst. Aus ökonomischer Sicht zeigte sich die Ackerbohne entsprechend bisheriger Erkenntnisse daher nur bedingt als wettbewerbsfähig. Dennoch ist anzunehmen, dass unter anderem die Intensivierung der Beratung, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, wie beispielsweise das DemoNetErBo, dazu beiträgt, die Wirtschaftlichkeit der Leguminosen langfristig zu steigern. Positive Effekte durch Ackerbohne in der Landschaft bzw. Nachbarschaft auf Ökosystemleistungen und daraus resultierende Ressourceneinsparungen und Ertragssteigerungen konnten anhand der Betriebsdaten sowie der Daten zu Bestäubern und Raubarthropoden nicht eindeutig nachgewiesen werden. Mit zunehmendem Anteil an Ackerbohnen in den Landschaften stiegen die Erträge in den Ackerbohnenfeldern. Allerdings wurden die Erträge auch durch Wechselwirkungen zwischen den Bienendichten im Feld und anderen Landschaftsfaktoren beeinflusst. Es zeigte sich auch die Tendenz, dass der Verbrauch an Pflanzenschutzmitteln bei Weizen in Nachbarschaft zu Ackerbohne reduziert ist. Wie bereits beschrieben, ist allerdings auch hier der lokale Managementeinfluss auf das Ergebnis nicht auszuschließen. Die bekannten positiven Effekte der Ackerbohnen auf die Folgekultur (Vorfruchteffekte) sowie das Potenzial, Energie- und Produktionsmittel und somit auch Treibhausgasemissionen in der Ackerbohnenfruchtfolge einzusparen, konnten im Rahmen dieses Vorhabens bestätigt werden.

Auf Basis der vorliegenden ökologischen und ökonomischen Ergebnisse kann geschlussfolgert werden, dass der Effekt der Ackerbohnen auf die Agrobiodiversität und Bestäuberleistung nur bedingt bestätigt werden konnte. Deutlich wurde jedoch, dass die ökologischen und ökonomischen Wirkungen des Ackerbohnenanbaus immer im Zusammenhang mit der Bewirtschaftungsform und umgebenden Landschaft betrachtet werden sollten. Aufgrund der nachgewiesenen positiven Fruchtfolge- und Klimaeffekte kann eine Erweiterung des Leguminosenanteils in der Fruchtfolge trotz alledem einen wesentlichen Beitrag hin zu einer umweltgerechten und ressourcenschonenden Landbewirtschaftung leisten. Auf der Landschaftsebene kann der Anbau von Ackerbohnen zudem einen Beitrag zur Förderung von Hummeln und der Kulturpflanzenbestäubung leisten. Der Anbau von Ackerbohnen und anderen Leguminosen kann für die landwirtschaftlichen Betriebe agronomische Vorteile bieten und einen Beitrag zur Förderung von Bestäubern leisten. Allerdings sollte der Leguminosenanbau mit anderen Maßnahmen (v. a. die Wiederherstellung und der Erhalt von halbnatürlichen Habitaten) kombiniert werden, die nicht nur Hummeln, sondern eine große Vielfalt an Arthropoden in der Agrarlandschaft fördern, die auch für die Bereitstellung von Ökosystemleistungen wie biologische Schädlingskontrolle oder Bestäubung von Relevanz sind.

6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse

6.1 Bestäuber und Bestäubungsleistung

Die Ergebnisse zum Einfluss des Ackerbohnenanbaus auf Bestäuber haben gezeigt, dass der Anbau von Leguminosen allein nicht ausreichend ist, um die Bestäubervielfalt zu erhalten. Im Gegensatz dazu stellte sich heraus, dass halbnatürliche Habitate in der Agrarlandschaft weitaus wichtiger sind als eine bestimmte Massentracht. In den Untersuchungen zeigte sich ein positiver Einfluss des Anteils und des Blütenangebots der naturnahen Habitate auf Bestäuber und ihre Bestäubungsleistung. So wurde die Artenvielfalt und die Dichte von Wildbienen positiv beeinflusst, es bestand ein indirekt positiver Effekt auf den Parasitendruck von Hummelkolonien und es konnte eine Erhöhung der Bienendichten in Ackerbohnenfeldern und gleichzeitig ein erhöhter Bohnenertrag in Landschaften mit einem hohen Anteil an naturnahen Habitaten verzeichnet werden. Da naturnahe Habitate ein diverses und kontinuierliches Blütenangebot für Insekten bieten, sowie auch Nistmöglichkeiten, sind diese Lebensräume von großer Bedeutung zum Erhalt der Bestäuber in Agrarlandschaften und sollten deshalb auch besonders gefördert werden. Da Ackerbohnen nur für bestimmte Bestäubergruppen von Nutzen sind, ist deren Anbau ein guter Zusatz zur Förderung von Hummeln, kann aber keinesfalls die Nahrungs- und Nistmöglichkeiten in naturnahen Habitaten ersetzen. Die vorliegenden Ergebnisse sollten bei der Entwicklung neuer Agrarumweltmaßnahmen berücksichtigt werden, die auf der Landschaftsebene umgesetzt werden. Landwirtschaftliche Betriebe können basierend auf unseren Ergebnissen ihre Flächennutzung optimieren, um Bestäuber und ihre Bestäubungsleistung zu fördern, beispielsweise durch die Anlage von naturnahen Lebensräumen und die Diversifizierung von Fruchtfolgen mit blühenden Kulturpflanzen.

6.2 Arthropoden und natürliche Schädlingskontrolle

Die Ergebnisse der hier dargestellten Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen dem konventionellen Anbau von Ackerbohne und Nützlingen bzw. der natürlichen Schädlingskontrolle sind vor allem von Bedeutung für weitere wissenschaftliche Arbeiten, denn sie zeigen weiteren Forschungsbedarf auf (Bedeutung der Pflanzenstruktur der Ackerbohne für generalistische Räuber, Optimierung des Nutzens von Nachbarschaftseffekten durch kleinräumiges strip cropping). Anstatt direkter Handlungsempfehlungen für die Praxis zeigen die dargestellten Studien die Komplexität auf, die die Entwicklung von sinnvollen Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität innehat. Indirekt lassen sich die Ergebnisse deshalb dahingehend verwerten, dass sie aufzeigen, dass der Anbau der Ackerbohne allein nicht ausreicht, um die Biodiversität in Agrarlandschaften zu fördern. Auch die Bewirtschaftungsformen (insbesondere Pestizideinsatz) und die Struktur der umgebenden Landschaft müssen biodiversitätsfördernd sein, damit die Ackerbohne eine ergänzende Rolle spielen kann.

6.3 Agrarökonomische und pflanzenbauliche Bewertung

Die Ergebnisse zur Auswirkung des Ackerbohnenanbaus auf betriebswirtschaftliche und pflanzenbauliche Kenngrößen brachten zwar keine eindeutigen neuen Erkenntnisse hervor, können aber dennoch als eine Bestätigung der bisherigen Forschungsergebnisse betrachtet werden. Aus diesem Grund können die Ergebnisse den verschiedenen Interessensgruppen als zusätzliche Datengrundlage dienen, z. B. dem DemoNetErBo und anderen Netzwerken im Bereich des Anbaus von Körnerleguminosen, landwirtschaftlichen Beraterverbänden und Landwirten sowie der Politik und Wissenschaft. Speziell die Ergebnisse zu den Vorfruchteffekten der Ackerbohnen und die Unterlegung mit ökonomischen und pflanzenbaulichen Kenngrößen können von der Praxis verwendet werden. Der Nutzen dieser Ergebnisse als weitere Argumentationsgrundlage bei der Anbauentscheidung von Körnerleguminosen kann dabei für die Landwirte von Bedeutung sein. In Anbetracht der aktuellen Klimadiskussion können zudem die Ergebnisse zur Klimawirkung der Leguminosen durch Einsparungen des Energie- und Produktionsmittelverbrauchs unter anderem von verschiedenen öffentlichen Institutionen herangezogen werden. Die Aussagekraft dieser kalkulierten Zahlen ist allerdings begrenzt, da weitere klimarelevante Faktoren des Leguminosenanbaus (z. B. Lachgasemissionen durch Pflanzen- und Wurzelrückstände der Leguminosen) bei der Kalkulation nicht berücksichtigt werden konnten. Dennoch eignen sich die Ergebnisse, um das Potenzial der Leguminosenfruchtfolge auf die Klimabilanz zu verdeutlichen.

7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

7.1 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Bestäuber und ihre Bestäubungsleistung

Die Transektbegehungen wurden 2017 in Untersuchungslandschaften mit und ohne Ackerbohnenanbau durchgeführt. Die Arbeiten zu den Bestäubern und ihrer Bestäubungsleistung setzten somit den Schwerpunkt auf den Anbau von fremdbestäubten Kulturpflanzen (Ackerbohne und Raps). Da Erbsen (*Pisum sativum*) selbstbefruchtend sind, wurde diese Kultur für die Erfassung der Bestäubergemeinschaften und Bestäubungsleistung nicht berücksichtigt. Trotz dieser Änderung des ursprünglich geplanten Versuchsdesigns, konnten wir die Projektziele, d.h. die Untersuchung des Einflusses von Leguminosen (hier Ackerbohnen) auf Bestäubergemeinschaften in unterschiedlichen Lebensräumen, erreichen.

Anstelle der Analyse der Pollenproben der gefangenen Bienen aus den Transektgängen von 2017 wurden die Pollenproben von den Hummeln aus den ausgebrachten Hummelkolonien 2018 genauer analysiert. Es stellte sich heraus, dass nicht genügend der gefangenen Bienen aus 2017 Pollen trugen, um eine fundierte statistische Analyse durchzuführen. Diese Änderung ermöglichte es uns die Ressourcennutzung einer häufigen und generalistischen Hummelart zu analysieren und diese in Bezug zur

Kolonieentwicklung und zum Reproduktionserfolg zu setzen. Zu die Pollenressourcen, die von Honigbienen genutzt werden, gibt es bereits Untersuchungen (z.B. Bänsch et al. 2020a).

Das Bestäubungsexperiment, das zur Quantifizierung der Erträge von Ackerbohnen durchgeführt werden sollte, wurde in je einem Ackerbohnenfeld der elf Untersuchungslandschaften mit Ackerbohnenanbau von 2018 durchgeführt. Zusätzlich fand das Bestäubungsexperiment in einem Rapsfeld in jeder der 17 Untersuchungslandschaften in Niedersachsen statt, um den Einfluss des Anbaus von Massentrachten im aktuellen Jahr (Raps) und in den Vorjahren (Raps + Ackerbohne) auf die Bestäubungsleistung bei Raps zu untersuchen. Die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Landschaftsfaktoren und Ertragskomponenten bieten Anknüpfungspunkte für weitere Studien, da diese Wechselwirkungen bislang wenig untersucht sind.

Da der erfolgreiche Einsatz von Saatgutmischungen zur Förderung von Bestäubern stark von den lokalen Böden und Witterungsverhältnissen abhängt, ist es problematisch eine einheitliche Saatgutmischung für die Bestäuber der Ackerbohne (v. a. Hummeln) und anderen Körnerleguminosen zu entwickeln. Zudem konnte im Rahmen einer Bachelorarbeit gezeigt werden, dass v.a. perennierende Pflanzenarten wichtige Nahrungspflanzen für Hummeln darstellen. Um die Eignung neuer perennierender Saatgutmischungen zur Förderung von Hummeln erfolgreich zu testen, sollten die Blühstreifen in verschiedenen Regionen, über mehrere Jahre und in einer ausreichenden Anzahl von Wiederholungen (mehr als vier Flächen pro Region) angelegt werden. Da dies im zeitlichen Rahmen von RELEVANT nicht möglich war, sollte die Erprobung von Saatgutmischungen für Blühstreifen zur gezielten Förderung von Hummeln und anderen Kulturpflanzenbestäubern in zukünftigen Projekten durchgeführt werden.

Zusätzlich zu den im Antrag geplanten Arbeiten haben wir die Artenvielfalt von hohlraumnistenden Wildbienen (Bestäuber) und Wespen (natürliche Gegenspieler von Schädlingen) in den 22 Landschaften mit und ohne Körnerleguminosen von 2018 aufgenommen (mit insgesamt 440 Nisthilfen). Mit diesen Daten können Aussagen über die Auswirkungen von Körnerleguminosen auf die Artenvielfalt und Abundanz solitärer Bienen und Wespen und deren natürlichen Gegenspielern gemacht werden.

7.2 Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf Raubarthropoden und biologische Schädlingskontrolle

Aufgrund der Ergebnislage aus den Analysen der Biomasse und Aktivitätsdichte der epigäischen Arthropoden in Fruchtfolgen und im Landschaftsmaßstab musste der ursprüngliche Arbeitsplan zur Fekunditätsermittlung von Raubarthropoden und zum Prädatorenausschlussversuch hinterfragt werden. Da sich die Ackerbohne nicht als förderlich für die Arthropoden, insbesondere für Laufkäfer, erwies, war keine messbare Wirkung auf diese Parameter zu erwarten. Daher wurden diese logistisch und zeitlich sehr aufwändigen Arbeiten nicht durchgeführt. Stattdessen wurde der Fokus verlegt und die Untersuchungen der Wirkungen von Ackerbohne auf spezifische Schädlinge und Nützlinge in den Kulturen in der näheren Umgebung (Nachbarschaftseffekte) und Folgefrüchte (Vorfruchteffekte) ausgeweitet. So wurden, statt ursprünglich geplant auf den Flächen von 3 Betriebspaaren, auf 22 Schlagpaaren Nachbarschaftseffekte und auf insgesamt 30 Bohnenweizen- bzw. Winterweizenschlägen Vorfruchteffekte untersucht.

Die Zielorganismen dieser Untersuchungen (Schwebfliegen, Florfliegen, Marienkäfer, Spinnen), Schädlinge (Weizenhähnchen und Blattläuse) und Fraßschäden wurden überdies erweitert. Die Untersuchung der Nachbarschaftseffekte wurde um v.a. weitere Familien der räuberischen Fliegen (Diptera) ergänzt (Tanzfliegen, Buckeltanzfliegen, Langbeinfliegen). Die Untersuchungen der Vorfruchteffekte wurden um die im Schlag überwinterten epigäischen Arthropoden erweitert. Die ursprünglich geplante Bestimmung von Prädationsraten mittels Fraßkarten mussten entfallen, weil hierfür keine Masterstudentin bzw. kein Masterstudent für eine Abschlussarbeit gefunden wurde.

7.3 Agrarökonomische und pflanzenbauliche Bewertung des Leguminosenanbaus

Die im Rahmen der Vegetationsperiode 2018 von den Partnern TI-BD und UGOE erhobene Ertragsdaten waren nur bedingt für eine Bewertung von Mehrerträgen durch die Bestäuberleistung sowie durch Vorfrucht- und Nachbarschaftseffekte geeignet und wurden daher nicht weiter einbezogen. Wesentlich für die Beurteilung von Ertragseffekten sowie der Bodenbearbeitungs-, Dünge- und Pflanzenschutzintensität waren die produktionsspezifischen Daten jener Schläge, die 2018 von den Projektpartnern zur Untersuchung dieser Effekte ausgewählt wurden. Zur Bewertung standen 8 Schläge Winterweizen nach Ackerbohnen und 9 Schläge Winterweizen nach Winterweizen für den Vorfruchteffekt sowie je 8 Schläge Winterweizen neben Ackerbohnen bzw. Winterweizen neben Winterweizen für den Nachbarschaftseffekt zur Verfügung. Für eine Bewertung der Bestäuberleistung konnten die Daten von je 6 Schlägen Raps mit und ohne Ackerbohnen in der Landschaft ausgewertet werden. Aufgrund von Schwierigkeiten in der Betriebsabfrage 2018 konnte die Zielgröße von je 22 Schlägen zur Bewertung der Vorfrucht- und Nachbarschaftseffekte sowie der Bestäuberleistung somit nicht erreicht werden. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse erscheint aus diesem Grund nicht möglich.

Die Bewertung der einzelbetrieblichen Wirtschaftlichkeit von Ackerbohnen und den Auswirkungen des Ackerbohnenanbaus auf die pflanzenbaulichen Aspekte der Bewirtschaftung erfolgte durch einen Vergleich zwischen Ackerbohnen und weiteren Kulturen der Praxisbetriebe. Als Basis wurden zusätzliche produktionsspezifische Vergleichsdaten relevanter Kulturen von den Praxisbetrieben 2017 und 2018 erhoben. Um umfangreiche Aussagen über die pflanzenbaulichen Vorzüge des Ackerbohnenanbaus treffen zu können, wurde zudem die Anbaumotivation und Erfahrung beim Anbau der Ackerbohnen erfragt. Die Erhebung der Betriebsdaten für das Jahr 2017 wurde vollständig abgeschlossen. Dabei handelt es sich um 15 Ackerbohnen-, 15 Stoppelweizen-, 28 Blattfruchtweizen- und 19 Raps-Schläge von insgesamt 31 Betrieben. Für das Jahr 2018 konnten, wie bereits beschrieben, nicht alle relevanten Betriebsdaten ermittelt werden. Für eine Auswertung standen insgesamt die Daten für 68 Schläge, davon 11 Winterraps-, 18 Ackerbohnen- und 39 Winterweizenschläge, von 26 Betrieben zur Verfügung.

Die Betriebsdaten eigneten sich zusätzlich, um Aussagen über den Einfluss von Ackerbohnen auf die Verringerung der Emission von treibhausrelevanten Gasen in der Fruchtfolge treffen zu können. Dazu wurden die durch den Energie- und

Produktionsmitteleinsatz verursachten Treibhausgasemissionen, umgerechnet in CO₂-Äquivalente, aller erhobenen Schläge kalkuliert. Die Darstellung dieser positiven Umweltleistung der Ackerbohnen wurde als interessanter Zusatz in der Bewertung des Leguminosenanbaus erachtet.

Generell sind langfristige Forschungsvorhaben notwendig, um die ökologische und ökonomische Wirkung von diversifizierten Fruchtfolgen über die gesamte Länge der Fruchtfolge zu untersuchen.

8. Zusammenfassung

Ziel von RELEVANT war es, die Wirkungen diversifizierter Fruchtfolgen mit Ackerbohnen auf die Diversität von Bestäubern und Raubarthropoden und die von diesen erbrachten regulierenden Ökosystemleistungen (Bestäubung und natürliche Schädlingskontrolle) zu quantifizieren und ökonomisch zu bewerten.

Die Effekte des Anbaus von Ackerbohnen auf die Vielfalt und Abundanz von Bestäubern und Raubarthropoden wurde mittels eines gepaarten Landschaftsdesigns und stratifizierten Beprobungen der Arthropodengemeinschaften in unterschiedlichen Lebensräumen untersucht. Die Effekte der Landschaftszusammensetzung auf die Bestäubungsleistung und den Reproduktionserfolg von Hummeln und hohlraumnistenden Bienen wurden ebenfalls mit einem gepaarten Landschaftsansatz untersucht. Zudem wurden die Vorfruchteffekte und Nachbarschaftseffekte auf Raubarthropoden und biologische Schädlingskontrolle analysiert. Ökonomische und agronomische Daten wurden anhand von Betriebsbefragungen erhoben.

Die Ergebnisse zeigen, dass v. a. Hummeln vom Ackerbohnenanbau profitieren, andere Wildbienen aber von blütenreichen und naturnahen Lebensräumen in der Agrarlandschaft abhängen. Insektenbestäubung ist ein wichtiger Parameter für die Ertragsbildung bei Ackerbohnen und Raps. Die Ertragskomponenten (Samenzahl, Samengewicht, Ertrag [t/ha]) bei Ackerbohnen wurden durch interagierende Effekte zwischen der Landschaftszusammensetzung und der Bestäuberdichte beeinflusst und waren sortenabhängig. Der Reproduktionserfolg von Hummeln steigt mit der Vielfalt an eingetragenen Pollentypen und sinkt mit zunehmendem Befall durch Wachsmotten. Der Reichtum an Pollentypen hatte v. a. einen positiven Effekt auf die Reproduktion der Hummelkolonien in Landschaften ohne Ackerbohnen. Die biologische Kontrolle von Wachsmotten scheint durch naturnahe Lebensräume gefördert zu werden. Auch für die Abundanz und den Artenreichtum von hohlraumbewohnenden Bienen und Wespen spielen naturnahe Lebensräume, sowie die Zusammensetzung und Konfiguration der Landschaft eine wichtige Rolle.

Insgesamt wurden weniger Effekte als erwartet auf epigäische Raubarthropoden und auf vegetationsbewohnende räuberische / parasitoide Arthropoden gefunden. Ein positiver Nachbarschaftseffekt der Ackerbohne auf vegetationsbewohnende Nützlinge deutet darauf hin, dass Ackerbohnenanbau Nützlinge in der näheren Umgebung fördern kann. Die Aktivitätsdichte von Spinnen war in Landschaften mit Ackerbohne höher als in Landschaften ohne Ackerbohne. Beide Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Ackerbohnenblüte und extrafloralen Nektarien bei der Förderung von räuberischen Arthropoden und Parasitoiden eine untergeordnete Rolle spielt.

Ackerbohnen können in einzelnen Jahren unter Einbezug des monetären Vorfruchtwerts eine wirtschaftlich konkurrenzfähige Alternative zu den übrigen Hauptkulturen sein. Die Ertragseinbußen im Erntejahr 2018 verdeutlichen allerdings, dass die Erträge und somit der wirtschaftliche Erfolg des Ackerbohnenanbaus stark von den gegebenen Standort- und Witterungsbedingungen (Wasser und Boden) beeinflusst wird. Insgesamt erwiesen sich die Ackerbohnen entsprechend bisheriger Erkenntnisse daher nur bedingt als wettbewerbsfähig. Anhand der Betriebsdaten konnten keine eindeutigen Effekte durch Ackerbohnen in der Landschaft bzw. Nachbarschaft auf Ökosystemleistungen und daraus resultierende Ressourceneinsparungen und Ertragssteigerungen nachgewiesen werden. Es zeigte sich hingegen die Tendenz, dass der Verbrauch an Pflanzenschutzmitteln bei Weizen in Nachbarschaft zu Ackerbohnen reduziert ist. Die pflanzenbaulichen Vorzüge (v. a. Auflockerung der Fruchtfolge) des Ackerbohnenanbaus / positiven Effekte der Ackerbohnen auf die Folgekultur konnten bestätigt werden. Der verringerte Bedarf an Energie und Produktionsmitteln (v. a. Stickstoffdünger) in der Ackerbohnenfruchtfolge konnte aufgezeigt werden. Von besonderer Bedeutung erwies sich in diesem Zusammenhang der positive Einfluss der Ackerbohnen auf die Klima-Bilanz der Fruchtfolge.

Unsere Studien zeigen erste Hinweise auf den möglichen Nutzen der Ackerbohne in diversifizierten Fruchtfolgen als Maßnahme zur Förderung von Nützlingen auf. Für die Bestäuber zeigten sich v. a. positive Effekte auf Hummeln und die Bestäubungsleistung an Raps und Ackerbohnen. Zur Förderung anderer Wildbienen, die nicht der Gattung *Bombus* angehören, sind Ackerbohnen wenig geeignet. Trotz der konventionellen Bewirtschaftung sind - wenn auch wenige - Effekte auf die Raubarthropoden gefunden worden. Es bleibt zu untersuchen, ob sich eindeutiger positive Effekte der Ackerbohne bei reduziertem Pestizideinsatz gekoppelt mit unterstützenden Verfahren der Förderung natürlicher Gegenspieler (z. B. Nützlingsblühstreifen, höhere landschaftsstrukturelle Ausstattung) einstellen würden.

Der Anbau von Ackerbohnen bringt landwirtschaftlichen Betrieben agronomische Vorteile. Allerdings zeigte sich auch eine Volatilität in der Wirtschaftlichkeit des Ackerbohnenanbaus. Hinsichtlich der ökologischen Wirkungen sollte der Ackerbohnenanbau mit anderen Maßnahmen (v. a. die Wiederherstellung und der Erhalt von halbnatürlichen Habitaten) kombiniert werden, die nicht nur Hummeln sondern eine große Vielfalt an Arthropoden in der Agrarlandschaft fördern, die auch für die Bereitstellung von Ökosystemleistungen wie biologische Schädlingskontrolle oder Bestäubung von Relevanz sind.

9. Literaturverzeichnis

- Albajes R, Lumbierres B und Pons X, 2009: Responsiveness of arthropod herbivores and their natural enemies to modified weed management in corn. *Environmental entomology* 38 (3), 944-954.
- Albrecht M, Kleijn D, Williams, NM, Tschumi M, Blaauw BR, Bommarco R et al. 2020: The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecology Letters*, 23, 1488-1498.
- Allan E, Bossdorf O, Dormann CF, Prati D, Gossner MM, Tscharntke T, Blüthgen N, Bellach M, Birkhofer K und Boch S, 2014: Interannual variation in land-use intensity enhances grassland multidiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (1), 308-313.

- Alpmann D, Braun J und Schäfer B, 2014: Auswertung einer Analyse der Wirtschaftlichkeit des konventionellen Körnerleguminosenanbaus aus dem Jahr 2013. Erstellt im Rahmen des Projektes LeguAn-Innovative und ganzheitliche Wertschöpfungskonzepte für Lebens- und Futtermittel aus heimischen Körnerleguminosen vom Anbau bis zur Nutzung.
- Alpmann D und Schäfer BC, 2014: Der Wert von Körnerleguminosen im Betriebssystem. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V., Berlin.
- AMG, 2011: Energiemanagement und Klimaschutz in der Landwirtschaft. Agrarmarketinggesellschaft Sachsen-Anhalt GmbH, Magdeburg. https://amg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Sonstige_Webprojekte/AMG/Landwirtschaft/Dateien/Leitfaden-Klima.NEU14.pdf.
- Anderlik-Wesinger, G., Barthel, J., Pfadenhauer, J. & Plachter, H. 1996: Einfluß struktureller und floristischer Ausprägungen von Rainen in der Agrarlandschaft auf die Spinnen (Araneae) der Krautschicht. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, 26, 711-720.
- Bänsch S, Tschardt T, Wünschiers R, Netter L, Brenig B, Gabriel D & Westphal C, 2020a: Using ITS2 metabarcoding and microscopy to analyse shifts in pollen diets of honey bees and bumble bees along a mass-flowering crop gradient. Molecular Ecology, 29, 5003-5018.
- Bänsch S, Tschardt T, Ratnieks FLW, Härtel S, Westphal C, 2020b: Foraging of honey bees in agricultural landscapes with changing patterns of flower resources. Agric. Ecosyst. Environ. 291, 106792. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106792>.
- Bartomeus I, Potts SG, Steffan-Dewenter I, Vaissière BE, Wojciechowski M, Kremen KM, Tscheulin T, Roberts SPM, Szentgyörgyi H, Westphal C und Bommarco R, 2014: Contribution of insect pollinators to crop yield and quality varies with agricultural intensification. PeerJ 2, e328.
- Basedow T 1991: Abundanz, Biomasse und Artenzahl epigäischer Raubarthropoden auf unterschiedlich intensiv bewirtschafteten Weizen- und Rübenfeldern: Unterschiede und ihre Ursachen. Ergebnisse eines dreistufigen Vergleichs in Hessen, 1985-1988. Zool. Jb. Syst., 118, 87-116.
- Bates D, Maechler M, Bolker B und Walker S, 2014: lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4. R package version 1 (7).
- Beduschi T, Tschardt T und Scherber C, 2015: Using multi-level generalized path analysis to understand herbivore and parasitoid dynamics in changing landscapes. Landscape Ecology 30 (10), 1975-1986.
- Bengtsson J, 2015: Biological control as an ecosystem service: Partitioning contributions of nature and human inputs to yield. Ecological Entomology 40 (S1), 45-55.
- Bengtsson J, Ahnström J und Weibull A-C, 2005: The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. Journal of Applied Ecology 42 (2), 261-269.
- Beug H-J, 2004: Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. Verlag Dr. Friederich Pfeil, München.
- Beyer N, Gabriel D, Kirsch F, Schulz-Kesting K, Dauber J, Westphal C, 2020: Functional groups of wild bees respond differently to faba bean *Vicia faba* L. cultivation at landscape scale. J. Appl. Ecol. 57: 2499-2508. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13745>
- Birkhofer K, Diehl E, Andersson J, Ekroos J, Früh-Müller A, Machnikowski F, Mader VL, Nilsson L, Sasaki K und Rundlöf M, 2015: Ecosystem services—current challenges and opportunities for ecological research. Frontiers in Ecology and Evolution 2, 87.
- BMEL, 2012: Eiweißpflanzenstrategie des BMELV. Berlin, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: 13.
- BMEL, 2015a: Richtlinie zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie von Maßnahmen zum Technologie- und Wissenstransfer für eine nachhaltige Erzeugung, Verarbeitung und Vermarktung von landwirtschaftlichen Produkten. Vom 29. Juli 2015. BAnz AT 04.08.2015 B1. Berlin, Bundesanzeiger. BAnz AT 04.08.2015 B1.
- BMEL, 2015b: Umsetzung der EU-Agrarreform in Deutschland. Ausgabe 2015. Bonn, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): 122.

- BMEL, 2020: Ackerbohne, Erbse & Co. - Die Eiweißpflanzenstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft zur Förderung des Leguminosenanbaus in Deutschland. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin.
- BMELV, 2009: Agrobiodiversität erhalten, Potenziale der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft erschließen und nachhaltig nutzen. Bonn, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV).
- Bohac, J. (1999): Staphylinid beetles as bioindicators. In: *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes* (ed. Paoletti, MG). Elsevier Amsterdam, pp. 357-372.
- Bommarco R, 1998: Reproduction and energy reserves of a predatory carabid beetle relative to agroecosystem complexity. *Ecological Applications* 8 (3), 846-853.
- Bourassa S, Carcamo HA, Larney FJ und Spence JR, 2008: Carabid Assemblages (Coleoptera: Carabidae) in a Rotation of Three Different Crops in Southern Alberta, Canada: A Comparison of Sustainable and Conventional Farming. *Environmental Entomology* 37 (5), 1214-1223.
- Böhm H, Dauber J, Dehler M, Amthauer Gallardo DA, de Witte T, Fuß R, Höppner F, Langhof M, Rinke N, Rodemann B, Rühl G und Schittenhelm S, 2020: Fruchtfolgen mit und ohne Leguminosen: ein Review. *Journal für Kulturpflanzen*, 72 (10-11), 489–509.
- Brust GE, Stinner BR und McCartney DA, 1986: Predator activity and predation in corn agroecosystems. *Environmental Entomology* 15 (5), 1017-1021.
- Bugg, R.L., Ellis, R.T. & Carlson, R.W. 1989: Ichneumonidae (Hymenoptera) Using Extrafloral Nectar of Faba Bean (*Vicia Faba L.*, Fabaceae) in Massachusetts. *Biological Agriculture & Horticulture*, 6, 107-114.
- Bundesregierung D, 2002: Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin, Presse- und Informationsamt der Bundesregierung: 328.
- Bundesregierung D, 2012: Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Fortschrittsbericht 2012. Berlin, Presse- und Informationsamt der Bundesregierung: 260.
- Cárcamo HA und Spence JR, 1994: Crop type effects on the activity and distribution of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Environmental entomology* 23 (3), 684-692.
- DAFA, 2012: Fachforum Leguminosen. Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft - Ökosystemleistungen von Leguminosen wettbewerbsfähig machen. Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. Braunschweig, Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA).
- Dainese M, Riedinger V, Holzschuh A, Kleijn D, Scheper J, & Steffan-Dewenter I, 2018: Managing trap-nesting bees as crop pollinators: Spatiotemporal effects of floral resources and antagonists. *Journal of Applied Ecology*, 55, 195– 204. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12930>.
- Diekötter T, Peter F, Jauker B, Wolters V, Jauker F 2014: Mass-flowering crops increase richness of cavity-nesting bees and wasps in modern agro-ecosystems. *GCB Bioenergy* 6: 219–226. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12080>.
- Dauber J, Klimek S und Schmidt TG, 2016: Konzept für ein Biodiversitätsmonitoring Landwirtschaft in Deutschland. Thünen Working Paper.
- Diehl E, Mader VL, Wolters V & Birkhofer K, 2013: Management intensity and vegetation complexity affect web-building spiders and their prey. *Oecologia*, 173, 579-589.
- Duc G, Agrama H, Bao S, Berger J, Bourion V, De Ron AM, Gowda CL, Mikic A, Millot D und Singh KB, 2015: Breeding annual grain legumes for sustainable agriculture: new methods to approach complex traits and target new cultivar ideotypes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 34 (1-3), 381-411.
- DuPont ST, Ferris H und Van Horn M, 2009: Effects of cover crop quality and quantity on nematode-based soil food webs and nutrient cycling. *Applied Soil Ecology* 41 (2).
- Ecoinvent, 2011: Datenbank Version 2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zürich.
- Ecoinvent, 2013: Datenbank Version 3.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zürich.
- Elmqvist T, Folke C, Nyström M, Peterson G, Bengtsson J, Walker B und Norberg J, 2003: Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1 (9), 488-494.

- Erdtman G, 1969: Handbook of Palynology, an introduction to the study of pollen grains and spores. Copenhagen, Munksgaard.
- Everwand G, Cass S, Dauber J, Williams M und Stout J, 2017: Biodiversity and ecosystem services in legume-supported cropping. In: Legumes in Cropping Systems. CABI.
- Eyre MD, McMillan SD & Critchley CNR. 2016: Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) as indicators of change and pattern in the agroecosystem: Longer surveys improve understanding. *Ecological Indicators*, 68, 82-88.
- Eyre MD, Luff ML, Atlihan R & Leifert C 2012: Ground beetle species (Carabidae, Coleoptera) activity and richness in relation to crop type, fertility management and crop protection in a farm management comparison trial. *Annals of Applied Biology*, 161, 169-179.
- Eyre MD, Sanderson RA, Shotton PN und Leifert C, 2009: Investigating the effects of crop type, fertility management and crop protection on the activity of beneficial invertebrates in an extensive farm management comparison trial. *Annals of Applied Biology* 155 (2), 267-276.
- Frederick, J.R. & Bauer, P.J. 1999: Physiological and numerical components of wheat yield. In: *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination* (eds. Satorre, EH & Slafer, GA). Food Products Press, an Imprint of Haworth Press Inc. New York, London, Oxford.
- Free J, 1993: *Insect Pollination of Crops*. 2nd Revised edition edition. Auflage London, UK, Academic Press Ltd.
- Gámez-Virués S, Perović DJ, Gossner MM, Börschig C, Blüthgen N, Jong Hd, Simons NK, Klein A-M, Krauss J, Maier G, Scherber C, Steckel J, Rothenwöhler C, Steffan-Dewenter I, Weiner CN, Weisser W, Werner M, Tschardt T und Westphal C, 2015: Landscape simplification filters species traits and drives biotic homogenization. *Nature communications* 6, 8568.
- Garibaldi LA, Steffan-Dewenter I, Winfree R, Aizen MA, Bommarco R, Cunningham SA, Kremen C, Carvalheiro LG, Harder LD, Afik O, Bartomeus I, Benjamin F, Boreux V, Cariveau D, Chacoff NP, Dudenhoefter JH, Freitas BM, Ghazoul J, Greenleaf S, Hipolito J, Holzschuh A, Howlett B, Isaacs R, Javorek SK, Kennedy CM, Krewenka KM, Krishnan S, Mandelik Y, Mayfield MM, Motzke I, Munyuli T, Nault BA, Otieno M, Petersen J, Pisanty G, Potts SG, Rader R, Ricketts TH, Rundlof M, Seymour CL, Schuepp C, Szentgyoergyi H, Taki H, Tschardt T, Vergara CH, Viana BF, Wanger TC, Westphal C, Williams N und Klein AM, 2013: Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science* 339 (6127), 1608-1611.
- Geiger F, Bengtsson J, Berendse F, Weisser WW, Emmerson M, Morales MB, Ceryngier P, Liira J, Tschardt T, Winqvist C, Eggers S, Bommarco R, Part T, Bretagnolle V, Plantegenest M, Clement LW, Dennis C, Palmer C, Onate JJ, Guerrero I, Hawro V, Aavik T, Thies C, Flohre A, Hanke S, Fischer C, Goedhart PW und Inchausti P, 2010: Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* 11 (2), 97-105.
- Geisler G, 1988: *Pflanzenbau: Ein Lehrbuch - Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion*, 2nd ed. Paul Parey, Berlin; Hamburg.
- Grosse F, Léon J, Diepenbrock W, 1992: Ertragsbildung und Ertragsstruktur bei Winterraps (*Brassica napus* L.) II. Vergleich zwischen Elternlinien und deren F1- und F2-Generationen. *J. Agron. Crop Sci.* 169, 94–103. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1992.tb01187.x>
- Haaland C, Naisbit RE und BERSIER LF, 2011: Sown wildflower strips for insect conservation: a review. *Insect Conservation and Diversity* 4 (1), 60-80.
- Hallmann CA, Sorg M, Jongejans E, Siepel H, Hofland N, Schwan H et al. 2017: More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE*, 12, e0185809.
- Harwood JD, Phillips SW, Lello J, Sunderland KD, Glen DM, Bruford MW, Harper GL und Symondson WO, 2009: Invertebrate biodiversity affects predator fitness and hence potential to control pests in crops. *Biological Control* 51 (3), 499-506.
- Haschek C, Drapela T, Schuller N, Fiedler K und Frank T, 2012: Carabid beetle condition, reproduction and density in winter oilseed rape affected by field and landscape parameters. *Journal of Applied Entomology* 136 (9), 665-674.

- Herbertsson L, Lindström SAM, Rundlöf M, Bommarco R, Smith HG, 2016: Competition between managed honeybees and wild bumblebees depends on landscape context. *Basic Appl. Ecol.* 17, 609–616. <https://doi.org/10.1016/j.baee.2016.05.001>.
- Herrmann J und Bader J, 2020: Körnerleguminosen und Klimawandel, DemoNet Erbse/Bohne. FiBL Projekte GmbH, Frankfurt am Main. https://www.demoneterbo.agrarpraxisforschung.de/fileadmin/user_upload/Bilder/DemoNetErBo_Klimawandel_Koernerleguminosen20200406.pdf.
- Holzschuh A. et al. 2010: How do landscape composition and configuration , organic farming and fallow strips affect the diversity of bees, wasps and their parasitoids? *Journal of Applied Ecology* 79: 491-500.
- Holzschuh A, Dainese M, González-Varo JP, Mudri-Stojnić S, Riedinger V, Rundlöf M, Scheper J, Wickens JB, Wickens VJ, Bommarco R, Kleijn D, Potts SG, Roberts SPM, Smith HG, Vilà M, Vujić A, Steffan-Dewenter I, 2016: Mass-flowering crops dilute pollinator abundance in agricultural landscapes across Europe. *Ecol. Lett.* 19, 1228–1236. <https://doi.org/10.1111/ele.1265>.
- IFEU, 2008: Criteria for a Sustainable Use of Bioenergy on a Global Scale. In Kooperation mit FSC Arbeitsgruppe Deutschland und Kerstin Lanje, Germanwatch. Im Auftrag des Umweltbundesamts, FKZ 206 41 112, Heidelberg, Freiburg, Bonn.
- IPCC, 2006: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). IGES, Japan.
- Kämper W, Werner PK, Hilpert A, Westphal C, Blüthgen N, Eltz T und Leonhardt SD, 2016: How landscape, pollen intake and pollen quality affect colony growth in *Bombus terrestris*. *Landscape Ecology*, 1-14.
- Kendall ADA, Smith BD, 1975: The Pollinating Efficiency of Honeybee and Bumblebee Visits to Field Bean Flowers (*Vicia faba* L.) 12, 709–717.
- Kennedy CM, Lonsdorf E, Neel MC, Williams NM, Ricketts TH, Winfree R, Bommarco R, Brittain C, Burley AL und Cariveau D, 2013: A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology letters* 16 (5), 584-599.
- Klatt BK, Holzschuh A, Westphal C, Clough Y, Smit I, Pawelzik E und Tschardt T, 2014: Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. *Proc. R. Soc. B, The Royal Society*. DOI: 10.1098/rspb.2013.2440.
- Kleijn D, Winfree R, Bartomeus I, Carvalheiro LG, Henry M, Isaacs R, Klein A-M, Kremen C, M'gonigle LK und Rader R, 2015: Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nature communications* 6.
- Klein A-M, Vaissiere BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C und Tschardt T, 2007: Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 274 (1608), 303-313.
- Kremen C und Miles A, 2012: Ecosystem Services in Biologically Diversified versus Conventional Farming Systems: Benefits, Externalities, and Trade-Offs. *Ecology and Society* 17 (4).
- Kromp, B. 1999: Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. 187 - 228.
- KTBL 2017: Leistungs-Kostenrechnung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt. <https://daten.ktbl.de/downloads/dslkr/Leistungs-Kostenrechnung.pdf>.
- KTBL 2018: Faustzahlen für die Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (15, Darmstadt).
- KTBL 2019: KTBL-Feldarbeitsrechner. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V (KTBL), Darmstadt. <https://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html>.
- Lindström SAM, Herbertsson L, Rundlöf M, Bommarco R, Smith HG, 2016: Experimental evidence that honeybees depress wild insect densities in a flowering crop. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 283, 1–8. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.1641>

- Link W, 1990: Autofertility and rate of cross-fertilization: crucial characters for breeding synthetic varieties in faba beans (*Vicia faba* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 79 (5), 713-717.
- LMC International, 2009: Evaluation of Measures Applied Under the Common Agricultural Policy to the Protein Crop Sector. In: Case Study Monographs. LMC International, New York, Oxford, Kuala Lumpur. http://ec.europa.eu/agriculture/eval/reports/protein_crops/.
- Lütke-Entrup N, Schneider M, Stemann G, Gröblichhoff F, Heißenhuber A, Pahl H, Hülsbergen K, Maidl F, Herr H und Sommer C, 2006: Bewertung von neuen Systemen der Bodenbewirtschaftung in erweiterten Fruchtfolgen mit Körnererbsen und Körnerleguminosen. Abschlussbericht über die Versuchsjahre 2001–2005. Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest, 215.
- LWK Niedersachsen 2017: Pflanzenbau und Pflanzenschutz - Empfehlungen. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Geschäftsbereich Landwirtschaft, 3.7 Pflanzenschutzamt und 3.8 Pflanzenbau, Saatgut.
- LWK Niedersachsen, 2017b: Richtwert-Deckungsbeiträge 2017. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg.
- LWK Niedersachsen, 2018: Richtwert-Deckungsbeiträge 2018. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg.
- Maloolf JE, Inouye DW, 2000: ARE NECTAR ROBBERS CHEATERS OR MUTUALISTS? *Ecology* 81.
- Marasas ME, Sarandón SJ & Cicchino AC 2001: Changes in soil arthropod functional group in a wheat crop under conventional and no tillage systems in Argentina. *Applied Soil Ecology*, 18, 61-68.
- Marzinzig B, Brünjes L, Biagioni S, Behling H, Link W, Westphal C, 2018: Bee pollinators of faba bean (*Vicia faba* L.) differ in their foraging behaviour and pollination efficiency. *Agric Ecosyst Environ* 264: 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.003>.
- Meyer M, Ott D, Götze P, Koch H-J & Scherber C 2019: Crop identity and memory effects on aboveground arthropods in a long-term crop rotation experiment. *Ecology and Evolution*, 9, 7307-7323.
- Munier-Jolain N und Collard A, 2006: Grain legumes and weed management in crop rotations: opportunities and methodologies for reducing environmental impacts of weed control. In: Grain legumes and the environment: how to assess benefits and impacts? AEP (Eds.) Zürich, Switzerland, AEP and FAL, 67-72.
- Michener CD 2007: The bees of the world, 2nd edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Nayak GK, Roberts SPM, Garratt M, Breeze TD, Tscheulin T, Harrison-Cripps J, Vogiatzakis IN, Stirpe MT und Potts SG, 2015: Interactive effect of floral abundance and semi-natural habitats on pollinators in field beans (*Vicia faba*). *Agric. Ecosyst. Environ.* 199, 58-66.
- Nemecek T, Charles R, Alföldi T, Klaus G und Tschamper D, 2005: Ökobilanzierung von Anbausystemen im schweizerischen Acker-und Futterbau. Agroscope FAL Reckenholz Zürich, Schriftenreihe der FAL.
- Newell Price JP, Harris D, Taylor M, Williams JR, Anthony SG, Duethmann D, Gooday RD, Lord E, Chambers BJ, Chadwick DR und Misselbrook TH, 2011: An Inventory of Mitigation Methods and Guide to their Effects on Diffuse Water Pollution, Greenhouse Gas Emissions and Ammonia Emissions from Agriculture, Prepared as part of Defra project WQ0106. <https://www.feedadviserregister.org.uk/latest-documents/mitigation-methods--user-guide/mitigationmethods-userguidedecember2011final.pdf>.
- Nuessly GS, Hentz MG, Beiriger R & Scully BT 2004: Insects associated with faba bean, *Vicia faba* (Fabales: Fabaceae), in southern Florida. *Florida Entomologist*, 87, 204-211.
- Öberg S, 2009: Influence of landscape structure and farming practice on body condition and fecundity of wolf spiders. *Basic and Applied Ecology* 10 (7), 614-621.
- Oksanen J, Kindt R, Legendre P, O'Hara B, Stevens MHH, Oksanen MJ und Suggests M, 2007: The vegan package. *Community ecology package* 10.

- Östman Ö, Ekbom B, Bengtsson J und Weibull A-C, 2001: Landscape complexity and farming practice influence the condition of polyphagous carabid beetles. *Ecological Applications* 11 (2), 480-488.
- Peltonen-Sainio P und Niemi JK, 2012: Protein crop production at the northern margin of farming: to boost or not to boost. *Agricultural and Food Science* 21, 370-383.
- Perović D, Gámez-Virués S, Börschig C, Klein AM, Krauss J, Steckel J, Rothenwöhler C, Erasmí S, Tschardtke T und Westphal C, 2015: Configurational landscape heterogeneity shapes functional community composition of grassland butterflies. *Journal of Applied Ecology* 52 (2), 505-513.
- Pöhlitz B, Reike HP, 2019: Studies on Biology and Infestation Dynamics of the Bean Seed Beetle (Coleoptera, Bruchidae: *Bruchus Rufimanus*) in Saxony. *Gesunde Pflanz.* 79–85. <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00459-5>.
- Preissel S, Reckling M, Schläfke N und Zander P, 2015: Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. *Field Crops Research* 175 (0), 64-79.
- Rand TA, Tylianakis JM & Tschardtke T 2006: Spillover edge effects: the dispersal of agriculturally subsidized insect natural enemies into adjacent natural habitats. *Ecology Letters*, 9, 603-614.
- R CoreTeam 2018: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- R Core Team, 2013: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rahmann G, 2011: Biodiversity and Organic farming: What do we know? *Landbauforschung* 61 (3), 189-208.
- Requier F, Odoux JF, Tamic T, Moreau N, Henry M, Decourtye A, Bretagnolle V, 2015: Honey bee diet in intensive farmland habitats reveals an unexpectedly high flower richness and a major role of weeds. *Ecol. Appl.* 25, 881–890. <https://doi.org/10.1890/14-1011.1>.
- Riedinger V, Mitesser O, Hovestadt T, Steffan-Dewenter I und Holzschuh A, 2015: Annual dynamics of wild bee densities: attractiveness and productivity effects of oilseed rape. *Ecology* 96 (5), 1351-1360.
- Rusch A, Chaplin-Kramer R, Gardiner MM, Hawro V, Holland J, Landis D et al. 2016: Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 198-204.
- Samnegård U, Hambäck PA, Lemessa D, Nemomissa S, Hylander K, 2016: A heterogeneous landscape does not guarantee high crop pollination. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 283. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.1472>
- Saska P, Koprđova S, Martinkova Z und Honěk A, 2014: Comparing methods of weed seed exposure to predators. *Annals of applied biology* 164 (2), 301-312.
- Schäfer BC, Braun J, Zerhusen-Blecher P und Kramps-Alpmann D, 2015: LeguAN - Innovative und ganzheitliche Wertschöpfungskonzepte für funktionelle Lebens- und Futtermittel aus heimischen Körnerleguminosen vom Anbau bis zur Nutzung: Arbeitspakete 2 und 7: Schlussbericht Teil I zum Verbundvorhaben: Laufzeit: 01.10.2011-30.03.2015. Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft: 37.
- Schmidt MH, Lauer A, Purtauf T, Thies C, Schaefer M und Tschardtke T, 2003: Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 270 (1527), 1905-1909.
- Schweiger O, Biesmeijer JC, Bommarco R, Hickler T, Hulme PE, Klotz S, Kühn I, Moora M, Nielsen A und Ohlemüller R, 2010: Multiple stressors on biotic interactions: how climate change and alien species interact to affect pollination. *Biological Reviews* 85 (4), 777-795.
- Senapathi D, Biesmeijer JC, Breeze TD, Kleijn D, Potts SG und Carvalheiro LG, 2015: Pollinator conservation—the difference between managing for pollination services and preserving pollinator diversity. *Current Opinion in Insect Science* 12, 93-101.
- Shaw RF, Phillips BB, Doyle T, Pell JK, Redhead JW, Savage J, Woodcock BA, Bullock JM, Osborne JL, 2020: Mass-flowering crops have a greater impact than semi-natural habitat on

- crop pollinators and pollen deposition. *Landsc. Ecol.* 35, 513–527. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00962-0>.
- Spiegel A-K, Gronle A, Arncken C, Bernhardt T, Heß J, Schmack J, Schmid J, Spory K und Wilbois K-P, 2014: Leguminosen nutzen-Naturverträgliche Anbaumethoden aus der Praxis.
- Statistisches Bundesamt, 2019: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Wachstum und Ernte, Feldfrüchte. Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, R 3.2.1, Wiesbaden.
- Steckel J, Westphal C, Peters MK, Bellach M, Rothenwoehrer C, Erasmi S, Scherber C, Tschardt T und Steffan-Dewenter I, 2014: Landscape composition and configuration differently affect trap-nesting bees, wasps and their antagonists. *Biol. Conserv.* 172, 56-64.
- Steffan-Dewenter I, Münzenberg U, Bürger C, Thies C, Tschardt T, 2002: Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology* 83: 1421–1432. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[1421:SDEOLC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[1421:SDEOLC]2.0.CO;2)
- Steffan-Dewenter I & Schiele S, 2008: Do resources or natural enemies drive bee population dynamics in fragmented habitats? *Ecology* 89: 1375-1387.
- Suso M, Nadal S, Roman B und Gilsanz S, 2008: *Vicia faba* germplasm multiplication–floral traits associated with pollen-mediated gene flow under diverse between-plot isolation strategies. *Annals of Applied Biology* 152 (2), 201-208.
- TREMOD, 2010: Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMOD, Version 5). Endbericht des IFEU-Institutes Heidelberg im Auftrag des Umweltbundesamtes. Institut für Energie -und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg.
- Tschardt T, Klein AM, Krüess A, Steffan-Dewenter I und Thies C, 2005: Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters* 8 (8), 857-874.
- Tschardt T, Tylianakis JM, Rand TA, Didham RK, Fahrig L, Batary P, Bengtsson J, Clough Y, Crist TO und Dormann CF, 2012: Landscape moderation of biodiversity patterns and processes-eight hypotheses. *Biological Reviews* 87 (3), 661-685.
- Tschumi M, Albrecht M, Bärtschi C, Collatz J, Entling MH und Jacot K, 2016a: Perennial, species-rich wildflower strips enhance pest control and crop yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 220, 97-103.
- Tschumi M, Albrecht M, Collatz J, Dubsy V, Entling MH, Najar-Rodriguez AJ und Jacot K, 2016b: Tailored flower strips promote natural enemy biodiversity and pest control in potato crops. *Journal of Applied Ecology*.
- Twardowski JP, Gruss I & Hurej M 2020: Does vegetation complexity within intensive agricultural landscape affect rove beetle (Coleoptera: Staphylinidae) assemblages? *Biocontrol Science and Technology*, 30, 116-131.
- Uetz GW, Halaj J und Cady AB, 1999: Guild structure of spiders in major crops. *Journal of Arachnology* 27 (1), 270-280.
- Von Richthofen JS, Pahl H, Bouttet D, Casta P, Cartryse C, Charles R und Lafarga A, 2006: What do European farmers think about grain legumes. *Grain Legumes* 45, 4-15.
- Wang L, Cutforth H, Lal R, Chai Q, Zhao C, Gan YT und Siddique KHM, 2018: 'Decoupling' land productivity and greenhouse gas footprints: A review. *Land Degradation and Development* 29, 4348-4361.
- Wäckers FL & van Rijn PCJ, 2012: Pick and Mix: Selecting Flowering Plants to Meet the Requirements of Target Biological Control Insects. In: *Biodiversity and Insect Pests* (eds. Gurr, GM, Wratten, SD, Snyder, WE & Read, DMY), pp. 139-165.
- Weiss MJ, Balsbaugh EU, French EW und Hoag KB, 1990: Influence of tillage management and cropping system on ground beetle (Coleoptera: Carabidae) fauna in the northern great plains. *Environmental Entomology* 19 (5), 1388-1391.
- Westphal C, Bommarco R, Carré G, Lamborn E, Morison N, Petanidou T, Potts SG, Roberts SPM, Szentgyörgyi H, Tscheulin T, Vaissière BE, Woyciechowski M, Biesmeijer JC, Kunin WE, Settele J und Steffan-Dewenter I, 2008: Measuring bee diversity in different European habitats and biogeographical regions. *Ecological Monographs* 78, 653-671.

- Westphal C, Steffan-Dewenter I und Tschardt T, 2003: Mass flowering crops enhance pollinator densities at a landscape scale. *Ecology Letters* 6 (11), 961-965.
- Westphal C, Steffan-Dewenter I und Tschardt T, 2009: Mass flowering oilseed rape improves early colony growth but not sexual reproduction of bumblebees. *Journal of Applied Ecology* 46 (1), 187-193.
- Westphal C, Vidal S, Horgan FG, Gurr GM, Escalada M, Van Chien H, Tschardt T, Heong KL und Settele J, 2015: Promoting multiple ecosystem services with flower strips and participatory approaches in rice production landscapes. *Basic and Applied Ecology* 16 (8), 681-689.
- Winfrey R, W Fox J, Williams NM, Reilly JR und Cariveau DP, 2015: Abundance of common species, not species richness, drives delivery of a real-world ecosystem service. *Ecology letters* 18 (7), 626-635.
- Zerhusen-Blecher P und Schäfer BC, 2013: Stand des Wissens und Ableitung des Forschungsbedarfes für eine nachhaltige Produktion und Verwertung von Ackerbohne und Erbse. <http://orgprints.org/23003/>, Fachhochschule Südwestfalen, D-Soest.
- Zerhusen-Blecher P, Kramps-Alpmann D, Rohn S, Braun J und Schäfer BC, 2016: LeguAN– Innovative und ganzheitliche Wertschöpfungskonzepte für funktionelle Lebens- und Futtermittel aus heimischen Körnerleguminosen vom Anbau bis zur Nutzung (Arbeitspakete 2 und 7). *Forschungsberichte des Fachbereichs Agrarwirtschaft Soest*, Nr.41.
- Zerhusen-Blecher P, Stevens K, Schäfer BC und Braun J, 2018: Wirtschaftlichkeit Erbsen und Ackerbohnen – lohnenswerte Kulturen, DemoNet Erbse/Bohne. FiBL Projekte GmbH, Frankfurt am Main. <http://www.demoneterbo.agrarpraxisforschung.de/index.php?id=301>.
- Zerhusen-Blecher P, Stevens K, Braun J und Schäfer T, 2020: Wirtschaftlichkeit des Anbaus von Ackerbohnen und Erbsen, Praxis trifft Forschung - ein Netzwerk für Erbsen und Bohnen. Online Veranstaltung, 28.10.2020.
- Zilles P, 2010: Futtererbsen, eine Anbaualternative zu Braugerste. Dienstleistungszentren Ländlicher Raum Rheinland-Pfalz. <https://www.beeweather.net/Internet/global/themen.nsf/print/edee880a3a786e65c125771100415795?OpenDocument&ExpandSection=4.1,3.1,4.4,2,3.2,5,6,7,8,9>.
- Zou Y, Xiao H, Bianchi FJJA, Jauker F, Luo S, van der Werf W, 2017: Wild pollinators enhance oilseed rape yield in small-holder farming systems in China. *BMC Ecol.* 17, 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12898-017-0116-1>.

10. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt

10.1 Artikel in wissenschaftlichen Zeitschriften (*peer review*)

10.1.1 Veröffentlichte Artikel

- Beyer N, Gabriel D, Kirsch F, Schulz-Kesting K, Dauber J, Westphal C, 2020: Functional groups of wild bees respond differently to faba bean *Vicia faba* L. cultivation at landscape scale. *Journal of Applied Ecology* 57: 2499-2508. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13745>

10.1.2 Eingereichte Manuskripte

- Beyer N*, Kirsch F*, Gabriel D, Westphal C, eingereicht: Identity of mass-flowering crops moderates functional trait composition of pollinator communities.* *equally contributing authors*
- Beyer N, Gabriel D, Westphal C, eingereicht: Past and present mass-flowering crop cultivation show contrasting effects on bee pollinators, which shape yield components in oilseed rape.
- Schulz-Kesting K, Thiele J, Everwand G, Dauber J, eingereicht: Neighbourhood effect of faba bean (*Vicia faba* L.) on density of vegetation-dwelling natural biocontrol agents in winter wheat.
- Schweiger SE, Beyer N, Hass AL, Westphal C, eingereicht: How landscape composition, mass flowering crops, pollen type richness and parasitism influence the colony size and reproductive success of bumblebees.

10.1.3 Manuskripte in Vorbereitung

- Schulz-Kesting K, Gabriel D, Beyer N, Kirsch F, Everwand G, Westphal C, Dauber J, in Vorbereitung: Epigaeic arthropod activity density and carabid diversity in landscapes with and without faba bean (Arbeitstitel).
- Beyer N, Gabriel D, Westphal C, in Vorbereitung: Landscape composition modifies pollinator densities, foraging behavior and yield formation in faba beans (*Vicia faba* L.).

10.2 Vorträge

10.2.1 Fachtagungen und Konferenzen

- Westphal C, Beyer N, Gabriel D, Kirsch F, Schweiger S, Schulz-Kesting K, Hass A, Dauber J, 2020: Bee pollinators benefit from crop diversification and semi-natural habitats. British Ecological Society, Festival of Ecology Conference.
- Schulz K, Everwand G, Dauber J, 2019: Faba bean (*Vicia faba* L.) in wheat-dominated cropping systems: spill-over effects on densities and parasitism rates of vegetation dwelling natural pest control agents? In: Messéan A, Drexler D, Heim I, Paresys L, Stilmant D, Willer H (eds) First European conference on crop diversification, September 18-21, 2019 Budapest, Book of abstracts. INRA, ÖMKi, pp 115-116.
- Beyer N, Kirsch F, Schulz K, Everwand G, Mecke S, Dauber J, Gabriel D, Westphal C, 2019: The cultivation of faba beans increases bumblebee abundances at landscape scale, Vortrag auf der GfÖ Conference, Münster, Deutschland.
- Schulz K, 2019: Diversität und Abundanzen von Laufkäfern in Agrarlandschaften mit Ackerbohne - erste Trends. Vortrag auf der 22. Jahrestagung Gesellschaft für Angewandte Carabidologie e.V., Bühl.
- Schulz-Kesting K, Beyer N, 2018: Ökosystemleistungen von Ackerbohnen (*Vicia faba*), Vortrag beim Nossener Fachgespräch Körnerleguminosen, Anbau mit neuen Greeningregeln, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen.
- Dauber J, Brandt K, Everwand G, Kulow J, Mecke S, Schulz K, Waveren C-S van, Klimek S, 2018: Innovative farming systems in landscapes under change - a plea for a long-

- term system approach. In: Book of abstracts: Landscape 2018, 12–16 March 2018, Berlin, Germany, Adlershof con.vent. pp 263-264
- Beyer N, Schweiger S, Kirsch F, Schulz-Kesting K, Everwand G, Mecke S, Dauber J, Westphal C, 2018: Effects of diversified cropping systems with faba beans on the abundance of pollinators, Poster auf der GfÖ Conference, Wien, Österreich.
- Schulz K, Beyer N, Everwand G, Mecke S, Westphal C, Dauber J 2018: Diversification of arable cropping systems with faba bean (*Vicia faba* L.): Effects on epigaeic arthropods. Poster auf der GfÖ Conference, Wien, Österreich.

10.2.2 Projekttreffen, Fachvorträge und Seminarbeiträge

- Beyer N, 2020: The effect of diversified crop rotations with faba beans (*Vicia faba* L.) on pollinators and pollination services, PhD Verteidigung, Vortrag im Ökologischen Seminar der Abteilung Agrarökologie und der Funktionellen Agrobiodiversität, Universität Göttingen.
- Westphal C, Beyer N, Schulz Kesting K, Schlangen C, Kerkhof F, Dauber J, 2020: Regulierende Ökosystemleistungen in Fruchtfolgen mit Ackerbohnen und Erbsen, Praxis trifft Forschung - ein Netzwerk für Erbsen und Bohnen. Online Veranstaltung. https://demoneterbo.agrarpraxisforschung.de/fileadmin/user_upload/Bilder/03_Beyer_etal-Regulierende-Oekosystemleistungen-AB-20201028.pdf
- Schulz-Kesting K, 2020: Diversification of conventional cropping systems: Faba bean effects on natural biocontrol agents. Vortrag im Seminar des Thünen-Institut für Biodiversität, Braunschweig, Deutschland.
- Schulz-Kesting K, 2019: Diversification of conventional cropping systems: Faba bean effects on natural pest control agents. Vortrag im Seminar der Abteilung Landschaftsökologie und Umweltsystemanalyse, TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland.
- Beyer N, 2019: The effect of faba bean (*Vicia faba*) cultivation on pollinators and pollination services, Vortrag im Ökologischen Seminar der Abteilung Agrarökologie und der Funktionellen Agrobiodiversität, Universität Göttingen.
- Schulz-Kesting K, Beyer N, 2019: RELEVANT Projekt - Aktuelle Ergebnisse zu Raubarthropoden (Akteure der natürlichen Schädlingskontrolle) und Auswirkungen des Ackerbohnenanbaus auf Bestäuber und ihre Bestäubungsleistung, Vorträge auf DemoNetErBo Projekttreffen, Kassel, Deutschland.
- Schulz-Kesting K, 2019: Diversification of conventional cropping systems: Faba bean effects on natural biocontrol agents. Vortrag im Seminar des Thünen-Institut für Biodiversität, Braunschweig, Deutschland.
- Kirsch F, Beyer N, 2019: Der Effekt vielfältiger Fruchtfolgen mit Ackerbohnen (*Vicia faba*) auf Bestäuber, Vortrag beim Treffen des Imkervereins Kassel, Kassel, Deutschland.
- Beyer N, 2019: The effect of diversified crop rotations with field beans (*Vicia faba*) on pollinators, Vortrag im Ökologischen Seminar der Abteilung Agrarökologie und der Funktionellen Agrobiodiversität, Universität Göttingen, Göttingen, Deutschland.
- Schulz-Kesting K, Beyer N, 2018: Ergebnisse des RELEVANT Projektes, Vortrag auf DemoNetErBo Projekttreffen, Kassel, Deutschland.
- Schulz-Kesting K, 2018: Haben Landschaften mit Körnerleguminosen Effekte auf Vorkommen und Häufigkeit epigäischer Raubarthropoden? Vortrag im Seminar des Thünen-Institut für Biodiversität, Braunschweig, Deutschland.

10.3 Andere Veröffentlichungen

10.3.1 Wissenschaftliche Abschlussarbeiten

Greiser J, in Bearbeitung: Nachbarschaftseffekte von Ackerbohne (*Vicia faba* L.) auf das Vorkommen und die Aktivitätsdichte räuberischer Fliegen in Winterweizen. Bachelorarbeit an der Fakultät 3, Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften, TU Braunschweig.

Tréguay M, in Bearbeitung: Effects of crop identity and of surrounding landscape on trap nesting bees and wasps. Masterarbeit in der Abteilung Funktionelle Agrobiodiversität, Universität Göttingen.

Beyer N, 2020: The effect of diversified crop rotations with faba beans (*Vicia faba* L.) on pollinators and pollination services. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. sc. agr.) der Fakultät für Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen.

Kuschereitz M, 2020: The effect of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivation on hoverflies (2020). Bachelorarbeit in der Abteilung Funktionelle Agrobiodiversität, Universität Göttingen.

Schweiger SE, 2019: Effects of flowering crops on resource utilization and colony growth of bumblebees. Masterarbeit in der Abteilung Funktionelle Agrobiodiversität, Universität Göttingen.

Kirsch F, 2018: Effects of diversified crop rotations with grain legumes on pollinator diversity along a gradient of landscape heterogeneity. Masterarbeit in der Abteilung Agrarökologie, Universität Göttingen.

10.3.2 Pressemitteilungen und populärwissenschaftliche Beiträge

Beyer N, Westphal C, 2020: Besser als gedacht: Hummeln profitieren vom Ackerbohnenanbau. Pressemitteilung vom 10.09.2020. Universität Göttingen. <https://www.uni-goettingen.de/de/3240.html?id=5981>

Beyer N, 2020: Einfluss des Ackerbohnenanbaus auf Bestäuber und räuberische Insekten. Interview des Demonstrationsnetzwerk Erbse/Bohne. https://www.demoneterbo.agrarpraxisforschung.de/fileadmin/user_upload/Bilder/Interview_RELEVANT_final.pdf

Schulz-Kesting K, Everwand G, Dauber J, 2019: Fördert die Ackerbohne die Artenvielfalt? Flyer zum Feldtag "Biodiversität mit der Ackerbohne im Milchviehbetrieb in Eichstätt", Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.