Gefördert durch:

Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektträger

Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

Schlussbericht zum Thema

"Präventive Anbautechnik zur Erhöhung der biotischen Stresstoleranz bei Ackerbohnen und Erbsen“

FKZ: 2815EPS024

Projektnehmer: Universität Kassel

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

Abschlussbericht

BMEL - Eiweißpflanzenstrategie

Forschungsprojekt 2815EPS024

Präventive Anbautechnik zur Erhöhung der biotischen Stresstoleranz bei Ackerbohnen und Erbsen

Ausführende Stelle:

Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften 15EPS023

Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz
Nordbahnhofstraße 1a
D-37213 Witzenhausen

Msc. Natalia Riemer, natalia.riemer@uni-kassel.de

Dr. Helmut Saucke, hsaucke@uni-kassel.de

Gefördert durch:

Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projektträger

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

Inhaltsverzeichnis

I **Abstract** 4

II **Zusammenfassung** 5

III **Abbildungsverzeichnis** 7

IV **Tabellenverzeichnis** 10

V **Abkürzungsverzeichnis** 11

1 **Einführung** 12

1.1 Gegenstand des Vorhabens 12

1.2 Ziele und Aufgabenstellungen des Projektes 12

1.3 Planung und Ablauf des Projektes 13

2 **Wissenschaftlicher und technischer Stand** 13

3 **Material und Methoden** 17

3.1 Exaktversuche 17

3.2 Praxisversuche 20

3.3 Zeitreihenversuch 21

3.4 Netzversuch 21

3.5 Statistische Auswertung 22

3.6 Klima und Wetterdaten am Versuchsstandtort 24

3.7 Temperatur, Luftfeuchte und Bodenfeuchte im Exaktversuch 25

4 **Ergebnisse** 26

4.1 **Ackerbohnen:** Auswirkung der Saattiefe und Saatzeit auf Blattrandkäferbefall, Ertrag und die Nachfrüchte Winterweizen und Wickroggen 26

4.1.1 Buchtenfraß 26

4.1.2 Knöllchenschaden 27

4.1.3 Wurzelgesundheit 30

4.1.4 Stickstoffertrag in der Fruchtfolge 32

4.2 **Erbsen:** Auswirkung der Saatzeit auf Blattrandkäferbefall, Ertrag und die Nachfrüchte Winterweizen und Wickroggen 37

4.2.1 Buchtenfraß 37
4.2.2 Knöllchenschaden 38
4.2.3 Wurzelgesundheit 41
4.2.4 Stickstoffertrag in der Fruchtfolge 41
4.3 **Zeitreihenversuch**: Einfluss des Saatzeitpunktes auf Knöllchenentwicklung, Wurzelschwärzungen und atmosphärischen Stickstoff im Verlauf der Pflanzenentwicklung 46
4.4 **Netzversuch:** Einfluss der Käferexposition auf Knöllchenentwicklung, Wurzelschwärzungen und atmosphärischen Stickstoff im Verlauf der Pflanzenentwicklung unter Netz 47
4.5 **Praxisversuche** – ökologische vs. integrierte Wirtschaftsweise 49
5 **Diskussion** 53
5.1 Buchtenfraß ist kein sicherer Indikator für N-Fixierung und Ertragsminderung 53
5.2 Knöllchenschäden und Kompensationsfähigkeit 53
5.3 Wurzelgesundheit und deren Einfluss auf Knöllchen und Ertrag 54
5.4 Stickstofffixierung 55
5.5 Ertrag und witterungsabhängige Kompensation 55
5.6 Fruchtfolgeeffekte und systemische Bewertung der Faktoren Saattiefe und Saatzeitpunkt 57
5.7 Praxisversuche 58
5.8 Methodische Einschränkungen 59
6 **Angaben von voraussichtlichen Nutzern und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse** 60
6.1 Neubewertung des Schädlingsstatus mit Blick auf die Fruchtfolgewirkung 60
6.2 Anbautechnische Empfehlungen 61
7 **Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen** 62
8 **Zusammenfassung und Ausblick** 63
9 **Literaturverzeichnis** 63
10 **Öffentlichkeitsarbeit** 69

I Abstract

This project investigated the impact of two agronomic parameters, in particular sowing time and sowing depth, on the infestation dynamics of the pea leaf weevil *Sitona lineatus*. Particularly it focused on root nodule health, nitrogen fixation, and yield parameters in field peas and faba beans, as well as their subsequent crops, winter wheat and vetched-rye. In controlled field trials, the sowing date (early vs. late) was varied for peas, and both sowing date and depth (4 cm vs. 10 cm) were tested for faba beans. All variants were tested under natural *S. lineatus* infestation and in mesh cages that excluded the pest. Additionally, time-series experiments were conducted to monitor nodule development and nitrogen fixation over time, alongside practical trials on organically and conventionally managed farms.

Results showed that the correlation between notching and actual yield losses was weak, limiting the reliability of visual damage assessments as a basis for treatment recommendations. Likewise, *S. lineatus* exposure led to yield losses in both legume crops, though the extent varied by year and variant. In addition, these yield losses were partially compensated by the following crops within the rotation (legume – wheat – triticale), likely due to the continuous replacement of damaged nodules caused by larval feeding, which leaded to the accumulation of root nodule residues in the soil and, consequently, improved nitrogen availability for subsequent crops

The plant's ability to compensate varied significantly depending on sowing date and respective weather conditions. Early sowing combined with shallow seed placement in faba beans yielded the best results across the full crop rotation, showing the lowest nitrogen losses and highest cumulative yields. In contrast, late sowing with shallow depth resulted in greater nitrogen losses and more severe yield reductions, likely due to inadequate nodule development and restricted root growth. However, the benefits of deep sowing in faba beans cannot be conclusively assessed: While there was a general trend toward a higher number of healthy nodules, the effects on yield and subsequent crops were inconsistent and varied significantly between years. Overal, weather conditions had a significant impact. In a year with a warm spring, yield losses were minimal, whereas a cold and wet spring led to substantial reductions across the entire crop sequence.

The comparison of grain legume performance at an organic and conventionally managed farm revealed that the conventional system achieved higher yields despite lower nodule counts and a lower proportion of symbiotically fixed nitrogen. In well N-supplied soils, plants appeared to be able to compensate for nodule damage. Together with the demonstrated compensation potential of subsequent crops, the results suggest that *S. lineatus* damage—at least in faba beans on nitrogen-rich sites—does not necessarily impact yield. Thus, integrated control thresholds for insecticide treatment decisions require further investigation and need to be revised.

II Zusammenfassung

Im vorliegenden Projekt wurde untersucht, wie sich ackerbauliche Stellgrößen – insbesondere Saatzeitpunkt und Saattiefe – auf die Befallsdynamik des Linierten Blattrandkäfers (*Sitona lineatus*) auswirken. Im Fokus standen dabei die Auswirkungen auf die Gesundheit der Wurzelknöllchen, die Stickstofffixierung sowie auf Ertragsparameter bei Erbsen und Ackerbohnen, ebenso wie auf die Folgekulturen Winterweizen und Wickroggen.

In Exaktversuchen wurde bei Erbsen der Saatzeitpunkt variiert, bei Ackerbohnen zusätzlich die Saattiefe (4 cm vs. 10 cm). Alle Varianten wurden sowohl unter natürlichem Befallsdruck als auch in Netzkäfigen ohne Käferexposition geprüft. Ergänzend wurden Zeitreihenversuche zur dynamischen Erfassung der Knöllchenentwicklung und Stickstofffixierung sowie Praxistests auf ökologisch und integriert wirtschaftenden Betrieben durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigten, dass der Zusammenhang zwischen Buchtenfraß und tatsächlichen Ertragsverlusten schwach ist, was die Aussagekraft visueller Schadensbewertungen für Behandlungsempfehlungen einschränkt. Ebenso führte *S. lineatus* Exposition bei beiden getesteten Körnerleguminosen je nach Jahr und Variante zu unterschiedlich stark ausgeprägten Ertragsminderungen der Körnerleguminosen und ebenso innerhalb der Fruchtfolge Leguminose – Weizen – Wickroggen, da die Folgekulturen Ertragseinbußen in gewissem Maße kompensieren konnten. Vermutlich bewirkte die kontinuierliche, kompensative Knöllchenneubildung bei Knöllchenverlust eine Anreicherung von pflanzlichen Residuen im Bodenkompartiment, die bis in die zweite Folgekultur hinein der Nachfrucht zur Verfügung stand und diese N-Nachlieferung die Korn-, bzw. N-Erträge der Folgekulturen verbesserte.

Diese pflanzeneigene Kompensationsfähigkeit von Knöllchenverlusten variierte je nach Variante und Witterung deutlich. Die Kombination aus früher Saat und flacher Ablage bei Ackerbohnen erzielte die stabilsten Ergebnisse über die gesamte Fruchtfolge hinweg: Sie zeigte die geringsten Stickstoffverluste und die höchsten Gesamterträge. Späte Saat in Kombination mit flacher Ablagetiefe führte hingegen zu höheren Stickstoffverlusten und Ertragseinbußen – vermutlich durch unzureichende Knöllchenbildung und eingeschränkter Wurzelentwicklung. Insgesamt lassen sich die Vorteile einer tiefen Aussaat bei Ackerbohnen nicht abschließend bewerten: Zwar zeigte sich tendenziell eine höhere Anzahl gesunder Knöllchen, doch blieben die Effekte auf den Ertrag sowie auf die Folgekulturen uneinheitlich und variierten stark zwischen den Jahren

Bei Erbsen zeigten späte Saatvarianten das größere Kompensationspotenzial, insbesondere durch höhere Weizenerträge in der Nachfrucht. Dies könnte auf eine geringere Fähigkeit zur späten

Stickstofffixierung und -umverlagerung zurückzuführen sein, wodurch mehr verfügbarer Stickstoff im System verblieb und den Folgefrüchten zugutekam. Insgesamt hatte der Faktor Witterung einen erheblichen Einfluss: In einem Jahr mit warmem Frühjahr blieben Ertragseinbußen gering, während ein kaltes, nasses Frühjahr erhebliche Einbußen über die gesamte Fruchtfolge verursachte.

Ein Anbauvergleich von Ackerbohnen auf einem ökologisch und einem integriert wirtschaftenden Betrieb zeigte, dass im integrierten System trotz geringerer Knöllchenzahlen und einer niedrigeren relativen N-Fixierleistung höhere Erträge erzielt wurden. Auf gut N-versorgten Böden sind Pflanzen offenbar weniger auf symbiontische N-Fixierung angewiesen. Zusammen mit dem nachgewiesenen Ausgleichspotenzial der Folgefrüchte im Hauptversuch legt dies nahe, dass *S. lineatus*-Schäden – zumindest bei Ackerbohnen auf stickstoffreichen Standorten weniger ertragswirksam sind. Der auf den Buchtenfraß bezogene integrierte Bekämpfungsrichtwert für Insektizidbehandlungen bedarf also weiterer Untersuchung und sollte überarbeitet werden.

III Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 ***A****: Schematischer Versuchsaufbau für den Feldparzellenversuch mit Ackerbohnen.* ***B****: Dazugehörige Blockanlage mit 4 Wdh. Ackerbohne (gelbe Umrandung); oberhalb der gestrichelten Linie die analog aufgebauten Blöcke für Erbsenfrüh- und Spätsaat. Kleinere umrandete Parzellen links neben den Netzen sind Teil des Versuches „Zeitreihe“ (Neu-Eichenberg 22.06.2022). 18*

Abbildung 2: S. lineatus Fraßschaden an Ackerbohnenblättern. Bild von S. Carnaghi..... 19

Abbildung 3: Gesunde (A, B) und befallene Knöllchen der Ackerbohne. Bilder von I. Garavito Zambrano 19

Abbildung 4 Im Netzversuch verwendete „Netzkäfige“ mit und ohne Einsatz von S. lineatus Adulten. 22

Abbildung 5 Temperatur (2m Luft)- und Niederschlagdaten am Versuchsstandtort Neu Eichenberg in den Jahren 2020-2023. Die vieljährigen Mittel beziehen sich auf die Jahre 1990 – 2019. 24

Abbildung 6 Korrelation zwischen dem Buchtenfraß von S. lineatus *pro Ackerbohnenpflanze und der Anzahl gesunder Knöllchen (A) und zwischen Fraßschaden und Wurzelschwärzung in Bonititurklassen nach Pflughöft (2008) (B) über alle Varianten. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022 ..... 26*

Abbildung 7 Korrelation zwischen dem Buchtenfraß von S. lineatus *pro Ackerbohnenpflanze und dem Stickstoffertrag im Korn (A) sowie dem prozentualen Anteil des fixierten Stickstoffs (B) über alle Variante. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022..... 27*

Abbildung 8 Gesamtanzahl im BBCH 60 entnommener Knöllchen von Ackerbohnen in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Jahr und S. lineatus -Exposition. 27

Abbildung 9 Gesamtanzahl an Knöllchen (A) und Anzahl gesunder Knöllchen von, im BBCH 60 entnommenen Ackerbohnen, in Abhängigkeit von der Saattiefe als Mittel über alle Varianten und Jahre (2020-2022). 28

Abbildung 10 Anzahl im BBCH 60 entnommener gesunder Ackerbohnenknöllchen in Abhängigkeit von Jahr, Saattiefe und Aussaatzeitpunkt. 29

Abbildung 11 Stickstoffertrag im Korn (A) und Anteil des fixierten Luftstickstoffs von Ackerbohnen (B) pro Variante in Abhängigkeit von der Anzahl gesunder Knöllchen im BBCH60, getrennt nach käferisolierten und käferexponierten Varianten. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022 30

Abbildung 12 Einfluss der S. lineatus*-Exposition auf die Wurzelschwärzung von Ackerbohnen im Stadium BBCH 60, in Bonititurklassen nach Pflughöft (2008) und gemittelt über alle Varianten pro Jahr..... 30*

Abbildung 13 Wurzelschwärzung in Boniturklassen nach Pflughöft (2008) in Abhängigkeit von der Anzahl gesunder Knöllchen von Ackerbohnen im BBCH60 bei Käferbefall und Käferausschluss. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022 31

Abbildung 14 Stickstoffertrag von Ackerbohnen im Korn als Mittel über die Untersuchungsjahre 2020-2022 (A) und pro Untersuchungsjahr als Mittel über alle Varianten (B), in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Aussaattiefe und S. lineatus *Exposition. 33*

Abbildung 15 Stickstoffertrag von Weizen im Korn als Mittel über die Untersuchungsjahre 2021-2023 (A) und pro Untersuchungsjahr als Mittel über alle Varianten (B), in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Aussaattiefe und S. lineatus *Exposition.* *33*

Abbildung 16 Stickstoffertrag der oberirdischen Biomasse von Wickroggen als Mittelwert der Untersuchungsjahre 2022-2024 (A) und pro Untersuchungsjahr (B) als Mittel über alle Varianten, in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Aussaattiefe und S. lineatus*-Exposition der vorausgehenden Ackerbohne. Wickroggen folgte in der Fruchtfolge auf Weizen, der nach der Ackerbohne angebaut wurde."* *34*

Abbildung 17 Zusammenhang zwischen der Anzahl gezählter Buchten pro Erbsenpflanze und der Anzahl gesunder Knöllchen (A) und zwischen Fraßschaden und Wurzelschwärzung in Boniturklassen nach Pflughöft (2008) (A) aller im Versuch beprobten Varianten, farblich getrennt nach käferisolierten und käferexponierten Varianten. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022 ..... *37*

Abbildung 18 Stickstoffertrag im Korn (A) und Anteil des fixierten Luftstickstoffs von Erbsen (B) pro Variante in Abhängigkeit von der Anzahl gesunder Knöllchen im BBCH60, getrennt nach käferisolierten und käferexponierten Varianten. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022 ..... *38*

Abbildung 19 Gesamtanzahl im BBCH 60 entnommener Knöllchen von Erbsen in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Jahr und S. lineatus *-Exposition.* *38*

Abbildung 20 Anzahl gesunder, im BBCH 60 entnommener Knöllchen von Erbsen in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Jahr und S. lineatus *-Exposition.* *39*

Abbildung 21 Stickstoffertrag im Korn (A) und Anteil des fixierten Luftstickstoffs (B) von Erbsen pro Variante über alle Untersuchungsjahre in Abhängigkeit von der Anzahl gesunder Knöllchen im BBCH60, getrennt nach käferisolierten und käferexponierten Varianten. Punkte: grün = käferexponiert, rosa = käferisoliert, Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022 ..... *40*

Abbildung 22 Anteil des fixierten Luftstickstoffs von früh und spät gesäten Erbsen im Mittel über alle Untersuchungsjahre getrennt nach käferisolierten und käferexponierten Varianten. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022 ..... *40*

Abbildung 23 Einfluss von Jahr und S. lineatus*-Exposition auf die Wurzelschwärzung von Erbsen im Stadium BBCH 60 in Boniturklassen nach Pflughöft (2008) und gemittelt über alle Varianten. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022* *41*

Abbildung 24 Stickstoffertrag von Erbsen im Korn in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Aussaattiefe und S. lineatus *Exposition in den Jahren 2020 bis 2022.* *41*

Abbildung 25 Stickstoffertrag von Weizen im Korn in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Aussaattiefe und S. lineatus *Exposition in den Jahren 2021 bis 2023.* *42*

Abbildung 26 Stickstoffertrag der oberirdischen Biomasse von Wickroggen in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Aussaattiefe und S. lineatus *Exposition in den Jahren 2022 bis 2024.* *42*

Abbildung 27: Durchschnittliche Anzahl gesunder Knöllchen und die Gesamtknöllchenanzahl von früh und spät gesäten Ackerbohnen (KW= Kalenderwoche, Jahr 2022)..... 46

Abbildung 28: Durchschnittliche Anzahl gesunder Knöllchen und die Gesamtknöllchenanzahl von käferexponierten und käferisolierten Ackerbohnen bei früher und später Saat im Laufe der Pflanzenentwicklung (KW=Kalenderwoche, Jahr 2022) 47

Abbildung 29: Durchschnittliche Anzahl gesunder Knöllchen und die Gesamtknöllchenanzahl von käferexponierten und käferisolierten Ackerbohnen unter Netz im Laufe der Pflanzenentwicklung (KW=Kalenderwoche, Jahr 2023) 47

Abbildung 30: Aus der Luft fixierter Stickstoff (absolut in g und relativ in %) von käferisolierten und exponierten Ackerbohnen, angebaut unter Netz im Laufe der Pflanzenentwicklung (KW=Kalenderwoche, Jahr 2023) 49

Abbildung 31: Stickstoffertrag der oberirdischen Biomasse von käferisolierten und exponierten Ackerbohnen unter Netz, aufgeteilt nach dem bodenbürtigen- und Luftstickstoffanteil (Jahr 2023). 49

*Abbildung 32 Gesamtanzahl (**A**) Anzahl gesunder Wurzelknöllchen (**B**) von flach und tief gesäten Ackerbohnen im BBCH 60 angebaut auf einem ökologischen und integrierten Betrieb. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022 ..... 50*

Abbildung 33 Relativer Anteil an fixiertem Stickstoff bei Ackerbohnen, angebaut auf einem ökologisch und integriert wirtschaftendem Betrieb, getrennt nach Saattiefe Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022 51

Abbildung 34: Stickstoffertrag im Korn und Rohproteingehalt von Ackerbohnen als Mittel über drei Anbaujahre (2020-2022), getrennt nach tiefer und flacher Aussaat, angebaut auf einem ökologisch und einem integriert wirtschaftenden Betrieb...... 51

Abbildung 35: Stickstoffertrag im Korn von Weizen als Mittel über drei Anbaujahre (integriert: 2021-2023; öko nur 2021-2022) getrennt nach tiefer und flacher Aussaat der vorhergehenden Kultur Ackerbohne, angebaut auf einem ökologisch und einem integriert wirtschaftenden Betrieb. 52

IV Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht über die Versuche und Aussaatzeitpunkte von Ackerbohnen und Erbsen. 22

Tabelle 2 Durchschnittliche Temperatur mit und ohne Netzte über die gesamte Vegetationsperiode von Ansaat bis Ernte als Durchschnitt aller Blöcke (Ackerbohne und Erbse). 25

Tabelle 3 Stickstoffertragsmittelwerte der oberirdischen Biomasse der Fruchtfolgeglieder Ackerbohne, Weizen und Wickroggen in Abhängigkeit von der S. lineatus-*Exposition der vorausgehenden Ackerbohne und den Ackerbaulichen Stellgrößen Saatzeitpunkt und Saattiefe der Ackerbohne. 35*

Tabelle 4 Ertragsmittelwerte der Fruchtfolgeglieder Ackerbohne und Weizen in Abhängigkeit von der S. lineatus-*Exposition der vorausgehenden Ackerbohne und den ackerbaulichen Stellgrößen Saatzeitpunkt und Saattiefe der Ackerbohne. 36*

Tabelle 5 Stickstoffertragsmittelwerte der oberirdischen Biomasse der Fruchtfolgeglieder Erbse, Weizen und Wickroggen in Abhängigkeit von der S. lineatus-*Exposition und dem Aussaatzeitpunkt der vorausgehenden Erbse 44*

Tabelle 6 Ertragsmittelwerte der Fruchtfolgeglieder Erbse und, Weizen in Abhängigkeit von der S. lineatus-*Exposition und dem Aussaatzeitpunkt der vorausgehenden Erbse 45*

V Abkürzungsverzeichnis

N	Stickstoff
Ndfa	Luftbürtiger Stickstoff
OB	oberirdische Biomasse
Ut3	toniger Schluff
ZP	Aussaatzeitpunkt

1 Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Gegenstand des Vorhabens war die Prüfung präventiver Maßnahmen gegen den Linierten Blattrandkäfer *Sitona lineatus* L. bei Sommerackerbohnen und Sommerkörnererbsen. Dabei standen die Anpassung des Saatzeitpunktes und, bei Ackerbohnen, der Saattiefe im Vordergrund. Der zentrale Aspekt des Projekts war die Frage, wie sich die beiden Anbaufaktoren, einzeln oder kombiniert, nicht nur auf die Schädigung der Leguminosen selbst, sondern auch auf den Ertrag und den Stickstoffgehalt der Folgekulturen Winterweizen und Wickroggen auswirken um im Optimalfall eine höhere Ertragsstabilität mit betriebseigenen Mitteln erreichen zu können.

1.2 Ziele und Aufgabenstellungen des Projektes

Das Projekt umfasste folgende Teilziele:

Teilziele 1-3

Teilziel 1-3 war es zu untersuchen, wie sich a) die anbautechnische Variierung der Ablagetiefe (4 cm vs. 10 cm) und b) des Saatzeitpunkts von Ackerbohnen und Erbsen (hier wurde nur der Saatzeitpunkt variiert) sowie c) die synergistische Wirkung beider Faktoren auf den Wurzelknöllchenbesatz auswirken. Dabei standen die direkte und indirekte Beeinflussung des *S. lineatus*-Befalls im Fokus, insbesondere im Hinblick in seinen Auswirkungen auf Knöllchengesundheit, Wurzelentwicklung und Ertragsparameter. Die Untersuchungen wurden unter Freilandbedingungen in randomisierten **Exaktversuchen** durchgeführt – sowohl unter natürlichem *S. lineatus*-Befall als auch unter Ausschluss des Schädlings mithilfe von Freilandkäfigen. Ziel war es, phytomedizinische und pflanzenbauliche Auswirkungen zu erfassen sowie potenzielle Nachfruchtwirkungen mit Winterweizen und Wickroggen zu berücksichtigen, um durch die Optimierung beider Faktoren die Bildung gesunder Knöllchen zu fördern.

Teilziel 4

Die Anwendung des Faktors Ablagetiefe erfolgte zusätzlich auf je einem Praxisbetrieb in Südniedersachsen (ökologisch) und in Nordhessen (integriert wirtschaftend). Die Demo-Streifenanlagen wurden mit drei Wiederholungen angelegt und mit der gleichen Methodik wie die Parzellenversuche für Ackerbohnen und die Nachfrucht Winterweizen in Neu-Eichenberg beprobt.

Teilziel 5

Das fünfte Teilziel umfasste die Bewertung der Anbausystemeffekte, hinsichtlich der Schnittmengen aus phytomedizinischen Risiken durch *S. lineatus* Befall sowie den daraus resultierenden

agronomischen Parametern (N-Effizienz, Ertrag, Nachfruchtwert). Durch die Entwicklung anbautechnischer „Best Practice“-Beispiele sollten Wissenslücken zum Schadpotenzial des Blattrandkäfers je nach Anbausystem geschlossen und eine situationsgerechte Bewertung zum Schädlingsstatus ermöglicht werden.

Teilziel 6

Die gewonnenen Erkenntnisse sollten PraktikerInnen und BeraterInnen, sowie einem wissenschaftlichen Fachpublikum präsentiert und unter verschiedenen Rahmenbedingungen kommuniziert werden. Unter anderem war geplant die Parzellenversuche am Versuchsstandort Uni-Kassel und die Demostreifen auf den Praxisbetrieben Praktikern und Beratern vorzustellen und bisherige Erkenntnisse gemeinsam zu diskutieren.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Planung und Ablauf des Projekts werden im Methodenteil ausführlich beschrieben.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Der Blattrandkäfer (*Sitona lineatus*) gehört zu den bedeutendsten Schaderregern im Anbau von Ackerbohnen und Körnererbsen (Landon et al. 1995; Cárcamo et al. 2018). Nach der Überwinterung in Dauerleguminosenbeständen wandern die adulten Tiere im Frühjahr in neu angelegte Erbsen- und Ackerbohnenschläge ein. Dort befressen sie vor allem die oberirdischen Pflanzenteile, was zur Ausbildung des charakteristischen buchtenartigen Schadbildes an den Blatträndern führt (Abbildung 2) (Vankosky et al. 2009; Nielsen 1990; Andersen 1933). Nach dem Reifungsfraß beginnt die Eiablage. Das begattete Weibchen hält sich überwiegend in den oberen Blattbereichen der Wirtspflanzen auf und legt kontinuierlich Eier ab, die ungerichtet zu Boden fallen. Aufgrund dieses räumlich nicht festgelegten Eiablageverhaltens wird *S. lineatus* als sogenannter „Ei-Streuer“ bezeichnet. Dies bedeutet, dass die Eier früher oder später in unmittelbarer Nähe der Wirtspflanzen auf die Oberfläche des Mineralbodens fallen und bis zum Schlupf ungeschützt auf dem Boden liegen. Die Eiablage kann sich vom Feldaufgang an über einen längeren Zeitraum bis in den Juni oder Juli erstrecken (Schnell 1955; Fehlauer 2015).

Die schlüpfenden Larven ernähren sich von den stickstofffixierenden Wurzelknöllchen der Leguminosen. Im Gegensatz zur Blattschädigung durch die Adulten, die nur in der Jugendentwicklung ertragsrelevant ist (Williams et al. 1995; Hans 1959; Bardner et al. 1979), .wird der Larvenschaden als wesentlicherer Faktor für die Ertragsbildung angesehen (Doré und Meynard 1995; Corre-Hellou und Crozat 2005)

Die Ertragsverluste durch einen Befall mit *S. lineatus* können stark schwanken, da die Interaktion zwischen Wirtspflanze und Schädling sowie die Kompensationsfähigkeit der Pflanzen von abiotischen Umweltfaktoren beeinflusst werden (Hunter 2001; Olfert et al. 2012; Nielsen 1990). In kontrollierten Feldversuchen von Lohaus und Vidal (2010) auf ökologisch bewirtschafteten Flächen wurden beispielsweise die Käferbesatzdichten bei Erbsen um den Faktor 100 variiert. Dennoch blieb der Ertragsverlust in allen Varianten konstant bei etwa 18 %. Dies wurde auf zusätzliche Einflussfaktoren wie Witterungsbedingungen und Interaktionen im Bodenkompartiment (z.B. Nmin-Gehalt, Nodulationsverlauf und innerartliche Konkurrenz) zurückgeführt (Lohaus und Vidal 2010; Hunter 2001; El-Dessouki 1971; El-Dessouki und Stein 1970). Somit dient der Buchtenfraß zwar als Hinweis auf den Präsenz von Imagines, liefert jedoch keine verlässliche Aussage über das tatsächliche Auftreten von Ertragsschäden. Ob und in welchem Ausmaß Ertragsverluste entstehen, bleibt ungewiss. Daher zeigen viele Wirksamkeitsprüfungen von Insektiziden lediglich geringe oder stark schwankende Ertragswirkungen (Bardner et al. 1979, 1983; Lee und Upton 1992; van de Steene, F. et al. 1999). Ertragseinbußen könnten einerseits durch die Kompensationsfähigkeit der Pflanze minimiert werden oder durch die Aufnahme von Stickstoff aus dem Boden. In solchen Fällen können Körnerleguminosen zur abtragenden Frucht werden (Corre-Hellou et al. 2011). Daraus lässt sich ableiten, dass die Schadwirkung durch Knöllchenverluste stets im Zusammenhang mit der Stickstoffverfügbarkeit im Boden betrachtet werden muss. Das Schadpotenzial unterscheidet sich dabei möglicherweise zwischen integrierten, stickstoffaufgedüngten Fruchtfolgen und ökologischen Fruchtfolgen, die durch eine andere N-Verfügbarkeit und Bodenmikrobiota gekennzeichnet sind.

Die Erstlarven von *S. lineatus* sind innerhalb eines engen Zeitfensters zwingend auf ein ausreichendes Angebot an Wurzelknöllchen angewiesen (Andersen 1933; Hans 1959; El-Dessouki und Stein 1970) (vgl. Teilziel 1.1.1, 1.1.2). Je größer die zeitliche Überschneidung zwischen dem Auftreten der Erstlarven und der Knöllchenbildungsdynamik im Boden, desto höher können sowohl die Überlebensrate als auch das Schadpotenzial der nachfolgenden Larvenstadien sein. Früh gesäte Sommerackerbohnen und-erbsen werden beispielsweise mit einem höheren Befallsrisiko assoziiert (Jaworska 1992). Auch die eigenen, empirischen Praxisdaten der Spätsaaten aus Projekt 15EPS023, 15EPS056 und 15EPS057 (Saucke et al. 2019) wiesen überwiegend signifikant weniger Buchtenfraß auf, mit teils hohem Indirekt bedingt die spätere Saat in bereits erwärmten Boden auch weniger Infektionsrisiken in der Keimungsphase (Schroth et al. 1966; Matthews und Bradnock 1968). Gleichzeitig zwingt der Befall durch *S. lineatus* die stickstoffbedürftigen Wirtspflanzen, die durch den Knöllchenverlust entstandenen Lücken durch Neubildung auszugleichen (Cárcamo et al. 2015), was die Ertragsbildung gerade bei früher Aussaat positiv beeinflussen könnte.

Ein weiterer vielversprechender Ansatz besteht in der tiefen Kornablage. Dabei wird die räumliche Verteilung des Knöllchenansatzes gezielt in tiefere Bodenhorizonte verlagert, um den Befall durch abwärts wandernde Erstlarven räumlich zu umgehen. Dieser Mechanismus wurde für *S. lineatus* und andere *Sitona*-Arten als potenziell nutzbares Regulativ belegt (El-Dessouki und Stein 1970; Goldson et al. 1988; Zhang et al. 2006). Eigene Vorarbeiten mit Ackerbohnen konnten diesen Ansatz in ersten Versuchsdurchläufen bestätigen (Fehlauer 2015; Seifert und Falk 2015). Dabei wurde eine zentrale Voraussetzung verifiziert: Sowohl bei flacher als auch bei tiefer Ablage beginnt die Knöllchenbildung unterhalb des Samenkorns (Fyson und Sprent 1982). Bei tiefer Ablage (10 cm) erfolgt die Ausbildung von Adventivwurzeln oberhalb des Samens zeitlich verzögert, was auch die dortige Knöllchenbildung nach hinten verschiebt. In beiden Testserien konnte im obersten Bodenhorizont ein signifikant reduzierter Befall durch *S. lineatus* beobachtet werden (Fehlauer 2015; Seifert und Falk 2015). weiterführende Aussagen wären ergänzende Ertragsdaten unter Käferausschluss hilfreich gewesen, was jedoch den Rahmen der Vorarbeiten überschritt.

Die Bekämpfungswürdigkeit von *S. lineatus* kann jedoch nicht nur aus dem direkten Schaden an der Wirtspflanze bewertet werden, sondern auch aus den ökonomischen und agronomischen Folgewirkungen auf nachfolgende Kulturen. Als stickstofffixierende Pflanzen nehmen Leguminosen wie Ackerbohne und Erbse eine zentrale Rolle in der Fruchtfolgegestaltung ein, da sie der Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit dienen. Ein durch *S. lineatus* verursachter Knöllchenverlust beeinträchtigt jedoch die biologische Stickstoffbindung signifikant, was zu einer verminderten Stickstoffnachlieferung für die Nachfrucht führen kann. Insbesondere bei Nachfrüchten mit hohem Stickstoffbedarf – wie Winterweizen, Raps oder Mais – könnten durch *S. lineatus* verursachte Schädigungen der Vorfrucht indirekt zu Mindererträgen führen, sofern kein externer Stickstoffausgleich erfolgt (Hoffmann und Schmutterer 1999).

Den Projektgegenstand bildete deshalb die Prüfung der im Wurzelraum verorteten Maßnahmen Saatzeitpunkt (früh, spät) und Saattiefe (4cm und 10 cm), um die Schwachstellen im Larvenstadium gezielt zu nutzen und Schadenswahrscheinlichkeiten entgegenwirken. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Bewertung systemischer Zusammenhänge zwischen dem Anbausystem, dem Schadpotenzial von *S. lineatus* und agronomisch relevanten Parametern wie Stickstoffeffizienz, Flächenleistung, Ertrag und Nachfruchtwert. Durch die Entwicklung anbautechnisch fundierter „Best-Practice“-Ansätze sollen bestehende Wissenslücken hinsichtlich der Schadwirkung des Blattrandkäfers unter verschiedenen Produktionsbedingungen geschlossen und eine situationsgerechte Einschätzung des Schädlingsstatus ermöglicht werden.

Die Saattiefe wurde nur bei Ackerbohnen variiert, da diese im Vergleich zu-Körnererbsen hier größere Spielräume bieten. Im Zentrum stand dabei die direkte und indirekte Beeinflussung durch *S. lineatus*,

insbesondere im Hinblick auf Knöllchengesundheit, Wurzelentwicklung und ausgewählte Ertragsparameter, sowie potenzielle Nachfruchtwirkungen mit Winterweizen und Wickroggen. Die Versuche wurden unter Freilandbedingungen in randomisierten Exaktversuchen durchgeführt, sowohl bei natürlichem *S. lineatus*-Befall als auch unter Ausschluss des Schädlings mithilfe von Netzkäfigen. Ergänzend dazu wurden im Jahr 2022 und 2023 kleinere Versuche mit Ackerbohnen mit reduzierter Variantenanzahl durchgeführt, in denen die Knöllchenentwicklung, das Befallsbild, die Stickstofffixierung und ausgewählte Ertragsparameter im Wochenverlauf beobachtet wurden. Im Jahr 2022 lag der Fokus auf dem Vergleich früher und später Aussaattermine, während 2023 zusätzlich zwischen käferexponierten und isolierten Varianten unter Netz unterschieden wurde, um die potentielle Netzwirkung auszuschließen.

Darüber hinaus wurde die Wirkung der Ablagetiefe auch unter Praxisbedingungen untersucht: Auf einem ökologisch wirtschaftenden Betrieb in Südniedersachsen sowie auf einem konventionell integrierten Betrieb in Nordhessen wurden Demonstrations-Streifenanlagen mit drei Wiederholungen angelegt und mit der gleichen Methodik wie die Exaktversuche beprobt – sowohl hinsichtlich der Ackerbohne als auch der Nachfrucht Winterweizen in Neu-Eichenberg.

3 Material und Methoden

3.1 Exaktversuche

Über drei Jahre (2020-2022) wurden zwei getrennte, mehrfaktorielle Exaktversuche im Split-Plot Design (Parzellenversuch 1 – Ackerbohnen Sorte Fuego, Parzellenversuch 2 – Erbsen Sorte Astronaute) in vierfacher Wiederholung auf dem Versuchsbetrieb der Universität Kassel (Neu-Eichenberg) angelegt. Der Bodentyp bestand vorwiegend aus Parabraunerde aus Löss, mit der Bodenart mittel-toniger Schluff (Ut3). Die Bodenwertzahl betrug auf den Flächen 70 bis 76 (Wildhagen 1998). Im Parzellenversuch eins wurden die Faktoren Saattiefe (4cm vs. 10cm, main-plot) und Saatzeitpunkt (früh/spät, main-plot) (Abbildung 1, A). Im Parzellenversuch zwei wurde nur der Saatzeitpunkt variiert und die Aussaat erfolge auf 5cm Tiefe (Tabelle 1). In beiden Parzellenversuchen wurden diese Faktoren unter natürlichem *S. lineatus*-Befallsdruck und parallel dazu ohne *S. lineatus*-Befall in begehbaren Netzkäfigen geprüft (split-plot, vgl. Abbildung 1, B). Die Ackerbohnen wurden mit einem Reihenabstand von 30 cm angebaut. Für die Ansaaten und insbesondere die tiefe Ablage der Ackerbohne wurde das im Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz verfügbare Gerät „Wenz-System“ (vergl. Friedrich Wenz GmbH (eco-dyn.de) und EU-Projekt OCSCAR (https://web5.wzw.tum.de/oscar/index.php?id=46) analog Spiegel et al. (2014) eingesetzt. Für die Bilanzierung der Stickstoffaufnahmefähigkeit der Knöllchen wurden Teilparzellen mit der Referenzfrucht Hafer (nicht N-fixierenden) in die Blockanlage integriert (Abbildung 1). Zur Bestäubung der Ackerbohnen wurde kurz vor der Blüte ein Hummelvolk in jedes Netz platziert (Peter Katz Biotech AG https://b2b.katzbiotech.de/Hummelvolk-Gewaechshaus/4180). Nach vorheriger georeferenzierter Einmessung der Versuchsparzellen wurden als Folgefrüchte Winterweizen (2021-2023, Sorte: Brandex) und Wickroggen (2022-2023) parzellenbezogen angesät und beprobt.

A **B**

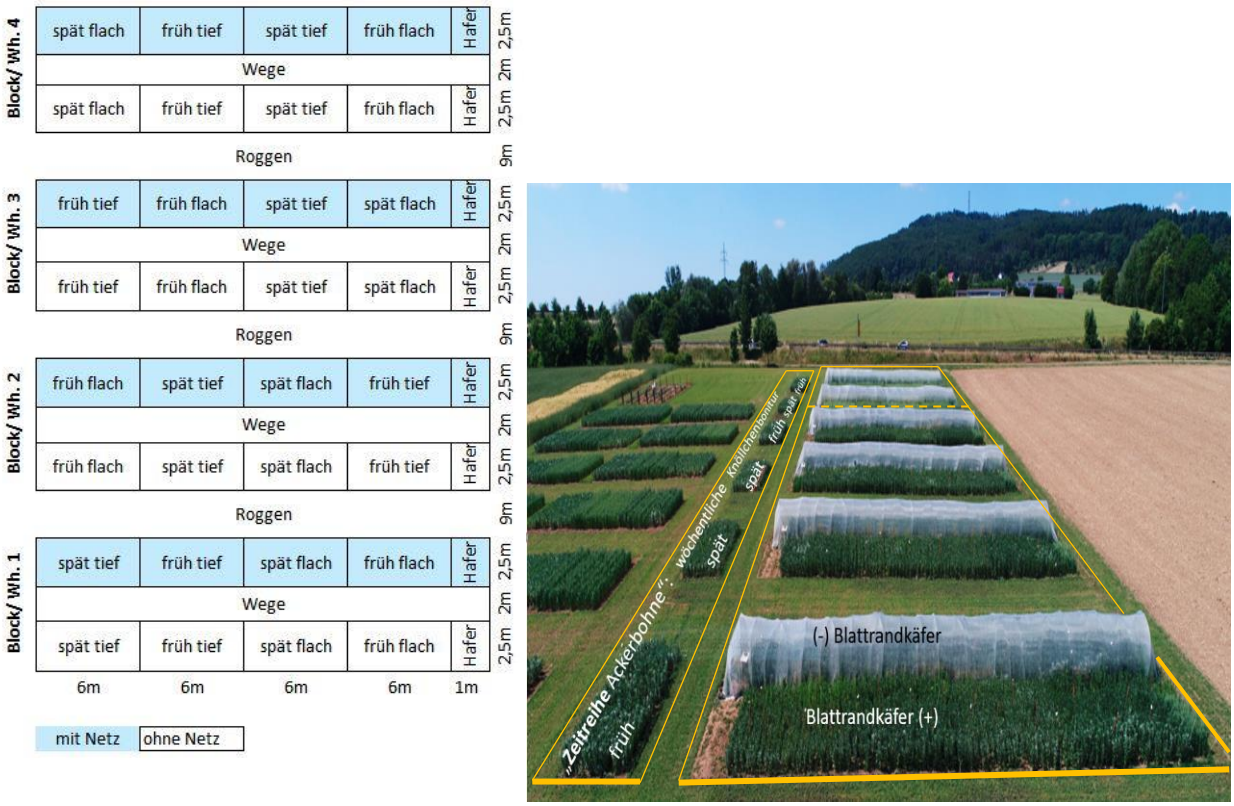

Abbildung 1 ***A****: Schematischer Versuchsaufbau für den Feldparzellenversuch mit Ackerbohnen.* ***B****: Dazugehörige Blockanlage mit 4 Wdh. Ackerbohne (gelbe Umrandung); oberhalb der gestrichelten Linie die analog aufgebauten Blöcke für Erbsenfrüh- und Spätsaat. Kleinere umrandete Parzellen links neben den Netzen sind Teil des Versuches „Zeitreihe“ (Neu-Eichenberg 22.06.2022).*

Folgende Pflanzenparameter wurden in Ackerbohnen und Erbsen und in den nachfolgenden Kulturen Weizen und Wickroggen als Indikatoren für biotischen Stress durch *S. lineatus* - Befall erhoben und analysiert:

•BBCH-Stadium (Entwicklungsstadium des Bestandes)

- Das BBCH Stadien wurden ab Feldaufgang einmal wöchentlich nach BBCH Skala (Meyer 1997) in allen Kulturen erfasst.

•Untersuchung des Befallszustandes von Ackerbohnen und Erbsen

- An 10 repräsentativ gewachsenen Einzelpflanzen (Erbsen/Ackerbohnen) pro Parzelle wurde im BBCH 60 der Buchtenfraß (vgl. Abbildung 2) der Blattetagen 1-2 und ab Etage 5 ermittelt und summiert.
- Drei repräsentativ gewachsenen Einzelpflanzen pro Parzelle wurden zu zwei Terminen (Blüte, BBCH 60 und Ende der Blüte BBCH 69) bis ca. 20 cm Tiefe entnommen und der Nodulationszustand untersucht. Anzahl und Verhältnis gesunder und geschädigter Knöllchen

an Haupt- und Seitenwurzeln bis 5 cm wurden bonitiert. Die Knöllchen, die als gesund (Abbildung 3, A und B) bewertet wurden, hatten keine sichtbaren Läsionen oder schwarze Färbungen (Abbildung 3, C und D) an ihrer Oberfläche.

Abbildung 2: S. lineatus Fraßschaden an Ackerbohnenblättern. Bild von S. Carnaghi

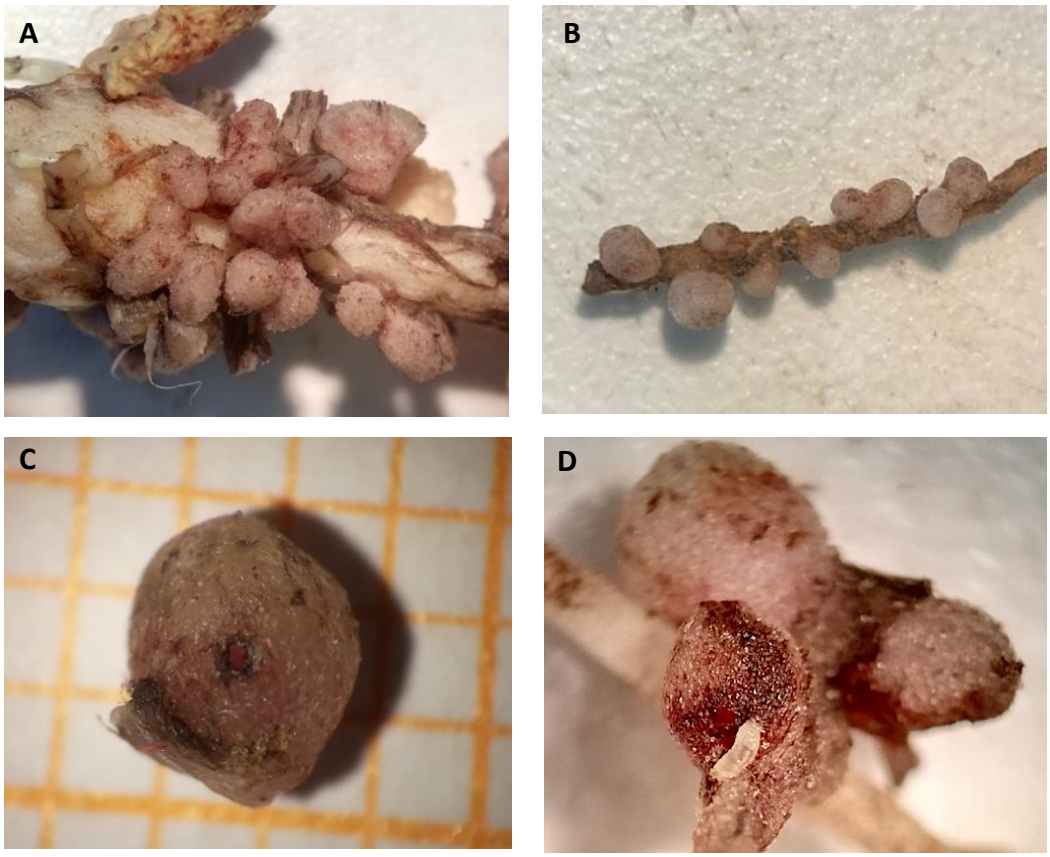

Abbildung 3: Gesunde (A, B) und befallene Knöllchen der Ackerbohne. Bilder von I. Garavito Zambrano

•Wurzelgesundheit von Ackerbohnen und Erbsen

- Drei repräsentativ gewachsenen Erbse-/Ackerbohnenpflanzen wurden zu zwei Terminen (Blüte, BBCH 60 und Ende der Blüte BBCH 69) in bis ca. 20 cm Tiefe entnommen und die Wurzelgesundheit mit Hilfe einer visuellen Bonitur nach Pflughöft (2008) erfasst.

•Biomasseschnitte und Ertragsschnitte

- Bei allen Kulturen wurden pro Parzelle 0,75m² Pflanzen entnommen. Bei beiden Leguminosen erfolgte die Entnahme im BBCH 79 und kurz vor der Ernte. Weizen wurde nur kurz vor der Ernte und Wickroggen vor dem Abmulchen im Mai beprobt.
- Folgende Ertragsparameter wurden bei Erbsen/Ackerbohnen und beim Winterweizen erhoben: Pflanzen/m², Hülsen/m², Anzahl Körner, Trockengewicht in Stroh und Korn, TKG, Rohprotein.
- Beim Wickroggen wurde nur das Trockengewicht der gesamten oberirdischen Biomasse bestimmt.

•Stickstoffbilanz/Stickstoffversorgung der Pflanze

- Der Gesamtstickstoff und die 14N-/15N-Iotopenverhältnisse wurden bei Ackerbohnen und Erbsen nach Hülsenbildung (BBCH 79) für die gesamte Pflanze erhoben. Die Bestimmung des symbiontisch fixierten N-Anteil (%Ndfa) erfolgte mittels der „natural-abundance“ Methode nach Shearer und Kohl (1986). Das genauere Vorgehen wird von Werner et al. (1999) beschrieben. Als nicht N-fixierende Referenzfrucht wurden die Haferparzellen beprobt. Der Anteil atmosphärischen Stickstoffs wurde mit dem B Wert nach Büchi et al. (2015) berechnet.
- Zur Ernte wurde nochmals der Gesamtstickstoff der Leguminosen und des Weizens, getrennt nach Stroh und Korn mithilfe eines Elementaranalysators (Fa. Elementar, Modell Vario MAX CHN) bestimmt. Da der Wickroggen bereits im Mai beprobt wurde erfolgte hier keine Trennung nach Stroh und Korn.
- Sowohl für die Messung des Gesamtstickstoffs, als auch für die Bestimmung der Isotopenverhältnisse wurden die Proben gemahlen und auf 60°C getrocknet.

•Temperaturaufzeichnung mit Loggern im Boden und im Bestand

Die Temperatur im Boden (5cm), sowie die Luft- und Bodenfeuchte wurde mit Datenloggern (Fa. Delta-T Divices, Modell GP2) und Sensoren (Fa. Decagon, Modell 5TM) gemessen. Die Sensoren wurden in einer Bodentiefe von 10 cm installiert. Zur Kalibrierung der Sensoren und der Erstellung des Aufnahmeprogramms wurde die DeltaLINK-Software Version 3.8.2 benutzt (Delta-T Divices 2021). Die restlichen Temperatur- und Niederschlagsdaten wurden von einer lokalen Wetterstation erhoben.

3.2 Praxisversuche

Analog zum Exaktversuch wurden einem räumlich nahen gelegenen integrierten Betrieb (Nordhessen) und einem ökologisch wirtschaftenden Betrieb (Niedersachsen) **Praxisversuche** angelegt. Ziel dieser Versuche war es die Auswirkung des Faktors Saattiefe (4 cm und 10 cm) auf Knöllchengesundheit, die

Stickstofffixierung und die Ertragsbildung zu untersuchen. Auf beiden Betrieben wurden randomisierte Streifenanlagen mit 3 Wiederholungen pro Variante angelegt. Aufgrund des hohen Aufwandes und der geringen Integrierbarkeit in die praktischen Abläufe waren keine Varianten unter Netz etablierbar. Als Folgekultur wurde Weizen eingesät. Die Beprobungen erfolgten analog zum Exaktversuch. Leider konnte im Versuchsjahr 2023 aus anbautechnischen Schwierigkeiten auf dem Ökologischen Betrieb keine Weizenproben genommen werden.

3.3 Zeitreihenversuch

Im Jahr 2022 wurde auf dem Versuchsstandtort Neu Eichenberg zur Abprüfung der Befalls- und Knöllchenentwicklung sowie der Ertragsbildung im Verlauf der Pflanzenentwicklung ein **Zeitreihenversuch** angelegt. Der Versuch wurde in einem voll randomisierten Blockdesign angelegt. Ackerbohnen der Sorte Fuego wurden zu zwei unterschiedlichen Aussaatzeitpunkten (Tabelle 1) eingesät. Die Ackerbohnen wurden dabei auf 10 cm Tiefe abgelegt. Je Faktorstufe wurden drei Wiederholungen angesetzt. Die Parzellen hatten eine Breite von 2,5 m und eine Länge von 8 m, was insgesamt 20 m² pro Parzelle ergab. Zusätzlich wurde an jedem Aussaatzeitpunkt eine Parzelle Hafer mit 2,5 m Breite und 3 m Länge eingesät. Beginnend mit Kalenderwoche 14 wurden drei für den Bestand repräsentative Pflanzen pro Wiederholung entnommen und der Knöllchenbefall, die Wurzelschwärzung, der Gesamtstickstoff der oberirdischen Biomasse und die Stickstofffixierleistung mithilfe der „natural-abundance“-Methode nach Shearer und Kohl (1986), wie im Abschnitt zum Exaktversuch beschrieben, bestimmt. Für die Ertragsbestimmung wurden pro Wiederholung Pflanzen von 0,75 m² Fläche entnommen.

3.4 Netzversuch

Der Versuch wurde im Jahr 2023 am Versuchsstandort Neu-Eichenberg der Universität Kassel durchgeführt. Ackerbohnen der Sorte Fuego wurden in zwei Varianten – käferexponiert und käferisoliert – in Netzkäfigen (Abbildung 4) mit einer Größe von 2 × 3 m auf 10 cm Tiefe ausgesät. Zusätzlich wurde in zwei der Netze Hafer eingesät. Jede Variante wurde dreifach wiederholt. In drei der 6 Käfige wurden 10 im Feld gesammelte *S. lineatus* Weibchen und Männchen zum BBCH 16 eingebracht. Zur Bestäubung wurde kurz vor der Blüte ein kleines Hummelvolk in jedes Netz platziert (Naturpol Seeds, Koppert Biological Systems). Der Ablauf der Parzellenbeprobung erfolgte analog zum Zeitreihenversuch.

Abbildung 4 Im Netzversuch verwendete „Netzkäfige“ mit und ohne Einsatz von S. lineatus Adulten.

Tabelle 1 Übersicht über die Versuche und Aussaatzeitpunkte von Ackerbohnen und Erbsen.

Jahr	Versuch	Kultur	Saattiefe	Aussaatzeitpunkt
2020	Exaktversuch	Ackerbohnen+ Erbsen	4cm/10cm 5cm	Früh: 01.04.2020 Spät: 27.04.2020
	Praxisversuch	Ackerbohnen	4cm/10cm	Integriert: 02.04.2020 Ökologisch: 02.04.2020
2021	Exaktversuch	Ackerbohnen+ Erbsen	4cm/10cm 5cm	Früh: 01.04.2021 Spät: 22.04.2021
	Praxisversuch	Ackerbohnen	4cm/10cm	Integriert: 02.04.2021 Ökologisch:02.04.2021
2022	Exaktversuch	Ackerbohnen Erbsen	4cm/10cm 5cm	Früh: 17.03.2022 Spät: 11.04.2022
	Praxisversuch	Ackerbohnen	4cm/10cm	Integriert: 23.03.2022 Ökologisch: 23.03.2022
	Zeitreihe	Ackerbohnen	10cm	Früh: 17.03.2022 Spät: 11.04.2022
2023	Netzversuch	Ackerbohnen	10cm	20.04.2023

3.5 Statistische Auswertung

Versuche im **Exaktversuch und Zeitreihenanalysen** mit verbundenen Stichproben (käferexponiert und käferisoliert bzw. Kalenderwoche) wurden mittels gemischter linearer Modelle (Mixed Effects Models) analysiert. Die Parzelle (Variante mit und ohne Netz=verbunden durch gleichen Ort) wurde als Zufallseffekte (Random-Effect) in die Modelle aufgenommen, um die hierarchische Struktur der Daten zu berücksichtigen. Nicht signifikante Interaktionen wurden schrittweise aus den Modellen entfernt,

um ein parsimoniales Modell mit den signifikanten Haupteffekten und Interaktionen zu erhalten. Wenn Signifikanzen über alle Jahre berechnet wurden, wurde das Jahr ebenfalls als Fixed-Effect hinzugefügt. Modellgüte und Verteilung der Residuen wurde abgeprüft. Falls die Residuen nicht normalverteilt waren, wurden die Rohdaten log transformiert. Auswertungen bei nicht verbundenen Stichproben erfolgten mittels t-Test bzw. ANOVA oder, wenn durch Transformation keine Normalverteilung und Varianzhomogenität erreicht werden konnte mithilfe des Kruskal Wallis Tests. Bei Korrelationen wurden je nachdem ob Normalverteilung beider Variablen vorlag oder nicht entweder nach spearmann oder pearson, ausgewertet.

Alle statistischen Analysen wurden mit dem Programm R Version 4.5.0 durchgeführt. Für die Statistische Auswertung der Exaktversuche wurde das packet „nlme“ Version 3.1.168, „multcomp“ Version 1.4.28, „emmeans“ Version1.11.1, „lattice“ Version 0.22.6 genutzt. Für die restlichen statistischen Auswertungen wurde „car“ Version 3.1.3 verwendet. Graphen wurden mit „ggplot2“ Version 3.5.2 erstellt.

3.6 Klima und Wetterdaten am Versuchsstandtort

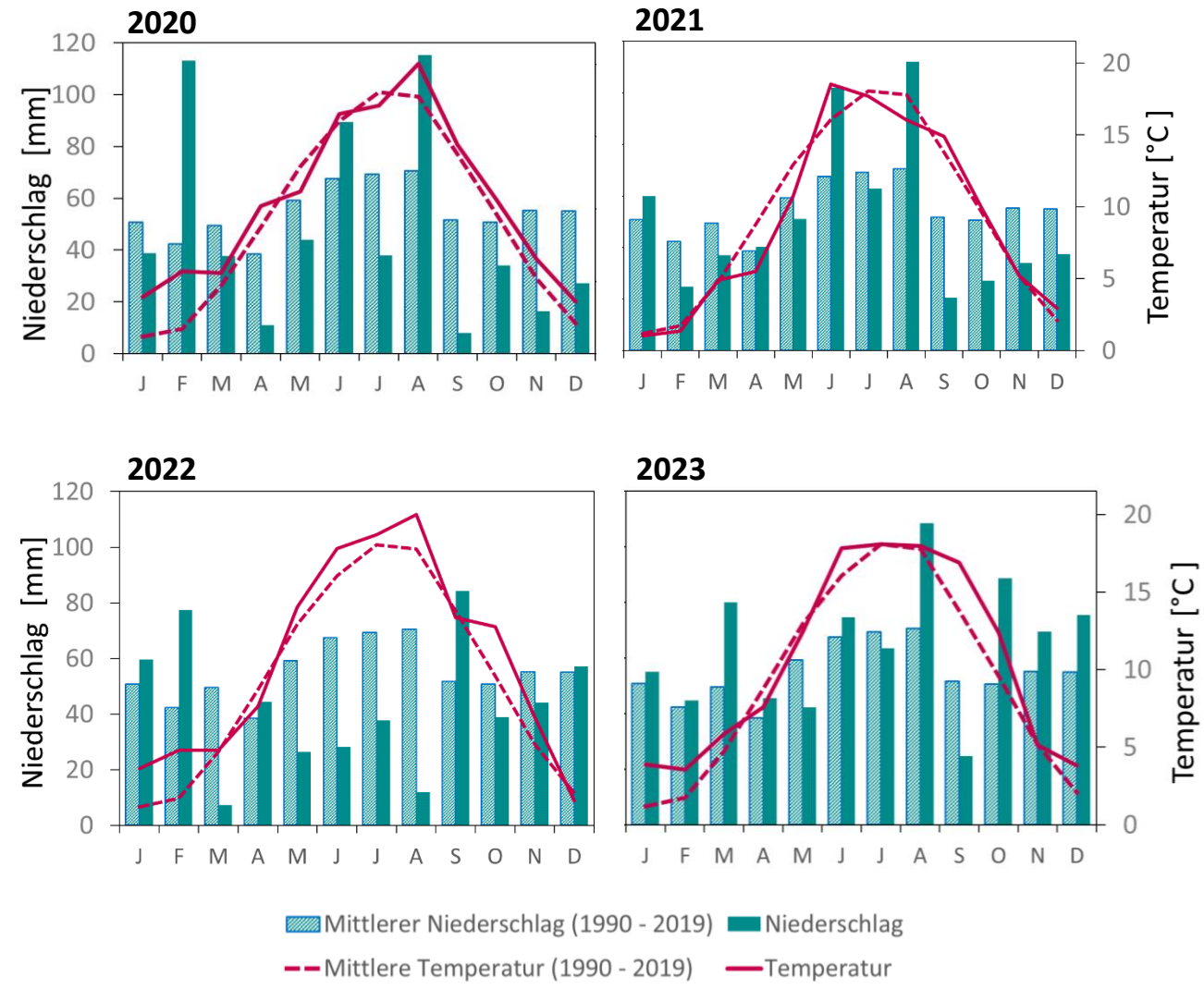

Abbildung 5 Temperatur- (2m Luft) und Niederschlagdaten am Versuchsstandtort Neu Eichenberg in den Jahren 2020-2023. Die vieljährigen Mittel beziehen sich auf die Jahre 1990 – 2019.

Im Rahmen des Projekts wurden die monatlichen Temperatur- und Niederschlagsverläufe der Jahre 2020 bis 2023 analysiert und mit den langjährigen Durchschnittswerten verglichen. Das Jahr 2020 war geprägt von überdurchschnittlich hohen Temperaturen besonders im Frühling und Spätsommer. Gleichzeitig fielen im Februar, Juni und August überdurchschnittlich hohe Niederschlagsmengen auf. März und Mai zeichneten sich durch mittlere Niederschlagsmengen aus, während der April sehr trocken verlief. Insgesamt lässt sich 2020 als warmes Jahr mit einzelnen niederschlagsreichen Monaten charakterisieren. Im Gegensatz dazu war der Frühling im Jahr 2021 besonders in den Monaten März-Mai vergleichsweise kühl bei durchschnittlichen Niederschlägen. Insbesondere der April blieb merklich unter dem Temperaturdurchschnitt. Der Sommer zeigte sich wiederum durchschnittlich warm, wobei

Juni und Juli durch stark überdurchschnittliche Niederschlagsmengen auffielen. 2021 kann somit als Jahr mit einem sehr nassen Sommer bei mäßigen Temperaturen eingeordnet werden.

Das Jahr 2022 begann mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen im Januar und Februar, gefolgt von einem etwas kühleren März und April. Ab Mai lagen die Temperaturen konstant deutlich über dem langjährigen Durchschnitt, begleitet von extrem niedrigen Niederschlagsmengen. Besonders der Juli fiel durch eine ausgeprägte Hitzeperiode bei gleichzeitig anhaltender Trockenheit auf. Lediglich der September zeigte sich etwas niederschlagsreicher. Insgesamt lässt sich 2022 als typisches Dürrejahr einordnen, das durch eine langanhaltende Hitzewelle und markante Trockenphasen geprägt war. Im Jahr 2023 lagen die Frühlingstemperaturen im Bereich des klimatologischen Mittels. Im Sommer setzte sich der Trend zu hohen Temperaturen fort, wobei insbesondere Juni und Juli erneut deutlich wärmer ausfielen als im Durchschnitt. Die Niederschlagsmengen über das Jahr hinweg bewegten sich insgesamt im durchschnittlichen Bereich, allerdings stach der August durch außergewöhnlich hohe Niederschläge hervor (vgl. Abbildung 5).

3.7 Temperatur, Luftfeuchte und Bodenfeuchte im Exaktversuch

Tabelle 2 Durchschnittliche Temperatur mit und ohne Netzte über die gesamte Vegetationsperiode von Ansaat bis Ernte als Durchschnitt aller Blöcke (Ackerbohne und Erbse).

Jahr	Netz	Boden 5cm (°C)	Luftfeuchte (% RH)	Bodenfeuchte (%)
2020	ja	15,82	78,35	-
	nein	16,35	78,54	-
2021	ja	14,92	85,60	13,72
	nein	14,82	85,00	13,37
2022	ja	15,54	72,90	9,68
	nein	15,20	75,78	9,89

Im Mittel konnten keine Unterschiede der Durchschnittstemperaturen im Boden, der Bodenfeuchte und der Luftfeuchte zwischen Varianten unter Netz und ohne Netz ermittelt werden (Tabelle 2).

4 Ergebnisse

4.1 Ackerbohnen: Auswirkung der Saattiefe und Saatzeit auf Blattrandkäferbefall, Ertrag und die Nachfrüchte Winterweizen und Wickroggen

4.1.1 Buchtenfraß

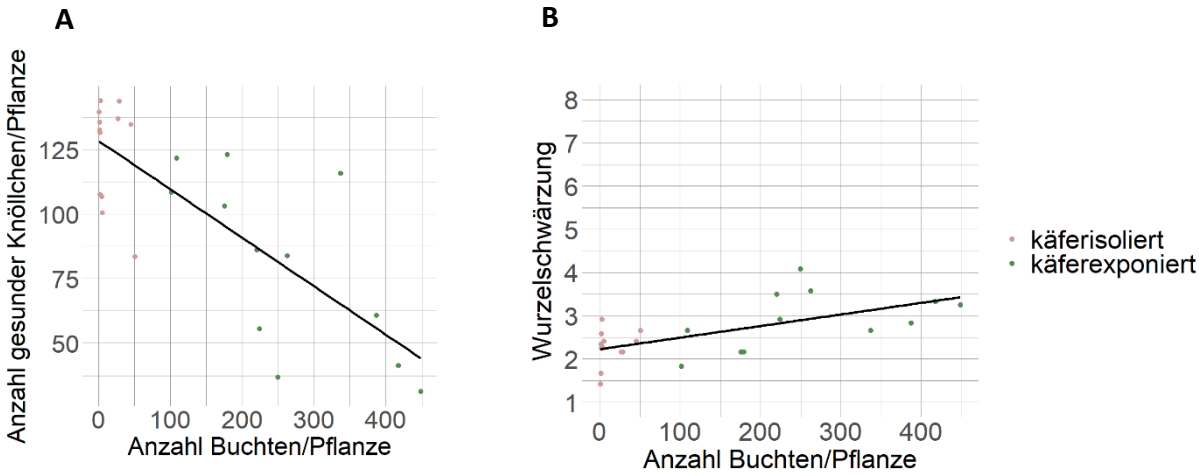

Abbildung 6 Korrelation zwischen dem Buchtenfraß von S. lineatus *pro Ackerbohnenpflanze und der Anzahl gesunder Knöllchen (A) und zwischen Fraßschaden und Wurzelschwärzung in Bonititurklassen nach Pflughöft (2008) (B) über alle Varianten. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022*

Sowohl im BBCH-Stadium 60 als auch im Stadium 69 zeigte sich ein signifikanter negativer Zusammenhang zwischen dem Ausmaß des Buchtenfraßes und der Anzahl gesunder Knöllchen. Im BBCH 60 betrug der Spearman-Korrelationskoeffizient rho = –0,729 ($p < 0,001$) und in BBCH 69 rho = –0,613 ($p = 0,002$). Ebenso korrelierte der Buchtenfraß leicht positiv mit dem Wurzelschaden, sowohl beim ersten ($p<0,001$, rho=0,64, Abbildung 6), als auch beim zweiten Boniturzeitpunkt ($p<0,001$, rho=0,82, nicht dargestellt).

Obwohl die Korrelation zwischen dem Stickstoffertrag im Korn und dem Buchtenfraß bei gemeinsamer Betrachtung der käferexponierten und käferisolierten Varianten statistisch signifikant war ($p < 0,001$), fiel sie mit einem Korrelationskoeffizienten von rho= –0,481 nur schwach aus. Ein signifikanter Einfluss des Buchtenfraßes auf den Stickstoffertrag im Korn ließ sich nicht nachweisen, wenn die Varianten getrennt analysiert wurden (käferexponiert: $p = 0,354$, $\rho = –0,294$; käferisoliert: $p = 0,990$, $\rho = 0,002$). Auch zwischen dem prozentualen Anteil des fixierten Luftstickstoffs und dem Buchtenfraß bestand keine signifikante Korrelation ($p = 0,762$, $\rho = –0,07$, vgl. Abbildung 7).

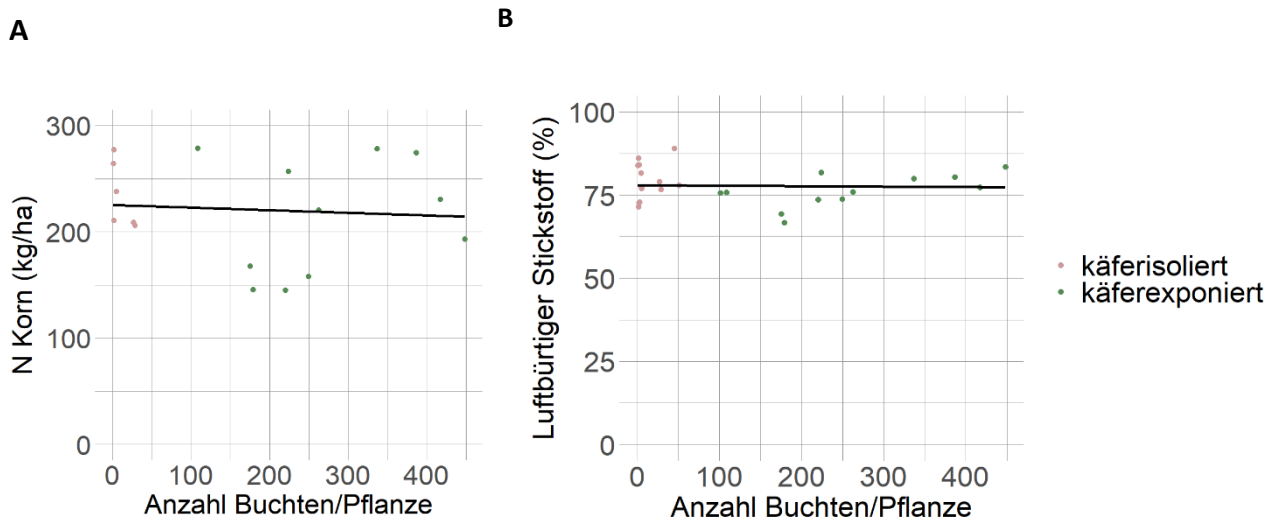

Abbildung 7 Korrelation zwischen dem Buchtenfraß von S. lineatus *pro Ackerbohnenpflanze und dem Stickstoffertrag im Korn (A) sowie dem prozentualen Anteil des fixierten Stickstoffs (B) über alle Variante. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022*

4.1.2 Knöllchenschaden

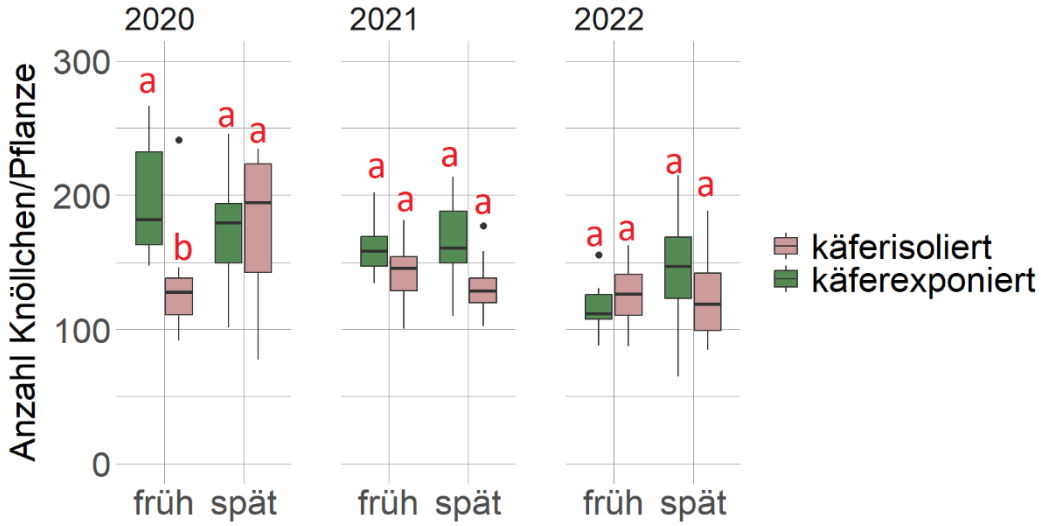

Abbildung 8 Gesamtanzahl im BBCH 60 entnommener Knöllchen von Ackerbohnen in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Jahr und S. lineatus -Exposition.

Zum ersten Boniturzeitpunkt (BBCH 60) wiesen käferexponierte Varianten im Mittel über alle Jahre 13,3 % mehr Knöllchen auf als nicht exponierte ($p = 0{,}0228$) auf. Betrachtet man die einzelnen Jahre getrennt war dieser Effekt mit 35,7 % mehr Knöllchen in der käferexponierten Variante nur im Jahr 2020 beim frühen Saatzeitpunkt signifikant ausgeprägt ($p<0{,}001$), zeigte jedoch über den gesamten Untersuchungszeitraum einen konsistenten Trend (Abbildung 8). Zum zweiten Boniturzeitpunkt (BBCH 69) bestätigte sich der starke Jahreseffekt: Im Jahr 2020 wurden insgesamt mehr Knöllchen gezählt als in den Jahren 2021 und 2022 (jeweils $p < 0{,}001$). Außerhalb dieses Jahreseinflusses zeigten sich keine

signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Varianten hinsichtlich Saattiefe oder Saatzeitpunkt.

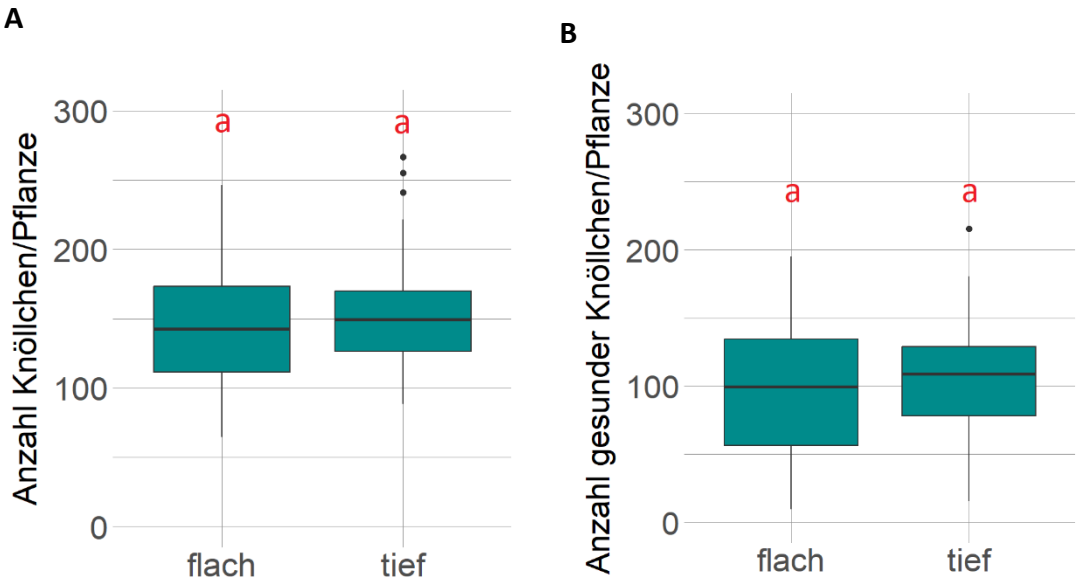

Abbildung 9 Gesamtanzahl an Knöllchen (A) und Anzahl gesunder Knöllchen von, im BBCH 60 entnommenen Ackerbohnen, in Abhängigkeit von der Saattiefe als Mittel über alle Varianten und Jahre (2020-2022).

Ein signifikanter Einfluss der Saattiefe auf die Knöllchenanzahl konnte in keinem der betrachteten Jahre festgestellt werden (2020: p = 0,179; 2021: p = 0,303; 2022: p = 0,085). Auch im Mittel über alle Jahre und Varianten ließ sich kein signifikanter Zusammenhang nachweisen (p = 0,137, Abbildung 9). Allerdings war im BBCH-Stadium 60 eine tendenziell geringere Gesamtknöllchenanzahl bei flacher Saattiefe erkennbar (flach: 143,6; tief: 157,1). Ein ähnlicher Trend zeigte sich auch im Stadium BBCH 69 (p = 0,526), wobei auch hier bei flacher Saattiefe eine geringere Knöllchenanzahl beobachtet wurde (flach: 184,3 tief: 195,3).

Bezüglich der Anzahl gesunder Knöllchen wiesen in der Tendenz alle Varianten höhere Werte auf, wenn sie käferisoliert standen – sowohl im Stadium BBCH 60 (Abbildung 10) als auch in BBCH 69 (nicht dargestellt). In den Jahren 2020 und 2021 waren diese Unterschiede im BBCH-Stadium 60 allerdings nicht signifikant, unabhängig von Saattiefe und Saatzeitpunkt. Im Jahr 2022 galt dies ausschließlich für tief und spät gesäte Varianten. Im späteren Entwicklungsstadium (BBCH 69) zeigte sich nur bei spät gesäten Varianten beider Saattiefen im Jahr 2020 kein signifikanter Unterschied. In allen übrigen Fällen sowie im Mittel über alle Jahre hinweg war die Anzahl gesunder Knöllchen in käferexponierten Varianten signifikant geringer – unabhängig von Saatzeitpunkt und Saattiefe. Ebenso wie bei der Gesamtanzahl an Knöllchen konnte weder im Stadium BBCH 60 (p = 0,587, Abbildung 9) noch in BBCH 69 (p = 0,315) ein signifikanter Unterschied in der Anzahl gesunder Knöllchen zwischen flacher und tiefer Saattiefe im Mittel über alle Jahre und Varianten festgestellt werden.

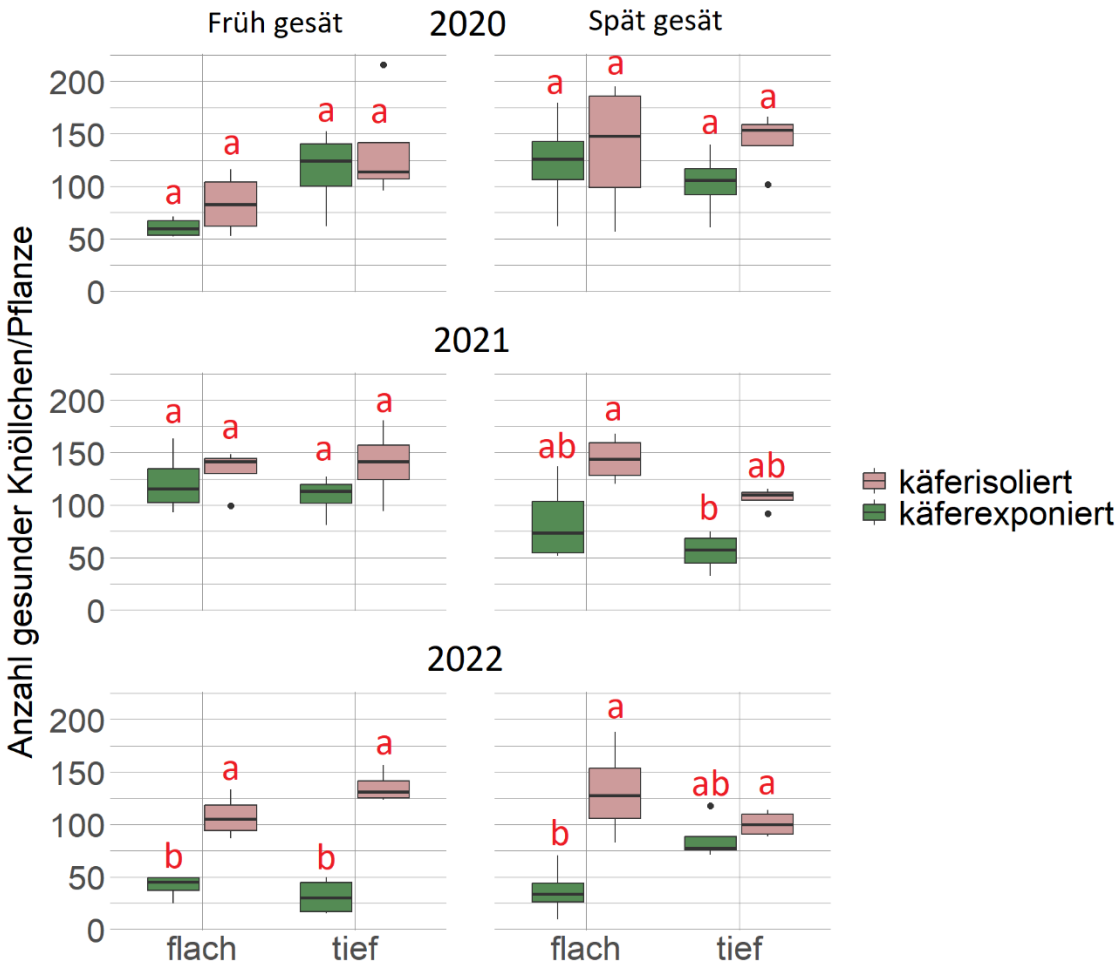

Abbildung 10 Anzahl im BBCH 60 entnommener gesunder Ackerbohnenknöllchen in Abhängigkeit von Jahr, Saattiefe und Aussaatzeitpunkt.

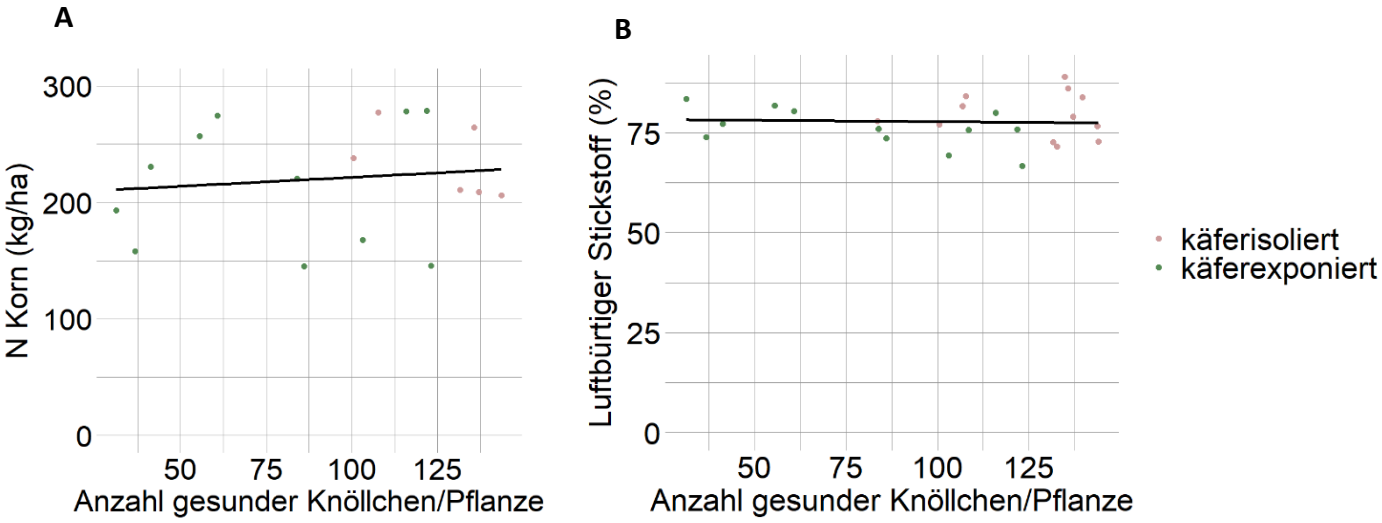

Abbildung 11 Stickstoffertrag im Korn (A) und Anteil des fixierten Luftstickstoffs von Ackerbohnen (B) pro Variante in Abhängigkeit von der Anzahl gesunder Knöllchen im BBCH60, getrennt nach käferisolierten und käferexponierten Varianten. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022

Für den Zusammenhang zwischen der Anzahl gesunder Knöllchen und dem Stickstoffertrag im Korn ergaben sich keine signifikanten Korrelationen – weder zur Knöllchenbonitur im Stadium BBCH 60 (p =0,060; rho=0,38, Abbildung 11 A) noch im Stadium BBCH 69 (p =0,615; rho=0,11). Ebenso konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen gesunden Knöllchen und dem Gesamtstickstoffgehalt festgestellt werden – weder im Stadium BBCH 60 (p = 0,084, rho=0,36) noch in BBCH 69 (p = 0,606, rho=0,11). Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem prozentualen Anteil an luftbürtigem Stickstoff und der Anzahl gesunder Knöllchen wurde ebenfalls nicht nachgewiesen, weder zum ersten (p=0,818; rho=-0,05; Abbildung 11 B), noch zum zweiten Boniturzeitpunkt (p=0,600; rho=-0,11).

4.1.3 Wurzelgesundheit

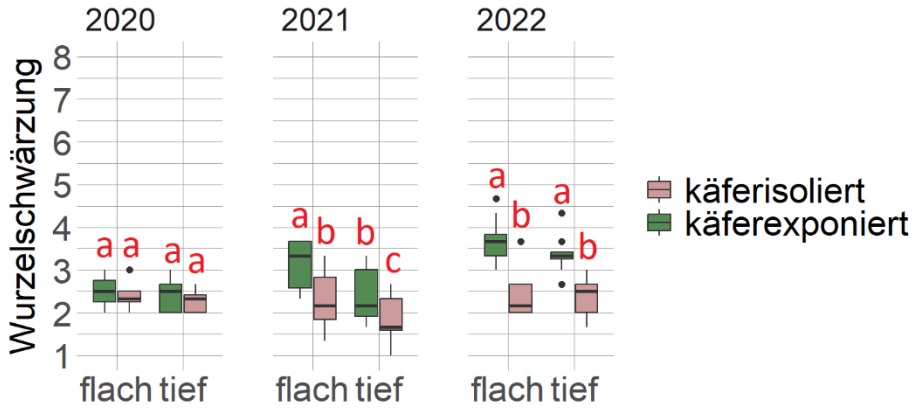

Abbildung 12 Einfluss der S. lineatus*-Exposition auf die Wurzelschwärzung von Ackerbohnen im Stadium BBCH 60, in Bonititurklassen nach Pflughöft (2008) und gemittelt über alle Varianten pro Jahr.*

Im Rahmen der Versuche wurden insgesamt moderate Ausprägungen von Wurzelschwärzungen an Ackerbohnenwurzeln festgestellt. In käferisolierten Varianten lagen die Schwärzungswerte im Entwicklungsstadium BBCH 60 zwischen 1,4 und 2,9 sowie im Stadium BBCH 69 zwischen 2,0 und 3,1. Bei käferexponierten Pflanzen fielen die Werte geringfügig höher aus: Im BBCH 60 zwischen 1,8 und 4,1 und im BBCH 69 zwischen 2,8 und 3,8.

Während der Blüte (BBCH 60) im Jahr 2020 unterschieden sich die Wurzelschwärzungen nicht signifikant zwischen käferexponierten und käferisolierten Varianten – weder über alle Varianten hinweg noch innerhalb einzelner Varianten. In den übrigen Versuchsjahren hingegen wiesen alle käferexponierten Varianten signifikant höhere Schwärzungsgrade auf als die käferisolierten Vergleichsvarianten. Auch zum Ende der Blütephase (BBCH 69) bestanden in den meisten Versuchsvarianten weiterhin signifikante Unterschiede in der Käferexposition. Nur in wenigen Einzelfällen – konkret in den Varianten früh-flach ($p = 0{,}327$) und spät-tief ($p = 0{,}488$) im Jahr 2020 konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Neben der Käferexposition zeigte auch die Saattiefe einen Einfluss auf das Ausmaß der Wurzelschwärzungen: Im Jahr 2021 wiesen käferexponierte, tief gesäte Ackerbohnen signifikant geringere Schwärzungsgrade auf als flach gesäte. Im Jahr 2022 war dieser Trend zwar ebenfalls zu beobachten, jedoch statistisch nicht signifikant. Im Jahr 2020 konnte kein Unterschied festgestellt werden (Abbildung 12).

Darüber hinaus zeigte sich ein schwacher, aber statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl befallener Knöllchen und dem Ausmaß der Wurzelschwärzungen. Dieser Zusammenhang war sowohl im Stadium BBCH 60 ($p = 0{,}005$; $r = 0{,}55$) als auch im Stadium BBCH 69 ($p < 0{,}001$; $r = 0{,}72$) nachweisbar (Abbildung 13).

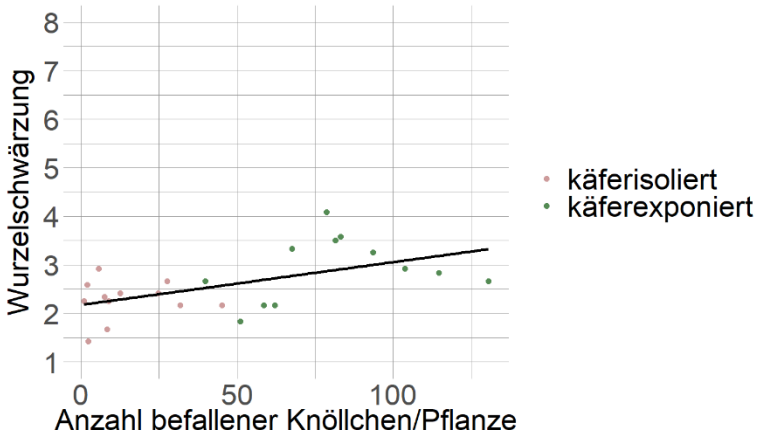

Abbildung 13 Wurzelschwärzung in Boniturklassen nach Pflughöft (2008) in Abhängigkeit von der Anzahl gesunder Knöllchen von Ackerbohnen im BBCH60 bei Käferbefall und Käferausschluss. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022

Diese Beziehung war sowohl im Stadium BBCH 60 ($p = 0{,}005$; $r = 0{,}55$, Abbildung 13) als auch im Stadium BBCH 69 ($p < 0{,}001$; $r = 0{,}72$) deutlich ausgeprägt. Trotz der beobachteten Wurzelschwärzungen ließ sich jedoch über alle Varianten und Versuchsjahre hinweg kein signifikanter Einfluss auf den Stickstoffertrag im Korn feststellen. Weder im BBCH-Stadium 60 ($p = 0{,}174$) noch im BBCH 69 ($p = 0{,}501$) bestand ein hier ein nachweisbarer Zusammenhang.

4.1.4 Stickstoffertrag in der Fruchtfolge

Die Ackerbohne zeigte bei Käferexposition im Mittel signifikant niedrigere Stickstofferträge im Korn – unabhängig von Saatzeitpunkt und Saattiefe (vgl. Abb. Abbildung 14). Früh gesäte Varianten wiesen geringere Ertragseinbußen auf (flach: -16,1%, tief: -19,1%) als spät gesäte, wobei tief gesäte tendenziell bessere Ergebnisse erzielte (-26,9%) als die flach gesäte (flach: -33,2%). Diese Ertragsunterschiede zwischen käferexponierten und käferisolierten Varianten waren im ersten Versuchsjahr geringer (-19,3 %) als in den beiden Folgejahren (2021: -23,4 %; 2022: -26,6 %). Besonders hervorzuheben ist, dass käferexponierte Ackerbohnen trotz Ertragseinbußen einen im Durchschnitt über alle Varianten signifikant höheren Rohproteingehalt im Korn aufwiesen (30,7 %) als käferisolierte (29,2 %), was zu einer teilweisen Kompensation des Stickstoffverlustes führte.

Im darauffolgenden Weizenjahr konnte beobachtet werden, dass auf Flächen mit zuvor käferexponierter Ackerbohne ein tendenziell höherer Korn-Stickstoffertrag erzielt wurde – ebenfalls unabhängig von Saatzeitpunkt und Saattiefe (Abbildung 15 A). Der Effekt war bei Weizenvarianten, die auf flach gesäten Ackerbohnenvarianten folgten am deutlichsten ausgeprägt (früh: +11,2%; spät: +12,9%), statistisch jedoch aufgrund hoher Streuung nicht absicherbar. Die größten Stickstoffertragsunterschiede traten im Schnitt über alle Varianten im ersten Anbaujahr auf (20,1%), während sie in den beiden folgenden Jahren nicht signifikant waren (Abbildung 15).

Im dritten Glied der Fruchtfolge, dem Wickroggen, konnte dieser positive Trend nicht vollständig fortgesetzt werden. Die Stickstofferträge lagen bei fast allen Varianten auf ähnlichem Niveau, unabhängig von der Vorfrucht. Nur bei den flach gesäten Varianten wurde ein geringer Stickstoffertragsvorteil festgestellt (Abbildung 16). Bei den tief gesäten Varianten kehrte sich das Verhältnis hingegen um – hier erzielten Varianten nach käferisolierten Vorfrüchten tendenziell höhere Stickstofferträge.

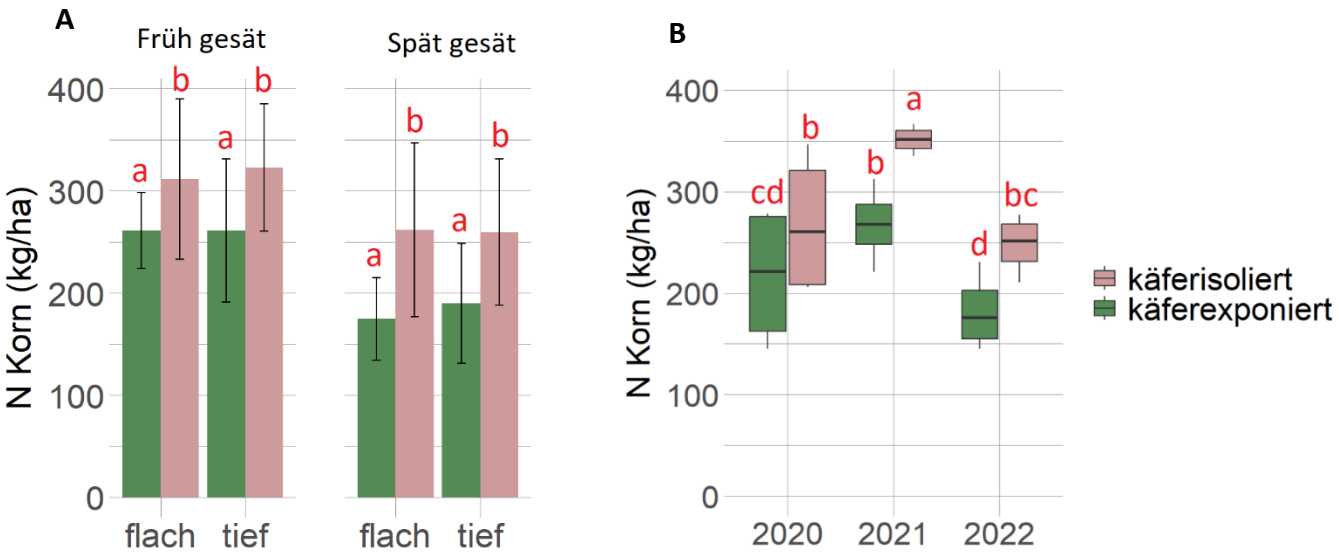

Abbildung 14 Stickstoffertrag von Ackerbohnen im Korn als Mittel über die Untersuchungsjahre 2020-2022 (A) und pro Untersuchungsjahr als Mittel über alle Varianten (B), in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Aussaattiefe und S. lineatus *Exposition.*

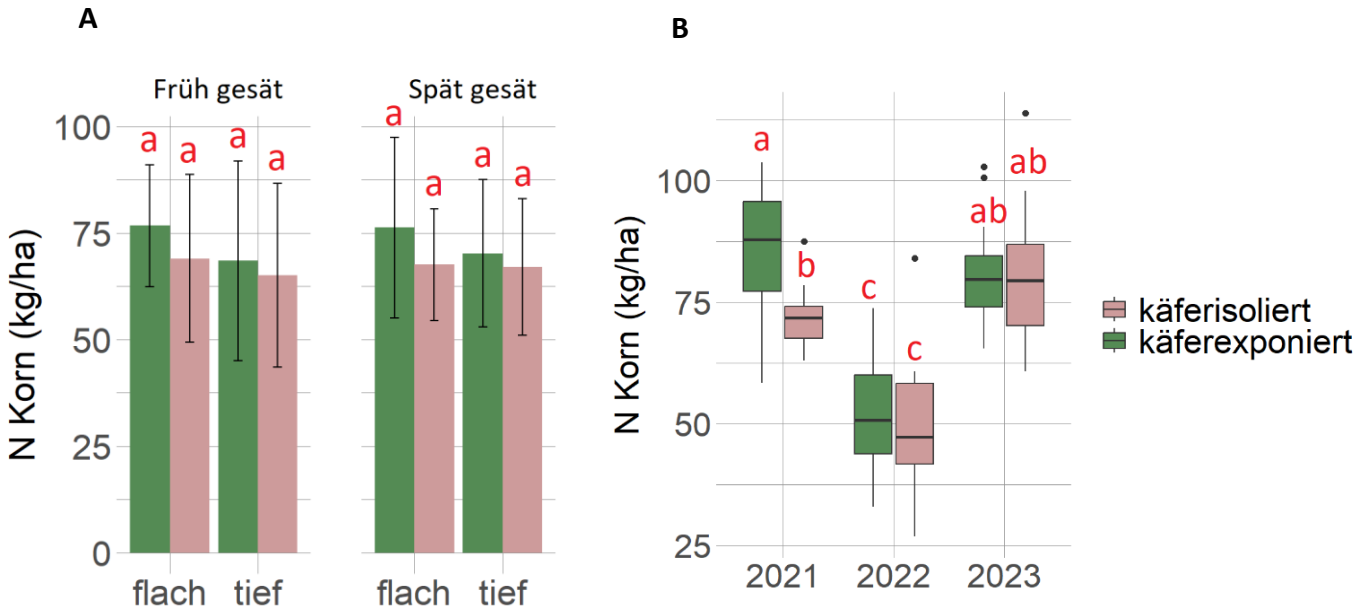

Abbildung 15 Stickstoffertrag von Weizen im Korn als Mittel über die Untersuchungsjahre 2021-2023 (A) und pro Untersuchungsjahr als Mittel über alle Varianten (B), in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Aussaattiefe und S. lineatus *Exposition.*

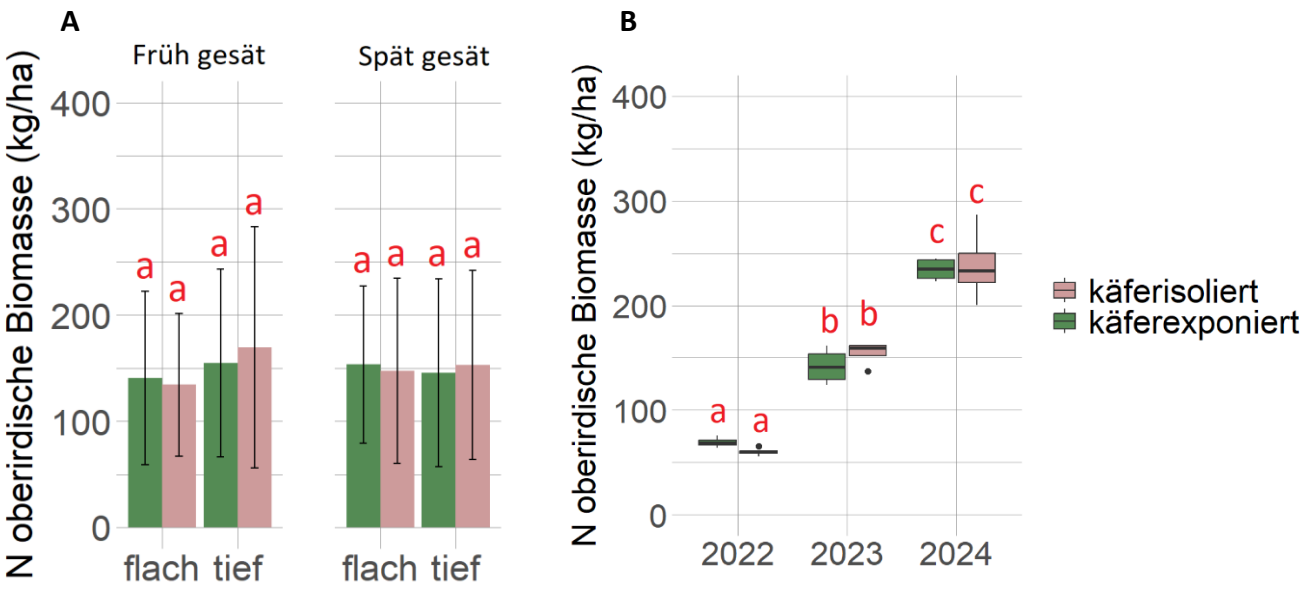

Abbildung 16 Stickstoffertrag der oberirdischen Biomasse von Wickroggen als Mittelwert der Untersuchungsjahre 2022-2024 (A) und pro Untersuchungsjahr (B) als Mittel über alle Varianten, in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Aussaattiefe und S. lineatus*-Exposition der vorausgehenden Ackerbohne. Wickroggen folgte in der Fruchtfolge auf Weizen, der nach der Ackerbohne angebaut wurde."*

In der Gesamtbetrachtung der Stickstoffeffizienz über alle drei Kulturen hinweg zeigte sich, dass früh und flach gesäte Ackerbohnenvarianten in Kombination mit den Folgekulturen Weizen und Wickroggen die geringsten Stickstoffverluste aufwiesen – lediglich 19,0 kg/ha, entsprechend 3,1 %. Die höchsten Verluste traten bei spät und tief gesäten Varianten auf und beliefen sich auf 67,9 kg/ha (11,8 %, Tabelle 3). Wie auch der Stickstoffertrag im Korn war der Gesamtstickstoffgehalt der oberirdischen Biomasse von Weizen, der auf käferexponierte Ackerbohnen folgte, im Jahr 2020 in allen Varianten höher als jener, der auf käferfreie Ackerbohnen folgte. In den beiden anderen Versuchsjahren war der Stickstoffgehalt – mit Ausnahme der tief und früh gesäten Variante – ebenfalls höher, allerdings nicht signifikant.

Betrachtet man ausschließlich den direkten Ertragsverlust zwischen Ackerbohne und Weizen, so zeigte die Variante „früh/flach" mit 11,9 dt/ha den geringsten Verlust. Die zweitbeste Variante war „spät/tief" mit einem Verlust von 12,8 dt/ha – wobei in beiden Fällen der gesteigerte Rohproteingehalt im Korn nicht eingerechnet ist und den wirtschaftlichen Verlust reduzieren dürfte (Tabelle 4).

Tabelle 3 Stickstoffertragsmittelwerte der oberirdischen Biomasse der Fruchtfolgeglieder Ackerbohne, Weizen und Wickroggen in Abhängigkeit von der S. lineatus*-Exposition der vorausgehenden Ackerbohne und den Ackerbaulichen Stellgrößen Saatzeitpunkt und Saattiefe der Ackerbohne.*

				2020-2022		2021-2023		2022-2024		Ø pro Jahr		Fruchtfolge N-Salden
Kultur	**ZP[2]**	**Tiefe**	***S. lineatus***	**N-OB[1] (kg/ha)**	**Diff**	**N-OB (kg/ha)**	**diff**	**N-OB (kg/ha)**	**diff**	**N-OB (kg/ha)**	**diff**	**∑diff [kg/ha] (%)**
Ackerbohne	**früh**	**flach**	exponiert	363,13	-29,41	330,47	-64,13*	288,11	-31,11	327,32	-41,46*	19,00 (-3,1)
			isoliert	392,54		394,60		319,22		368,78		
Weizen			exponiert	138,35	21,78*	111,79	21,26	109,69	5,49	119,94	**16,17***	
			isoliert	116,57		90,53		104,20		103,77		
Wickroggen			exponiert	64,03	-1,42	130,95	-6,03	226,51	26,36	140,50	**6,31**	
			isoliert	65,45		136,98		200,15		134,19		
		∑			-9,65		-48,7		0,74			
Ackerbohne		**Tief**	exponiert	361,20	-60,03	367,68	-37,68*	249,33	-55,13	326,07	-50,95*	-59,42 (-9,2)
			isoliert	421,23		405,36		304,46		377,02		
Weizen			exponiert	142,15	25,40*	76,30	-0,62	94,68	-6,11	104,37	**6,24**	
			isoliert	116,70		76,92		100,79		98,13		
Wickroggen			exponiert	67,89	8,38	151,36	-10,58	244,82	-41,96	154,70	-14,71	
			isoliert	59,51		161,94		286,78		169,41		
		∑			-26,25		-48,88		-103,2			
Ackerbohne	**spät**	**flach**	exponiert	208,27	-69,46*	265,61	-150,60*	230,55	-32,86*	234,81	-84,31*	-62,20 (-11,0)
			isoliert	277,73		416,21		263,41		319,12		
Weizen			exponiert	147,75	34,70*	95,00	3,05	106,63	10,10	116,46	**15,95***	
			isoliert	113,05		91,95		96,53		100,51		
Wickroggen			exponiert	75,58	19,38	161,56	4,77	222,94	-6,11	153,36	**6,16**	
			isoliert	55,75		156,79		229,05		147,20		
		∑			-15,38		-142,78		-28,87			
Ackerbohne		**Tief**	exponiert	232,87	-50,68*	309,75	-75,89*	222,79	-76,26*	255,14	-67,61*	-67,94 (-11,8)
			isoliert	283,55		385,64		299,05		322,75		
Weizen			exponiert	131,83	12,00*	91,11	6,83	96,37	2,35	106,44	**7,07**	
			isoliert	119,83		84,28		94,02		99,37		
Wickroggen			exponiert	69,60	9,72	123,88	-37,69	243,03	5,8	145,50	-7,4	
			isoliert	59,88		161,57		237,23		152,90		
		∑			-28,96		-106,75		-68,11			

[1] OB = oberirdische Biomasse. [2] ZP=Aussaatzeitpunkt. * Signifikanzprüfung basierend auf gemischten Modellen ($p < 0,05$).

Tabelle 4 Ertragsmittelwerte der Fruchtfolgeglieder Ackerbohne und Weizen in Abhängigkeit von der S. lineatus*-Exposition der vorausgehenden Ackerbohne und den ackerbaulichen Stellgrößen Saatzeitpunkt und Saattiefe der Ackerbohne.*

				2020-2022		2021-2023		2022-2024		Ø pro Jahr		Fruchtfolge Ertrag-Salden
Kultur	**ZP[1]**	**Tiefe**	***S. lineatus***	**Ertrag (dt/ha)**	**diff**	**Ertrag (dt/ha)**	**diff**	**Ertrag (dt/ha)**	**diff**	**Ertrag (dt/ha)**	**Diff (%)**	**∑diff [dt/ha] (%)**
Ackerbohne	**früh**	**flach**	exponiert	53,95	-18,41*	56,89	-16,32*	44,72	-12,65*	51,85	-15,80*	-11,84 (-10,8)
			isoliert	72,36		73,21		57,37		67,65		
Weizen			exponiert	48,00	7,26*	39,82	5,80	50,90	-1,18	46,24	3,96*	
			isoliert	40,74		34,02		52,08		42,28		
		∑			-11,15		-10,52		-13,83			
Ackerbohne		**Tief**	exponiert	54,91	-25,33*	62,63	-13,90*	29,22	-20,78*	48,92	-21,67*	-19,10 (-17,3)
			isoliert	80,24		76,53		55,00		70,59		
Weizen			exponiert	49,22	9,38*	28,97	-1,2	48,71	-0,47	42,30	2,57	
			isoliert	39,84		30,17		49,18		39,73		
		∑			-15,95		-15,10		-21,25			
Ackerbohne	**spät**	**flach**	exponiert	31,11	-15,20*	47,29	-29,16*	32,83	-10,12*	37,08	-18,16*	-13,91 (-14,4)
			isoliert	46,31		76,45		42,95		55,24		
Weizen			exponiert	50,13	10,31*	34,67	-0,84	50,80	3,28	45,20	4,25*	
			isoliert	39,82		35,51		47,52		40,95		
		∑			-4,89		-30,00		-6,84			
Ackerbohne		**Tief**	exponiert	34,93	-10,55*	53,48	-16,99*	29,97	-18,35*	39,46	-15,30*	-12,79 (-13,4)
			isoliert	45,48		70,47		48,32		54,76		
Weizen			exponiert	45,77	3,46*	35,40	2,65	48,22	1,42	43,13	2,51	
			isoliert	42,31		32,75		46,80		40,62		
		∑			-7,09		-14,34		-16,93			

[1] ZP=Aussaatzeitpunkt. * Signifikanzprüfung basierend auf gemischten Modellen ($p < 0,05$).

4.2 Erbsen: Auswirkung der Saatzeit auf Blattrandkäferbefall, Ertrag und die Nachfrüchte Winterweizen und Wickroggen

4.2.1 Buchtenfraß

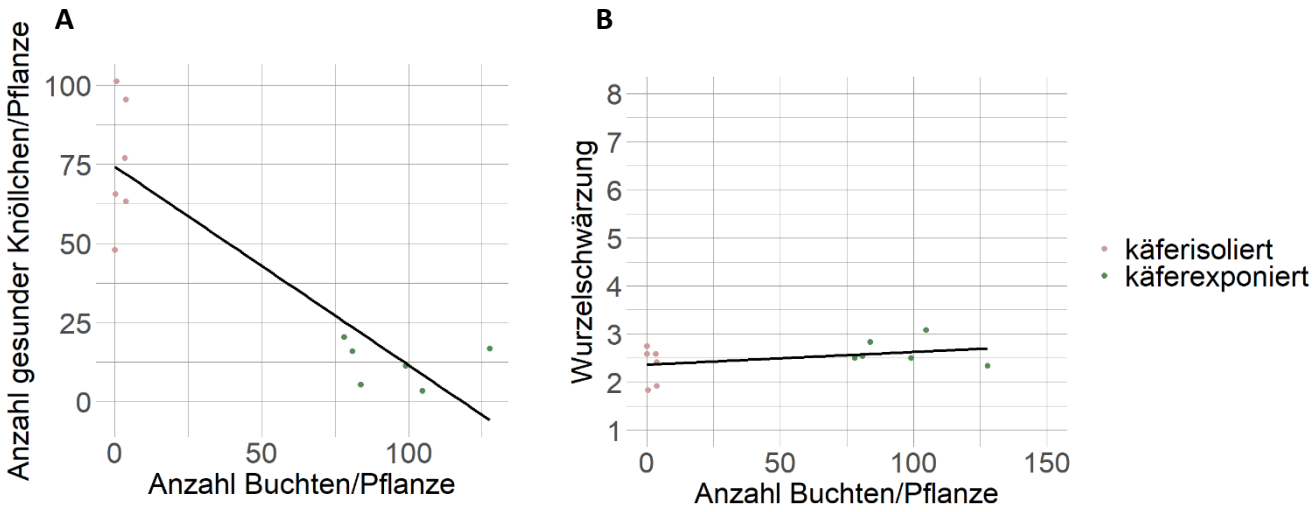

Abbildung 17 Zusammenhang zwischen der Anzahl gezählter Buchten pro Erbsenpflanze und der Anzahl gesunder Knöllchen (A) und zwischen Fraßschaden und Wurzelschwärzung in Boniturklassen nach Pflughöft (2008) (A) aller im Versuch beprobten Varianten, farblich getrennt nach käferisolierten und käferexponierten Varianten. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022

Die Auswertung der Beziehung zwischen der Anzahl der Fraßbuchten und der Anzahl gesunder Knöllchen zeigte, sowohl während der Blüte (BBCH 60, Abbildung 17 A) als auch während der Abblüte (BBCH 69) einen deutlichen Unterschied zwischen käferisolierten und käferexponierten Varianten ($p<0{,}001$). Während käferisolierte Pflanzen durchweg eine hohe Anzahl gesunder Knöllchen bei gleichzeitig sehr geringer Buchtenanzahl aufwiesen, zeigten käferexponierte Pflanzen eine deutlich höhere Fraßintensität, verbunden mit einer stark reduzierten Zahl gesunder Knöllchen. Anders als bei Ackerbohnen handelte es sich bei Erbsen um ein einheitlicheres Befallsbild außerhalb der Netze, weshalb ein kontinuierlicher Zusammenhang zwischen der Anzahl der Buchten und der Anzahl gesunder Knöllchen nicht feststellbar und daher innerhalb der Gruppen nicht signifikant ist. Im Stadium BBCH 60 ergaben sich für käferexponierte Pflanzen ein p-Wert von 0,654 ($r = -0{,}10$) und für käferisolierte Pflanzen ein p-Wert von 0,132 ($r = 0{,}32$). Im BBCH-Stadium 69 lagen die p-Werte bei 0,593 ($r = 0{,}11$) für die käferexponierten und bei 0,716 ($rho = 0{,}08$) für die käferisolierten Pflanzen. Zwischen Buchtenfraß und der Intensität der Wurzelschwärzungen konnte weder im BBCH 60 ($p=0{,}130$, $rho=0{,}22$, Abbildung 17 B) noch im BBCH 69 ($p=0{,}270$, $rho=0{,}13$) ein signifikanter Zusammenhang ermittelt werden. Gleiches galt für den Anteil des luftbürtigen Stickstoffs ($p=0{,}287$; $rho=-0{,}34$) und für den Zusammenhang zwischen Fraßschaden und dem Stickstoffertrag im Korn ($p=0{,}128$; $rho=-0{,}47$).

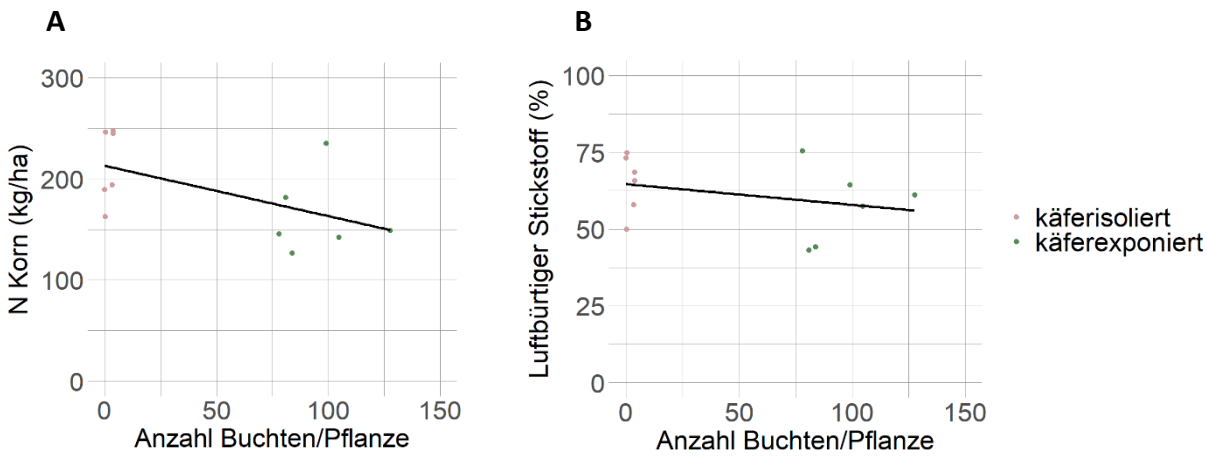

Abbildung 18 Stickstoffertrag im Korn (A) und Anteil des fixierten Luftstickstoffs von Erbsen (B) pro Variante in Abhängigkeit von der Anzahl gesunder Knöllchen im BBCH60, getrennt nach käferisolierten und käferexponierten Varianten. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022

4.2.2 Knöllchenschaden

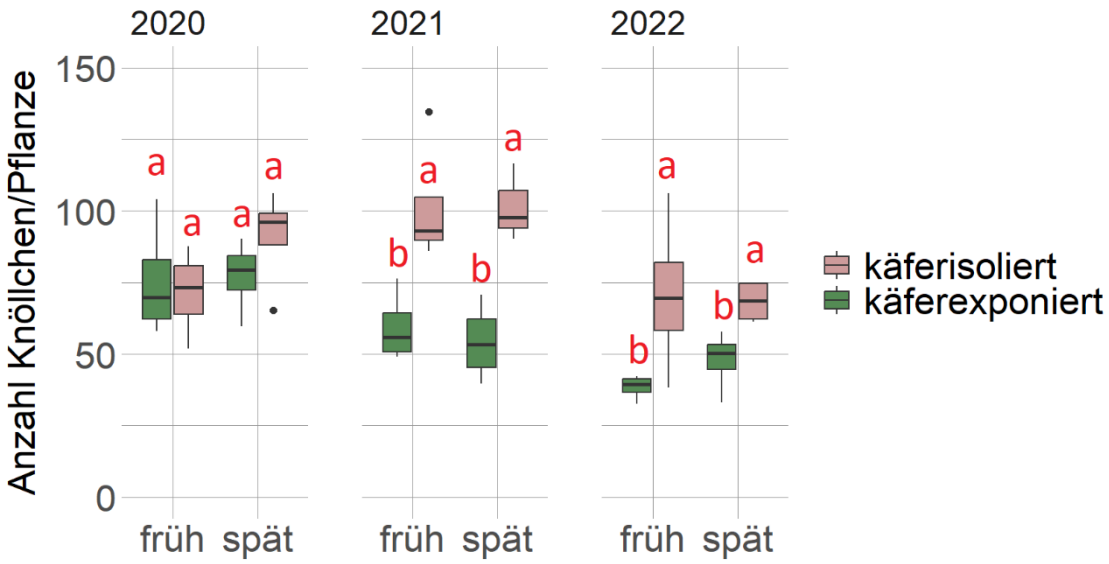

Abbildung 19 Gesamtanzahl im BBCH 60 entnommener Knöllchen von Erbsen in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Jahr und S. lineatus *-Exposition.*

Unabhängig davon in welchem Entwicklungsstadium die Erbsen 2020 beprobt wurden, konnte hinsichtlich der Gesamtanzahl der Knöllchen pro Pflanze kein signifikanter Unterschied zwischen den behandelten Varianten festgestellt werden. In den folgenden Untersuchungsjahren 2021 und 2022 war die Gesamtknöllchenanzahl bei käferexponierten Pflanzen jedoch signifikant niedriger – unabhängig davon, ob die Erbsen früh oder spät ausgesät wurden (Abbildung 19) und in welchem Stadium beprobt wurde. Eine Ausnahme bildete die späte Aussaatvariante im Jahr 2022, entnommen im BBCH 69, bei der käferexponierte Pflanzen eine höhere Gesamtknöllchenzahl aufwiesen (82,2), als die

käferisolierten (66,6; nicht dargestellt). Dieser Unterschied war jedoch nicht statistisch signifikant (p=0.3171).

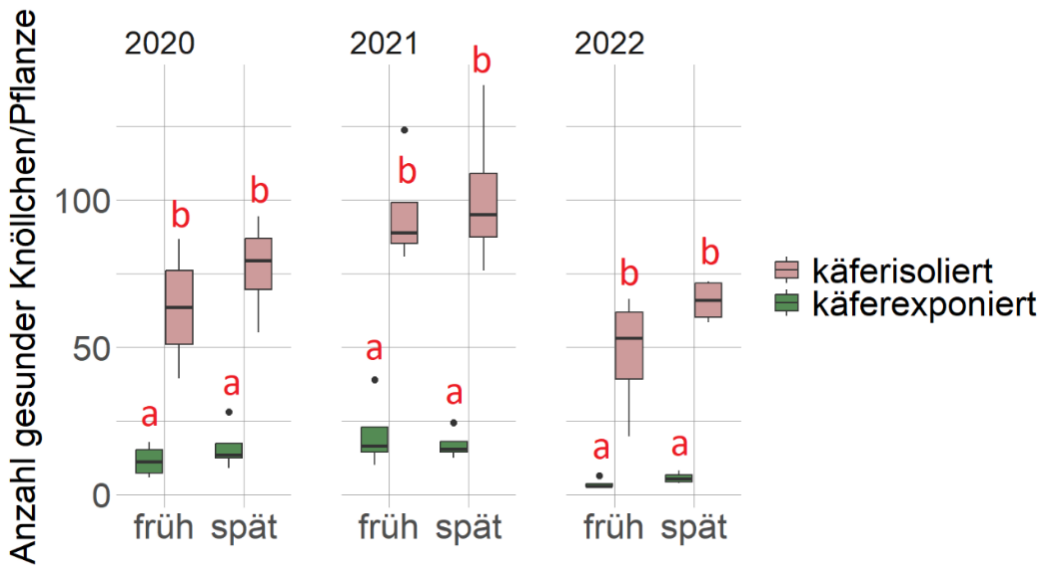

Abbildung 20 Anzahl gesunder, im BBCH 60 entnommener Knöllchen von Erbsen in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Jahr und S. lineatus *-Exposition.*

In allen drei Versuchsjahren und zu beiden Beprobungszeitpunkten zeigten sich signifikant höhere Anzahlen gesunder Knöllchen in den käferisolierten Varianten im Vergleich zu den käferexponierten. Besonders deutlich fiel dieser Unterschied im Jahr 2021 aus: So wurden bei der früh gesäten und im BBCH-Stadium 60 beprobten Variante lediglich 20,5 gesunde Knöllchen pro Pflanze unter Käferexposition festgestellt, während käferisolierte Pflanzen im Durchschnitt 95,5 gesunde Knöllchen bildeten (vgl. Abbildung 20). Ein ähnlich ausgeprägter Unterschied zeigte sich bei der im BBCH-Stadium 69 beprobten, früh gesäten Variante mit 15,3 gesunden Knöllchen unter Käferexposition gegenüber 92,8 bei käferisolierten Pflanzen.

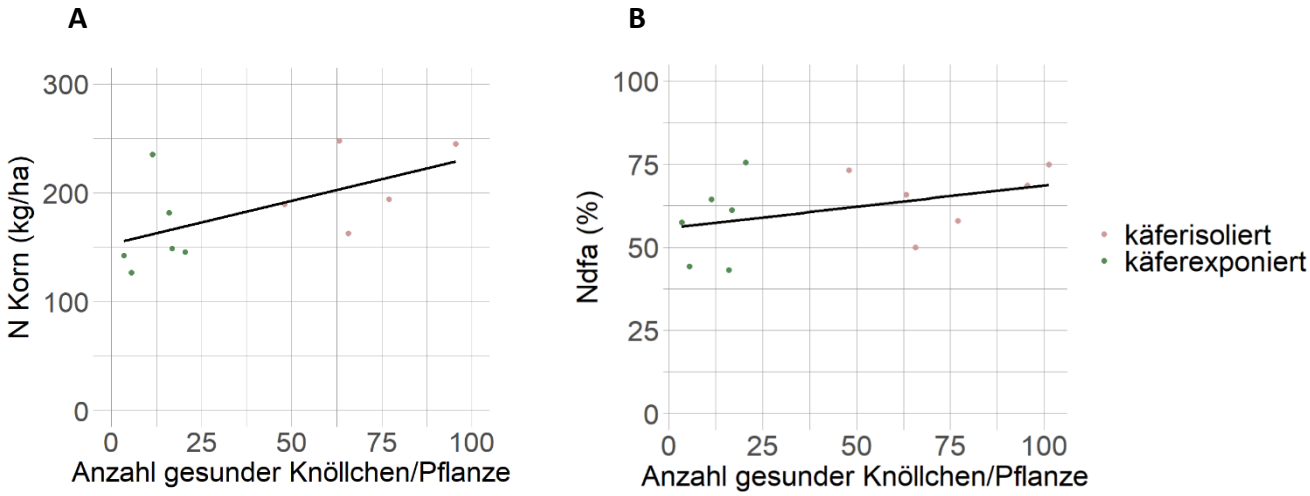

Abbildung 21 Stickstoffertrag im Korn (A) und Anteil des fixierten Luftstickstoffs (B) von Erbsen pro Variante über alle Untersuchungsjahre in Abhängigkeit von der Anzahl gesunder Knöllchen im BBCH60, getrennt nach käferisolierten und käferexponierten Varianten. Punkte: grün = käferexponiert, rosa = käferisoliert, Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022

Anders als bei Ackerbohnen zeigte sich bei Erbsen eine signifikante positive Korrelation zwischen der Anzahl gesunder Knöllchen und dem Stickstoffertrag im Korn, sowohl im BBCH 60 ($p = 0{,}0159$; $r = 0{,}67$, siehe Abbildung 21) als auch im BBCH 69 ($p = 0{,}0208$; $r = 0{,}66$). Die Korrelation zwischen dem Stickstoffertrag im Korn und dem prozentualen Anteil des fixierten Stickstoffs war zwar schwächer und nicht signifikant (BBCH 60: $p = 0{,}1836$, $r= 0{,}41$; BBCH 69: $p = 0{,}1712$, $r= 0{,}45$), späte Varianten zeigten jedoch eine geringere prozentuale Fixierleistung (Abbildung 22).

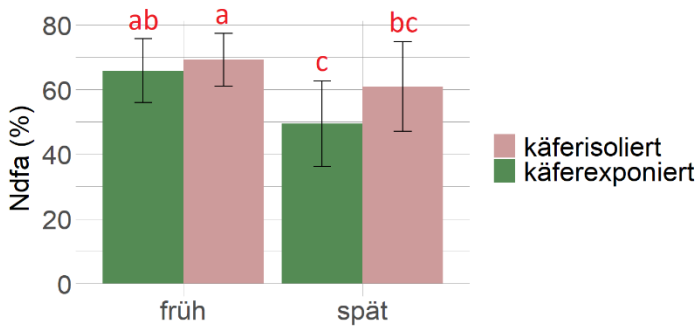

Abbildung 22 Anteil des fixierten Luftstickstoffs von früh und spät gesäten Erbsen im Mittel über alle Untersuchungsjahre getrennt nach käferisolierten und käferexponierten Varianten. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022

4.2.3 Wurzelgesundheit

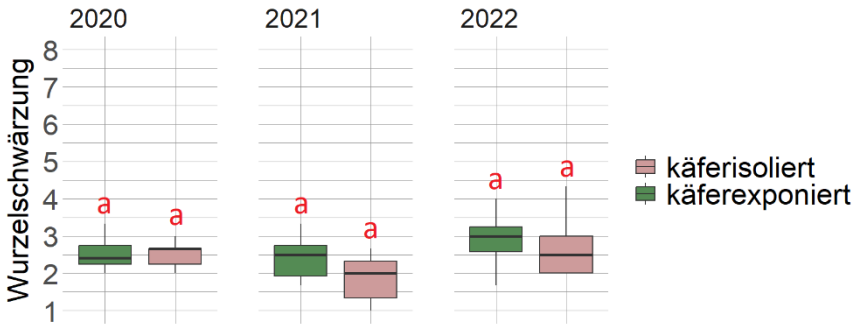

Abbildung 23 Einfluss von Jahr und S. lineatus*-Exposition auf die Wurzelschwärzung von Erbsen im Stadium BBCH 60 in Boniturklassen nach Pflughöft (2008) und gemittelt über alle Varianten. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022*

Wie bei Ackerbohnen traten auch bei Erbsen insgesamt nur moderate Wurzelschwärzungen auf. Zum Blühbeginn erreichten käferexponierte Varianten tendenziell stärkere Schwärzungswerte mit Spannen zwischen 2,3 bis 3,1, während sich die käferisolierten Varianten zwischen 1,8 und 2,8 bewegten (Abbildung 23). Zum Ende der Blüte lagen die Skalenwerte zwischen 2,1 und 3,7 bei käferisolierten und 2,9 bei käferexponierten Varianten (statistisch nicht signifikant). Auch ein Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Wurzelschwärzung und dem Stickstoffertrag im Korn konnte sowohl im Entwicklungsstadium BBCH 60 ($p = 0{,}501$) als auch in BBCH 69 ($p = 0{,}6417$) nicht nachgewiesen werden.

4.2.4 Stickstoffertrag in der Fruchtfolge

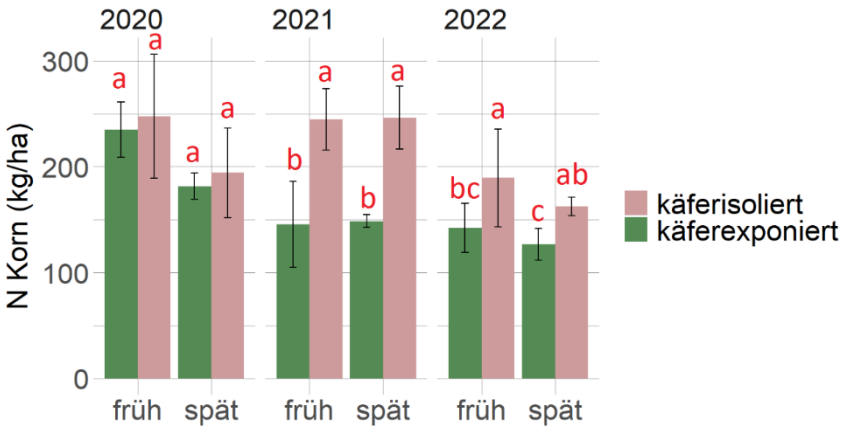

Abbildung 24 Stickstoffertrag von Erbsen im Korn in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Aussaattiefe und S. lineatus *Exposition in den Jahren 2020 bis 2022.*

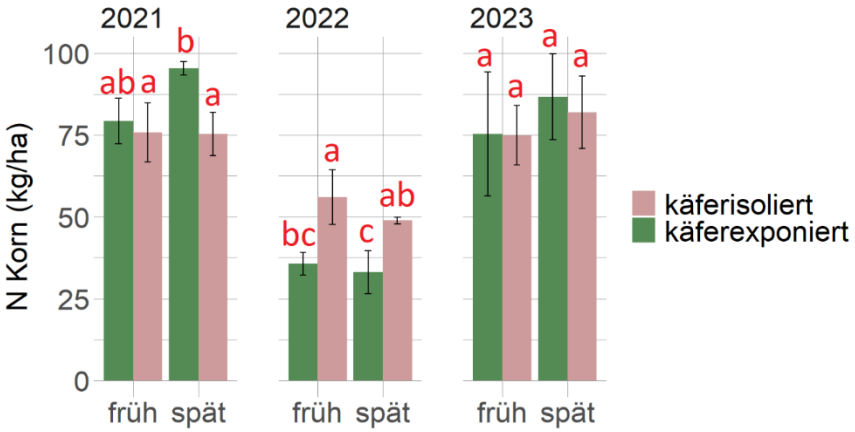

Abbildung 25 Stickstoffertrag von Weizen im Korn in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Aussaattiefe und S. lineatus *Exposition in den Jahren 2021 bis 2023.*

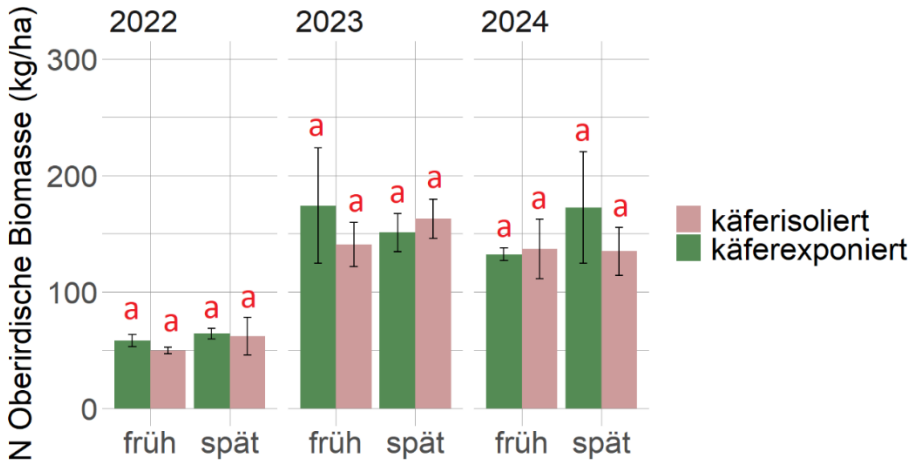

Abbildung 26 Stickstoffertrag der oberirdischen Biomasse von Wickroggen in Abhängigkeit von Aussaatzeitpunkt, Aussaattiefe und S. lineatus *Exposition in den Jahren 2022 bis 2024.*

Der Einfluss von *S. lineatus* auf den Stickstoffertrag im Korn von Erbsen variierte deutlich zwischen den Versuchsjahren. Im Jahr 2020 konnten keine signifikanten Einbußen im Stickstoffertrag im Korn, im Ertrag oder im Gesamtstickstoffgehalt der oberirdischen Biomasse festgestellt werden (Abbildung 24, Tabelle 5). Im Gegenteil ergab der kombinierte Ertrag aus Erbsen und dem nachfolgenden Weizen eine positive Gesamtbilanz, und zwar sowohl bei den früh gesäten Varianten mit einem Plus von 3,3 dt/ha als auch bei den spät gesäten Varianten mit einem Zuwachs von 7,7 dt/ha (Tabelle 6).

Im Jahr 2021 hingegen kam es bei den Erbsen zu erheblichen Verlusten. Der Stickstoffverlust in der oberirdischen Biomasse betrug bis zu 114,5 kg N/ha bei früh gesäten Varianten und 110,4 kg N/ha bei spät gesäten Varianten (Tabelle 5). Auch im Weizen der auf die Erbsen 2021 folgte traten unabhängig von der Variante deutliche Ertrags- und Stickstoffertragseinbußen auf (Tabelle 5, Tabelle 6).

Im Versuchsjahr 2022 wurden mit 46,8 kg N/ha (früh) und 40,0 kg N/ha (spät) moderatere aber signifikante Verluste beim Gesamtstickstoff festgestellt. Die Ertragseinbußen lagen bei 8,9 dt/ha (früh) bzw. 7,4 dt/ha (spät) und waren nicht statistisch signifikant. Trotz dieser Reduktionen zeigte sich in 2022 über die gesamte Fruchtfolge (Erbse – Weizen – Wickroggen) insbesondere in späten Varianten keine signifikante Ertragsminderung (Tabelle 5). Es konnte sogar eine schwach positive Bilanz des Gesamtstickstoffs in der oberirdischen Biomasse festgestellt werden (+1,7 kg/ha, Tabelle 6).

Tabelle 5 Stickstoffertragsmittelwerte der oberirdischen Biomasse der Fruchtfolgeglieder Erbse, Weizen und Wickroggen in Abhängigkeit von der S. lineatus*-Exposition und dem Aussaatzeitpunkt der vorausgehenden Erbse*

			2020-2022		2021-2023		2022-2024		Ø pro Jahr		Fruchtfolge N-Salden
Kultur	**ZP[2]**	***S. lineatus***	**N-OB[1] (kg/ha)**	**diff**	**N-OB (kg/ha)**	**diff**	**N-OB (kg/ha)**	**diff**	**N-OB (kg/ha)**	**diff**	**∑diff [kg/ha] (%)**
Erbse	**Früh**	exponiert isoliert	273,47 293,94	-20,47	169,44 283,95	-114,51*	167,17 213,97	-46,80*	203,36 263,95	-60,59*	-56.75 (-11,9)
Weizen		exponiert isoliert	133,23 127,73	5,50	65,70 98,07	-32,37*	90,43 89,32	1,11	96,47 105,04	-8,59	
Wickroggen		exponiert isoliert	58,25 49,76	8,49	173,97 140,73	33,24	132,30 136,73	-4,43	121,50 109,07	**12,43**	
	∑			-6,48		-113,64		-50,13			
Erbse	**Spät**	exponiert isoliert	238,18 260,30	-22,12	179,52 289,95	-110,43*	151,23 191,27	-40,04*	189,64 247,17	-57,53*	-44,02 (-9,3)
Weizen		exponiert isoliert	159,69 127,96	31,73*	61,03 83,44	-22,41*	105,33 102,30	3,03	108,68 104,57	**4,11**	
Wickroggen		exponiert isoliert	64,23 61,95	2,28	150,88 162,68	-11,80	172,51 134,80	38,71	129,21 119,81	**9,4**	
	∑			11,89		-144,64		**1,70**			

[1] OB = oberirdische Biomasse. [2] ZP=Aussaatzeitpunkt. * Signifikanzprüfung basierend auf gemischten Modellen ($p < 0,05$).

Tabelle 6 Ertragsmittelwerte der Fruchtfolgeglieder Erbse und, Weizen in Abhängigkeit von der S. lineatus*-Exposition und dem Aussaatzeitpunkt der vorausgehenden Erbse*

			2020-2022		2021-2023		2022-2024		Ø pro Jahr		Fruchtfolge Ertrag-Salden
Kultur	**ZP[(1)]**	**S.lineatus**	**Ertrag (dt/ha)**	**diff**	**Ertrag (dt/ha)**	**diff**	**Ertrag (dt/ha)**	**diff**	**Ertrag (dt/ha)**	**diff**	**∑diff [dt/ha] (%)**
Erbse	**Früh**	exponiert isoliert	65,64 63,90	1,74	39,47 62,19	-22,72*	44,87 53,74	-8,87	49,99 59,94	**-9,95**	**-13,4 (-10,0)**
Weizen		exponiert isoliert	44,59 42,99	1,60	24,75 37,37	-12,62*	47,59 46,90	0,69	38,98 42,42	**-3,44***	
	∑			3,34		-35,34		-8,18			
Erbse	**Spät**	exponiert isoliert	48,45 50,10	-1,65	41,07 60,22	-19,15*	37,89 45,30	-7,41	42,47 51,87	**-9,40**	**-7,7 (-8,3)**
Weizen		exponiert isoliert	51,88 42,52	9,36*	24,01 33,63	-9,62*	53,19 47,89	5,30*	43,03 41,35	**1,70**	
	∑			7,71		-28,77		-2,11			

(1) ZP=Aussaatzeitpunkt. * Signifikanzprüfung basierend auf gemischten Modellen ($p < 0,05$).

4.3 Zeitreihenversuch: Einfluss des Saatzeitpunktes auf Knöllchenentwicklung, Wurzelschwärzungen und atmosphärischen Stickstoff im Verlauf der Pflanzenentwicklung

Im Zeitreihenversuch wurden tief und früh und tief und spät gesäte Ackerbohnen wöchentlich auf Knöllchenbildung, Stickstofffixierung und Stickstoffaufnahme im Verlauf der Pflanzenentwicklung untersucht.

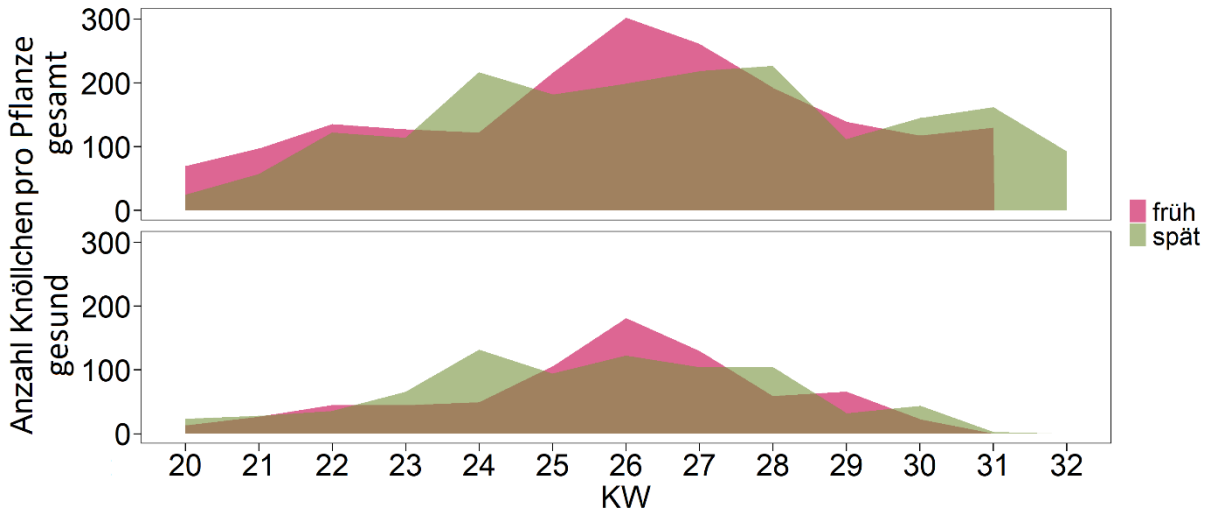

Abbildung 27: Durchschnittliche Anzahl gesunder Knöllchen und die Gesamtknöllchenanzahl von früh und spät gesäten Ackerbohnen (KW= Kalenderwoche, Jahr 2022)

Über alle Kalenderwochen hinweg konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den früh und spät gesäten Varianten hinsichtlich der Gesamtanzahl an Knöllchen ($p = 0{,}403$) sowie der Anzahl gesunder Knöllchen ($p = 0{,}987$) festgestellt werden. In den früh gesäten Varianten zeigte sich das Maximum sowohl der gesunden als auch der insgesamt gebildeten Knöllchen in der Kalenderwoche 26, was dem Entwicklungsstadium BBCH 78 entsprach. Bei den spät gesäten Bereits ab Kalenderwoche 24 (BBCH 65) eine Phase intensiverer Knöllchenneubildung zu beobachten. Ab diesem Zeitpunkt stabilisierten sich die Knöllchenzahlen zunächst auf einem Plateau, bevor sie in den darauffolgenden Wochen wieder abnahmen (Abbildung 27). In den früh gesäten Varianten lag der prozentuale Anteil des luftbürtig gebundenen Stickstoffs ab KW 21 (BBCH 60) überwiegend zwischen 60 % und 80 %. Die spät gesäten Varianten zeigten insgesamt niedrigere Werte mit größeren Schwankungen. Ab etwa KW 25 pendelten sich beide Varianten auf vergleichbare Niveaus ein. Die absolute Menge des fixierten Stickstoffs stieg in den früh gesäten Varianten ab KW 20 kontinuierlich an, erreichte ein Maximum in KW 28 bis 29 und nahm danach wieder ab. In den spät gesäten Varianten verlief der Anstieg deutlich flacher, mit einem niedrigeren Maximum und zeitlich leicht verzögertem Peak (Abbildung 30).

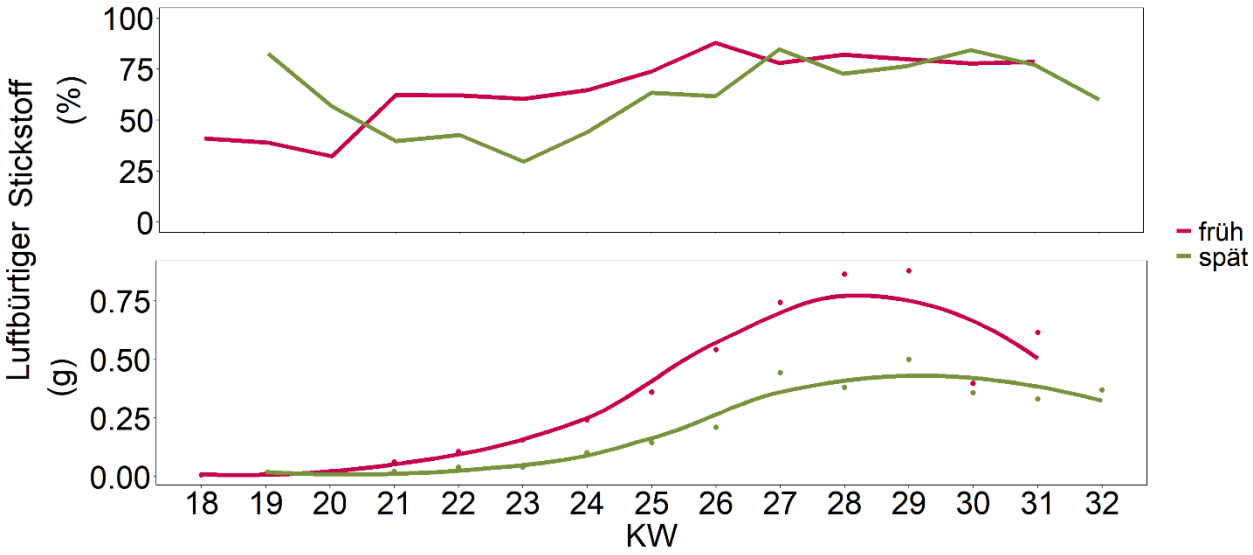

Abbildung 28: Durchschnittliche Anzahl gesunder Knöllchen und die Gesamtknöllchenanzahl von käferexponierten und käferisolierten Ackerbohnen bei früher und später Saat im Laufe der Pflanzenentwicklung (KW=Kalenderwoche, Jahr 2022)

4.4 Netzversuch: Einfluss der Käferexposition auf Knöllchenentwicklung, Wurzelschwärzungen und atmosphärischen Stickstoff im Verlauf der Pflanzenentwicklung unter Netz

Im Netzversuch wurden sowohl die käferexponierten als auch die käferisolierten Varianten unter Netzen kultiviert um mögliche Netzeffekte auszuschließen und den Einfluss von *S. lineatus* auf Knöllchenbildung, Stickstofffixierung und Stickstoffaufnahme im Verlauf der Pflanzenentwicklung zu untersuchen.

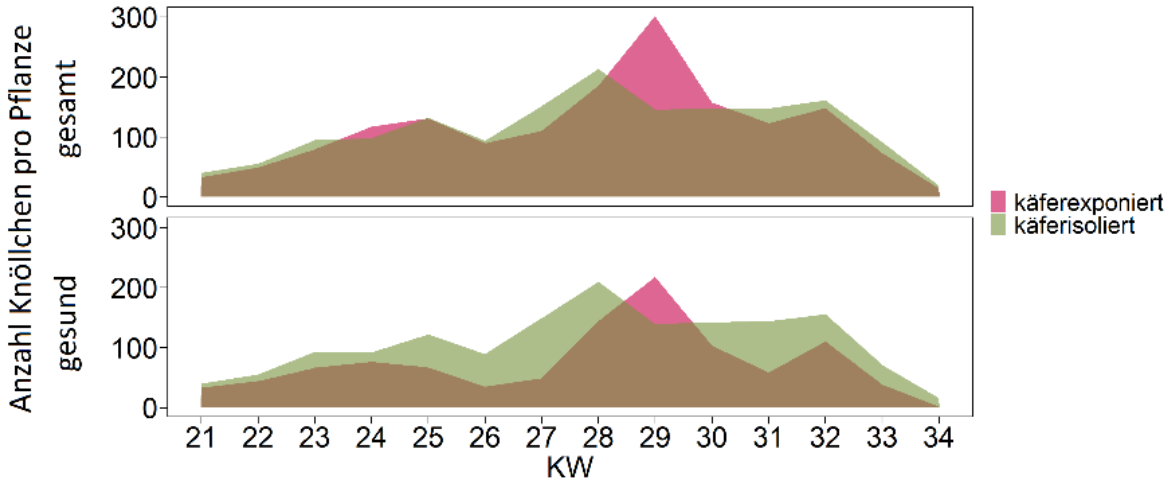

Abbildung 29: Durchschnittliche Anzahl gesunder Knöllchen und die Gesamtknöllchenanzahl von käferexponierten und käferisolierten Ackerbohnen unter Netz im Laufe der Pflanzenentwicklung (KW=Kalenderwoche, Jahr 2023)

Bei den käferexponierten Ackerbohnen unter Netz wurde im Mittel über alle untersuchten Kalenderwochen eine signifikant geringere Anzahl gesunder Knöllchen pro Wurzelprobe und Pflanze festgestellt (durchschnittlich 74) als bei den käferisolierten Pflanzen (durchschnittlich 108 Knöllchen; t-Test, $p<0,001$). Signifikante Unterschiede in der Anzahl gesunder Knöllchen zeigten sich dabei nur in den Kalenderwochen 26, 27, 31 und 34. Die Gesamtzahl der Knöllchen unterschied sich über alle Kalenderwochen hinweg nicht signifikant zwischen den Varianten (t-Test, $p = 0,805$). Eine Ausnahme bildete Kalenderwoche 29: In dieser Woche befand sich die Ackerbohne im Entwicklungsstadium 78. Es wurden in der käferexponierten Variante sowohl mehr gesunde Knöllchen als auch insgesamt mehr Knöllchen gezählt als in der käferisolierten Kontrolle (Abbildung 29). Ein signifikanter Einfluss auf das Ausmaß der Wurzelschwärzung konnte nicht festgestellt werden. Der Mittelwert über alle Kalenderwochen lag bei den käferexponierten Varianten bei 3,6 und bei den käferisolierten Varianten bei 3,3 (t-Test, $p = 0,489$), womit kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungsgruppen bestand.

Die relative Stickstofffixierleistung (in %) unterschied sich in keiner Kalenderwoche signifikant zwischen den beiden Varianten. Ab KW 26 zeigte sich jedoch eine tendenziell geringere absolute Stickstofffixierung bei den käferexponierten Pflanzen (Abbildung 30). Auch der Stickstoffertrag der oberirdischen Biomasse war in den geschädigten Varianten mit durchschnittlich 240 kg N/ha niedriger als in den nicht geschädigten Varianten mit 350 kg N/ha (Abbildung 31). Dieser Unterschied war allerdings nicht signifikant (t-Test, $p = 0,9053$; $df = 4$; $t = -1,576$; einseitig). Auffällig ist hierbei, dass die käferexponierten Pflanzen nicht nur geringere Stickstofferträge erzielten, sondern auch insgesamt weniger Stickstoff aus dem Boden aufnahmen als die käferisolierten Varianten – bei gleichzeitig konstantem Verhältnis zwischen biologischer Stickstofffixierung und Bodenstickstoffaufnahme (Abbildung 30).

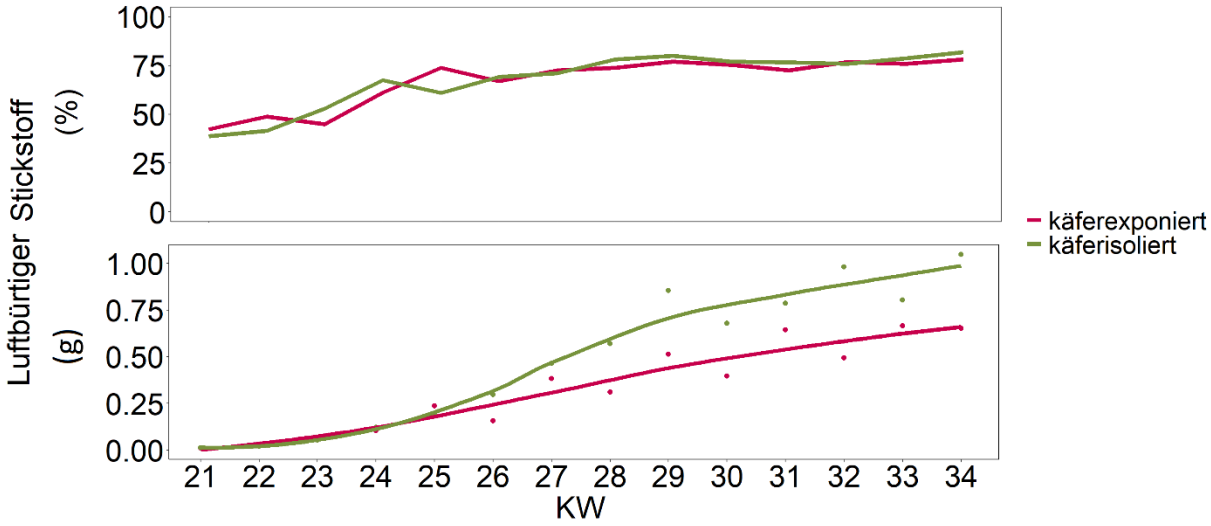

Abbildung 30: Aus der Luft fixierter Stickstoff (absolut in g und relativ in %) von käferisolierten und exponierten Ackerbohnen, angebaut unter Netz im Laufe der Pflanzenentwicklung (KW=Kalenderwoche, Jahr 2023)

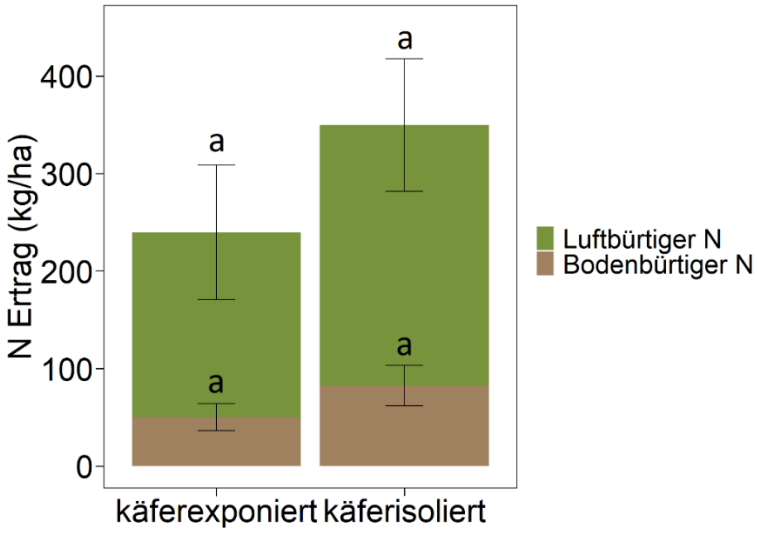

Abbildung 31: Stickstoffertrag der oberirdischen Biomasse von käferisolierten und exponierten Ackerbohnen unter Netz, aufgeteilt nach dem bodenbürtigen- und Luftstickstoffanteil (Jahr 2023).

4.5 Praxisversuche – ökologische vs. integrierte Wirtschaftsweise

Im Rahmen eines Standortvergleichs wurden Ackerbohnen auf einem ökologisch sowie einem integriert wirtschaftenden Betrieb in flach und tief gesäter Variante untersucht. Dabei zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden Bewirtschaftungssystemen im Hinblick auf *S. lineatus* Befall und Stickstoffertrag im Korn.

Auf dem ökologisch bewirtschafteten Standort wurde eine höhere Gesamtanzahl an Knöllchen pro Pflanze ermittelt, während die Anzahl gesunder Knöllchen vergleichbar mit der des integrierten Betriebs blieb. Auf dem integrierten Betrieb war in der tief gesäten Variante ein Trend zu höheren Gesamt- und gesund Knöllchenzahlen zu erkennen, jedoch ohne statistische Signifikanz (Abbildung 32).

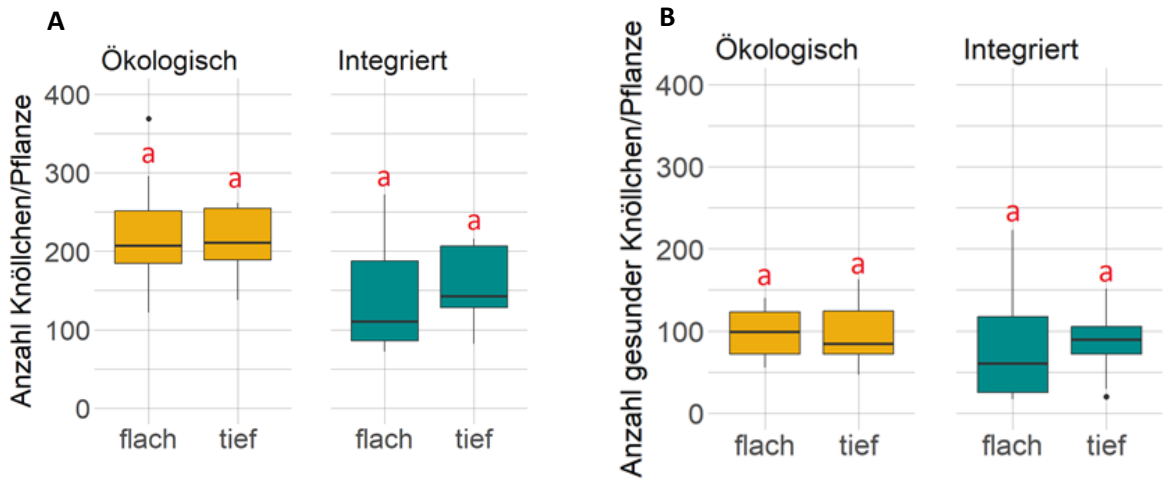

*Abbildung 32 Gesamtanzahl (**A**) Anzahl gesunder Wurzelknöllchen (**B**) von flach und tief gesäten Ackerbohnen im BBCH 60 angebaut auf einem ökologischen und integrierten Betrieb. Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022*

Die relative Stickstofffixierleistung war auf dem integrierten Betrieb insgesamt geringer als auf dem ökologischen Standort (Abbildung 33). Dennoch wurden dort höhere Erträge erzielt (Abbildung 34), was auf eine verstärkte Stickstoffaufnahme aus dem Boden hindeutet. Hinsichtlich der Saattiefe ergab sich weder auf dem ökologischen noch auf dem integrierten Betrieb ein signifikanter Unterschied in der relativen Stickstofffixierleistung zwischen den flach und tief gesäten Varianten. bezüglich der Qualität zeigte sich ein leichter Vorteil für die flach gesäte Variante auf dem Ökobetrieb, die etwas höhere Rohproteingehalte aufwies.

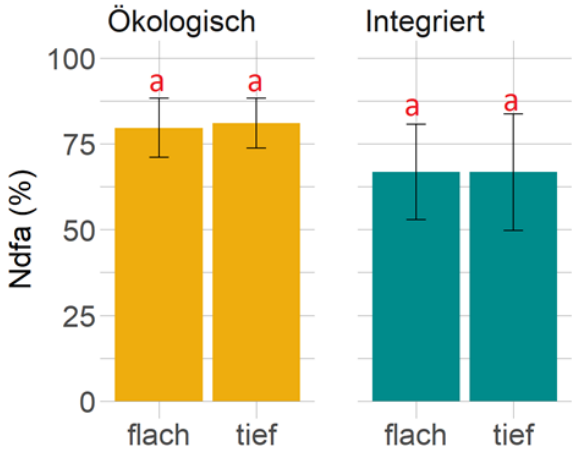

Abbildung 33 Relativer Anteil an fixiertem Stickstoff bei Ackerbohnen, angebaut auf einem ökologisch und integriert wirtschaftendem Betrieb, getrennt nach Saattiefe Ergebnisse aus drei Anbaujahren: 2020-2022

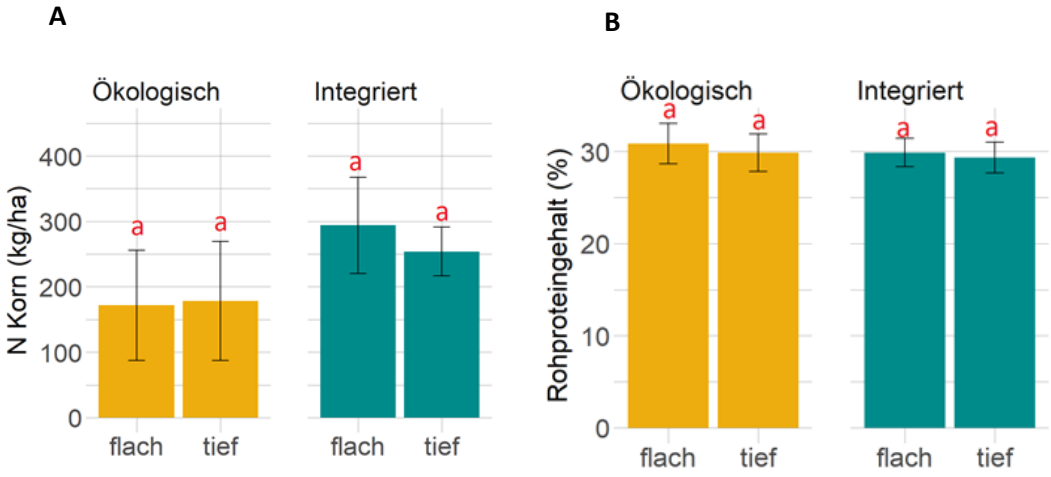

Abbildung 34: Stickstoffertrag im Korn und Rohproteingehalt von Ackerbohnen als Mittel über drei Anbaujahre (2020-2022), getrennt nach tiefer und flacher Aussaat, angebaut auf einem ökologisch und einem integriert wirtschaftenden Betrieb.

Die Weizenerträge im Folgejahr fielen auf dem ökologischen Betrieb insgesamt deutlich geringer aus als auf dem integrierten Standort. Auch hier zeigte sich in der flach gesäten Variante ein tendenziell höherer Ertrag, jedoch ohne statistische Signifikanz Abbildung 35.

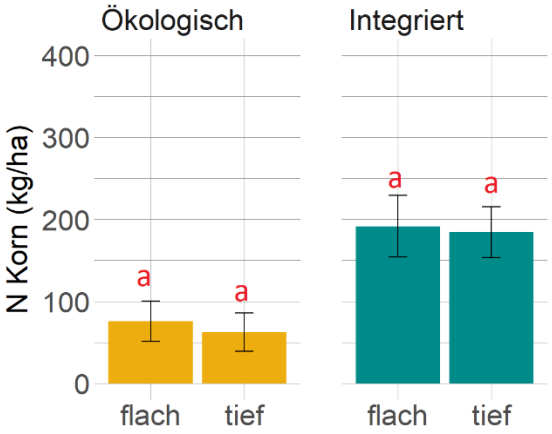

Abbildung 35: Stickstoffertrag im Korn von Weizen als Mittel über drei Anbaujahre (integriert: 2021-2023; öko nur 2021-2022) getrennt nach tiefer und flacher Aussaat der vorhergehenden Kultur Ackerbohne, angebaut auf einem ökologisch und einem integriert wirtschaftenden Betrieb.

5 Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen, dass die Käferexposition die Knöllchenbildung und -gesundheit bei Ackerbohne und Erbse bis hin zu Ertragsminderungen beeinflusst, jedoch je nach Kultur in deutlich unterschiedlicher Weise. Die Versuchsdaten erlauben darüber hinaus differenzierte Rückschlüsse auf die Relevanz dieser Prozesse für den Stickstoffhaushalt und die resultierende Ertragsbildung, nicht nur in den Leguminosen selbst, sondern auch für Nachfruchtwirkungen auf die Fruchtfolgeglieder Weizen und Wickroggen. Gleichzeitig zeigen sie, dass diese biotischen Stress-Effekte nicht isoliert zu betrachten sind, sondern auch in starkem Maße von zusätzlichen Jahres- und witterungsbedingten Einflüssen abhängen bzw. diese verstärken.

5.1 Buchtenfraß ist kein sicherer Indikator für N-Fixierung und Ertragsminderung

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung bestätigen für **Ackerbohnen** (Abbildung 6) eine starke positive Korrelation zwischen dem Buchtenfraß durch *S. lineatus* und der Schädigung von Wurzelknöllchen. In abgeschwächter Form galt dies auch für **Erbsen** (Abbildung 17). Dies deckt sich mit den Beobachtungen von Doré und Meynard (1995) die für Erbsen eine vergleichbare Beziehung beschrieben. Allerdings ließ sich in diesen Versuchen bei Erbsen keine signifikante Beziehung zwischen Buchtenfraß, Kornstickstoffertrag oder der relativen N_2-Fixierleistung absichern. Auch bei Ackerbohnen bestand nur eine zwar schwach ausgeprägte, signifikante Korrelation zwischen dem Buchtenfraß und dem Kornstickstoffertrag. Buchtenfraß und die relative N_2-Fixierung waren nicht signifikant korreliert (Abbildung 6). Wie bereits von Vankosky et al. (2011a) und Nielsen (1990) für Erbsen gezeigt wurde, weisen auch diese Ergebnisse darauf hin, dass Blattschadensbonituren nur zur indirekten Einschätzung des Knöllchenbefalls herangezogen werden können, aber keinen sicheren Indikator zur Stickstofffixierleistung liefern. Vor diesem Hintergrund erscheint es problematisch, Behandlungsentscheidungen ausschließlich auf Basis der Blattbonitur zu treffen.

5.2 Knöllchenschäden und Kompensationsfähigkeit

Wie in einschlägiger Literatur bereits beschrieben (Doré und Meynard 1995; Lohaus und Vidal 2010; Vankosky et al. 2011a), hatte die Käferexposition durch *S. lineatus* auch in diesem Versuch einen negativen Einfluss auf die Knöllchengesundheit von Ackerbohnen und Erbsen. Insbesondere bei **Ackerbohnen** war über alle Jahre hinweg eine Tendenz zu einer geringeren Anzahl gesunder Knöllchen in den käferexponierten Varianten erkennbar, wobei dieser Unterschied nur im Jahr 2022 signifikant ausfiel (Abbildung 10). Gleichzeitig wurde bei käferexponierten Varianten der Ackerbohne im Mittel über alle Jahre und Varianten eine höhere Gesamtanzahl an Knöllchen bei käferexponierten Varianten festgestellt (Abbildung 8). Diese Beobachtung weist auf ein, wie bereits von Nielsen (1990) vermutete

Regenerationspotenzial der Ackerbohne hin, Knöllchenschäden durch laufende Neubildung funktioneller Knöllchen über die gesamte Vegetationsperiode auszugleichen (Abbildung 29). Ein vergleichbarer kompensatorischer Effekt wurde auch für andere Leguminosenarten und Schädlinge wie bsp. für *Medicago sativa* nach Fraß von *Sitona hispidulus* beschrieben (Quinn und Hall 1992). Besonders deutlich wurde dieser Effekt im Netzversuch mit wöchentlicher Beprobung, bei dem gezeigt werden konnte, dass in späten Entwicklungsstadien (ab BBCH 78, Abbildung 29) eine verstärkte Knöllchennachbildung einsetzte. Nach Jackson (1919) und Almogdad und Semaškienė (2022) erreicht die Populationsdichte der *S. lineatus*-Käfer ihren Höhepunkt in der Blütephase der Wirtspflanze und nimmt im weiteren Vegetationsverlauf wieder ab. Das beobachtete späte regenerative Wachstum der Knöllchen fällt somit zeitlich mit abklingender Schädlingsdichte, also nachlassender Eiablage, Larvenschlupf und damit Befallsdruck im Wurzelraum, zusammen.

Im Gegensatz zu den Ackerbohnen wiesen **Erbsen** in allen Jahren eine signifikant geringere Anzahl an gesunden Knöllchen bei Käferexposition auf (Abbildung 20). Ähnliche Ergebnisse wurden für die Gesamtknöllchenanzahl ermittelt, mit Ausnahme des Jahres 2020 in dem die Anzahl an Gesamtknöllchen nicht signifikant unterschiedlich war (Abbildung 19). Anders als bei Ackerbohnen korrelierte der Stickstoffertrag bei Erbsen signifikant mit der Anzahl gesunder Knöllchen, was möglicherweise auf eine geringere Kompensationsfähigkeit bei Knöllchenverlusten hinweist. In Laborversuchen mit Erbsen konnte Cárcamo et al. (2015) allerdings ebenfalls ein erhöhtes Gesamtknöllchengewicht befallener Pflanzen gegenüber gesunden nachweisen, was auch bei Erbsen eine kompensatorisches Neubildungspotential junger Knöllchen voraussetzt. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Kompensationspotenzial von Erbsen mit vergleichsweise kürzerer Vegetationsperiode/Möglichkeit zur Knöllchenneubildung möglicherweise stärker von der Koinzidenz günstiger-/ungünstiger biotischer und abiotischer Bedingungen abhängt, als bei Ackerbohnen, deren Ertragsbildung von der längeren Vegetationszeit bei gleichzeitig abklingendem Larvenbefallsdruck profitiert.

5.3 Wurzelgesundheit und deren Einfluss auf Knöllchen und Ertrag

Sowohl bei Ackerbohnen als auch bei Erbsen traten Wurzelschwärzungen überwiegend in moderater Ausprägung auf. Bei **Ackerbohnen** wurde ein positiver Zusammenhang zwischen der Schädigung der Knöllchen und dem Ausmaß der Wurzelschwärzung festgestellt (Abbildung 13). Dies könnte darauf hindeuten, dass *S. lineatus*-Larvenfraß als lokale Knöllchenverletzung auch auf den Wurzelapparat ausstrahlt, weil Eintrittspforten für bodenbürtige Pathogene geschaffen werden und so sekundäre Wurzelinfektionen begünstigt werden. Ein vergleichbares Zusammenspiel zwischen Insektenfraß und Pathogeninfektion wurde bereits für anderen Leguminosen beschrieben (Willsey et al. 2017). Für

Erbsen ergab sich weder ein Zusammenhang zwischen Wurzelgesundheit und Knöllchenschäden noch zwischen Wurzelgesundheit und Stickstoffertrag im Korn.

5.4 Stickstofffixierung

Trotz der Unterschiede in der Knöllchengesundheit unterschied sich der relative Anteil des fixierten Stickstoffs aus der Atmosphäre im Mittel über die Jahre nur bei spät gesäten Erbsen signifikant zwischen Käferexponierten und -isolierten Varianten (Abbildung 11, Abbildung 21). Dennoch konnten, teilweise je nach Variante und Jahr erhebliche Unterschiede im Stickstoffertrag im Korn ermittelt werden, was bei gleichbleibender relativer Fixierleistung eine im Schnitt über alle Varianten geringere absolute Fixierleistung bedeutet. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich wenn sowohl käferisolierte als auch -exponierte Ackerbohnen unter Netz standen (Netzversuch, Abbildung 30). Entsprechend wirkte sich der Knöllchenschaden teilweise negativ auf die absolute Fixierleistung aus, jedoch nicht in allen Jahren und allen Varianten.

Im ersten Versuchsjahr gab es beispielsweise sowohl bei Erbsen als auch bei früh gesäten Ackerbohnen keinen signifikanten Unterschied im Gesamtstickstoffertrag und somit auch nicht in der absoluten Fixierleistung. Somit spielen Jahreseffekte und Kulturführung eine entscheidende Rolle. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die Bewertung der N-Fixierleistung als Indikator für Ertragspotenzial differenziert erfolgen muss. Ebenso wurden Erbsen- wie auch Ackerbohnen anders als bei Corre-Hellou et al. (2011) beschrieben, durch Knöllchenschädigung nicht zur abtragenden Frucht, sondern nahmen bei abgesenkter absoluter Fixierleistung prozentual weniger Stickstoff aus dem Boden (Abbildung 31). Dies deutet darauf hin, dass reduzierter Stickstoffertrag nicht allein durch die Beeinträchtigung der biologischen Fixierung erklärbar ist, sondern möglicherweise auch durch eine allgemein eingeschränkte Leistungsfähigkeit des Wurzelapparats für boden- und luftbürtigen N und Nährstoffaufnahme bei Wurzelwachstum infolge des Schädlingsbefalls beeinflusst wurde.

5.5 Ertrag und witterungsabhängige Kompensation

Insbesondere bei **Ackerbohnen** war der Ertrag in den käferexponierten Varianten in allen Jahren signifikant reduziert. Der Stickstoffertrag der oberirdischen Biomasse unterschied sich jedoch nur im Jahr 2021 signifikant, was vermutlich auf den teilweise höheren Rohproteingehalt in den käferexponierten Varianten zurückzuführen ist (Tabelle 3). **Erbsen** reagierten, wie auch beim Knöllchenschaden insgesamt stärker auf jahreszeitliche Effekte und zeigten vor allem im Startjahr 2020 keinen signifikanten Ertragsrückgang bei Käferexposition, während in 2021 erhebliche Ertrags- und Stickstoffverluste auftraten. Auch in einschlägiger Literatur finden sich variierende Angaben zur Ertragswirksamkeit von *S. lineatus*, mit großen Unterschieden zwischen den Versuchsjahren (El-Dessouki 1971; Nielsen 1990; Vankosky et al. 2011b). Vermutlich wirkten sich **variierenden**

Witterungsbedingungen auf die komplexe Interaktion zwischen Bodenpathogenen, Larvenfraß, Stickstofffixierung und Ertrag aus.

Im vorliegenden Versuch war das erste Versuchsjahr geprägt von hohen Temperaturen im Frühjahr und Spätsommer sowie Niederschlägen im Februar, Juni und August. Trotz eines sehr trockenen Aprils konnte die Ackerbohne offenbar von den wärmeren Bodentemperaturen profitieren, was eine zügige Jugendentwicklung und möglicherweise frühere Knöllchenbesiedlung (Fyson und Sprent 1982) ermöglichte. Die Niederschlagsereignisse im Juni und August könnten die späte Knöllchennachbildung begünstigt haben. Laut Wijerathna et al. (2021) wirken sich moderate Niederschlagsereignisse positiv auf die Nodulation von Leguminosen, was zur guten Kompensation des Knöllchenschadens und damit zu geringeren Ertragsverlusten beigetragen haben kann. Im Gegensatz dazu führte der kühle Frühling 2021 zu einer verzögerten Knöllchenentwicklung, da niedrige Temperaturen das Rhizobienwachstum hemmen (Peoples et al. 1995). Gepaart mit ungünstigen Keim– und Auflaufbedingungen resultierte das in hohen Ertragsverlusten der käferexponierten Varianten. Die insgesamt hohen Niederschlagsmengen im Jahresverlauf könnten sowohl die Überlebensrate der Larven erhöht (Goldson et al. 1986) und den Besatz mit Bodenpathogenen gefördert haben. 2022 war ein Dürrejahr mit Hitze und Trockenstress im Sommer, was die Knöllchenaktivität möglicherweise einschränkte. Trockenheit reduziert Symbioseeffizienz (Serraj et al. 1999; Hungria und Vargas 2000). Gleichzeitig sinkt die Photosyntheserate, was zu einer sinkenden Zuckerversorgung der Knöllchen führt. Inaktive oder unterversorgte Knöllchen werden schneller abgebaut (Salon et al. 2001). Diese Faktoren könnten eine effektive Knöllchenausbildung und späte Kompensation beschränkt haben.

Sowohl bei **Ackerbohnen** als auch bei **Erbsen** blieben die unter Netzen geführten Varianten – mit Ausnahme des Hitzejahres 2022 – weitgehend ertragsstabil. Dies unterstreicht die potenziell negative Wirkung von *S. lineatus* auf die Ertragssicherheit der untersuchten Körnerleguminosen, insbesondere unter ungünstigen Witterungsbedingungen. Solche Bedingungen scheinen die komplexe Interaktion zwischen Larvenfraß, Stickstofffixierung und Ertragsbildung erheblich zu beeinflussen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass durch den Netzeinsatz nicht nur *S. lineatus,* sondern auch andere Schädlinge ausgeschlossen wurden. Insofern kann die Behandlung auch als Ausschluss eines Schädlingskomplexes interpretiert werden. Dies stellt einerseits eine methodische Einschränkung dar, bietet jedoch gleichzeitig wertvolle Einblicke darin, in welchem Maße die Ertragsstabilität durch das Zusammenspiel verschiedener Schaderreger beeinträchtigt werden kann.

5.6 Fruchtfolgeeffekte und systemische Bewertung der Faktoren Saattiefe und Saatzeitpunkt

Im Gegensatz zu den Ergebnisse von McEwen et al. (1979) konnten in diesen Versuchen beide Fruchtfolgeglieder Weizen und Wickroggen teils deutliche Ausgleichseffekte erzielen, wenn sie auf käferexponierte Bestände von Ackerbohnen bzw. Erbsen folgten. Während McEwen et al. (1979) die Auswirkungen von *Sitona*-Schäden auf Folgefrüchte mithilfe von Insektizidapplikationen untersuchten, wurde in der vorliegenden Studie ein physikalischer Ausschluss der Schädlinge durch den Einsatz von Käfigen gewählt, was möglicherweise einen besseren Schutz vor Befall bietet,. auch wenn in dieser Studie ebenfalls kein 100%iger Käferschutz erreicht werden konnte. Die Fruchtfolgewirkung war ebenso wie die bereits diskutierte Ertragsbildung stark jahresabhängig und im Jahr 2020 am deutlichsten ausgeprägt. Bei **Ackerbohnen** erzielten die frühen und flach gesäten Varianten die höchsten Erträge und hatten das größte Potenzial zur Kompensation von *S. lineatus*-Schäden über die gesamte Fruchtfolge. Dies war insbesondere durch höhere Erträge bei Weizen und Wickroggen der Fall, deren Ausgleichspotenzial eine wichtige Rolle spielt. Wie bereits beschrieben sind Ackerbohnen in der Lage, eine längere Vegetationsdauer effektiv zu nutzen und auch spät fixierten atmosphärischen Stickstoff noch in das Korn zu verlagern. Dadurch erreichen sie besonders in früh gesäten Varianten eine gute Stickstoffnutzung und hinterlassen vergleichsweise wenig Reststickstoff im Boden, was die Stickstoffverfügbarkeit für die Folgekultur begrenzt.

Bei **Erbsen** zeigte sich über alle Jahre hinweg kein signifikanter Ertragsunterschied zwischen den frühen und späten Aussaatvarianten. Im Gegensatz zu Ackerbohnen wiesen die späten Varianten jedoch ein höheres Potenzial zur Nachfrucht-Kompensation von *S. lineatus*-Schäden durch höhere Weizenerträge auf. Möglicherweise spielt hier die Fähigkeit zur späten Stickstofffixierung und -umverlagerung eine Rolle. Besonders bei späten Varianten könnte dadurch nicht in Ertrag umgesetzter Stickstoff in der Erbsenbiomasse im System verbleiben, was den nachfolgenden Kulturen – insbesondere dem Weizen – zugutekam. Dieser profitierte von der erhöhten Stickstoffverfügbarkeit, was sich in höheren Erträgen und einer insgesamt besseren Fruchtfolgeleistung der späten Erbsenvarianten niederschlug. Im Gegensatz zu früheren Literaturangaben (van de Steene, F. et al. 1999; Hamon et al. 1987) ließ sich in diesen Versuchen kein reduzierter Knöllchenschaden durch eine späte Aussaat nachweisen.

Die Unterschiede zwischen den **Saattiefen** bei Ackerbohnen fielen geringer aus als erwartet. Eine tiefere Saat führte zwar tendenziell zu höheren Knöllchenzahlen, jedoch waren diese Effekte weder auf dem Exaktversuch, noch im Praxisversuch signifikant. Ebenso konnten keine signifikant höheren Erträge durch eine tiefe Aussaat erzielt werden. Mögliche Vorteile wie ein verstärktes Wachstum der Adventivwurzeln (Siddique und Loss 1999) und eine bessere Wasserverfügbarkeit während der Keimphase wurden vermutlich durch Nachteile wie ungünstige Keimbedingungen, ein verzögertes

Auflaufen und eine spätere Inokulation durch Rhizobien (Fyson und Sprent 1982) bei kühleren Temperaturen im Boden oder relativiert. In keinem der Versuchsjahre war das Frühjahr besonders trocken, so dass mögliche Vorteile einer tiefen Aussaat eventuell nicht zum Tragen kamen.

Damit zeigt sich, dass die langfristige Stickstoffverwertung durch Folgefrüchte eng mit dem Jahresverlauf der Vorfrucht gekoppelt ist. Die Effekte der Käferexposition auf die Fruchtfolgeglieder belegen, dass Schädigungen in der Leguminose nicht nur kurzfristig betrachtet werden sollten. Der teilweise höhere Stickstoffertrag in Folgefrüchten nach Leguminosen mit starkem Knöllchenverlust (v. a. bei Erbsen) legt nahe, dass nicht verwerteter Stickstoff im Bodenzwischenspeicher zeitlich versetzt für die Folgekultur nutzbar bleibt. Dies kann zu Scheineffekten in der N-Effizienz führen, wenn die Leguminose selbst Verluste erleidet, die jedoch in der Fruchtfolge teilkompensiert werden. Umso bedeutsamer ist es also, die gesamte Fruchtfolge als Bewertungsrahmen für Schadensbeurteilungen und/oder Maßnahmenempfehlungen zur Förderung der biologischen N-Fixierung zu wählen.

5.7 Praxisversuche

Auch die Betrachtung eines ökologisch und integriert wirtschaftenden Betriebes zeigte, dass beim ökologisch wirtschaftenden Betrieb trotz teilweise höherer Knöllchenzahlen und einer höheren prozentualen Stickstofffixierleistung niedrigere Erträge erzielt wurden (Abbildung 32, Abbildung 33, Abbildung 34). Zum einen ist das auf den Herbizidverzicht zurückzuführen, der in einem stärkeren Beikrautbesatz und somit höherer Konkurrenz resultierte. Zum anderen ist die Pflanze in stickstoffarmen Böden, wie es aufgrund der fehlenden Mineralstoffdüngereinsatzes und suboptimaler Fruchtfolgegestaltung auf ökologischen Betrieben oft der Fall ist, stärker auf eine funktionierende Knöllchenaktivität angewiesen. Sowohl der Inokulationserfolg der Rhizobien als auch die Ausbildung von Knöllchen hängen wesentlich vom verfügbaren Stickstoffvorrat im Boden ab (Hirsch 1996; Hungria und Vargas 2000). Gleichzeitig stellt die Symbiose mit Rhizobien für die Pflanze einen erheblichen energetischen Aufwand dar, unter anderem durch eine erhöhte Respirationsrate während der Knöllchenbildung. Cárcamo et al. (2015) vermuteten auf Grundlage ähnlicher Ergebnisse aus Laborstudien mit Erbsen, dass für ausreichend mit mineralischem Stickstoff versorgten Pflanzen die Bedeutung der N-Fixierung und damit auch Knöllchenschäden durch *S. lineatus* in den Hintergrund treten, womit von Insektizidbehandlungen gegen Käferbefall ökonomisch keine Ertragsverbesserung zu erwarten sei. In Kombination mit dem in dieser Studie belegten Ausgleichspotenzial der nachfolgenden Fruchtfolgeglieder legt dies nahe, dass der Schaden durch den Blattrandkäfer – zumindest bei Ackerbohnen auf stickstoffreichen Schlägen – nicht zwangsläufig zu Ertragsverlusten in der Gesamtfruchtfolge führt.

5.8 Methodische Einschränkungen

Die Interpretationsfähigkeit der Ergebnisse wird durch methodische Schwächen eingeschränkt. So zeigte die wöchentliche Beprobung der Ackerbohnen eine hohe zeitliche Variabilität in der Knöllchenentwicklung, was durch die Beschränkung auf zwei Boniturzeitpunkte als Momentaufnahme im Exaktversuch eine gewisse Zufälligkeit impliziert. Zudem konnte bedingt durch die zeitaufwändige Knöllchenbonitur lediglich ein 5 cm langer Abschnitt der Seitenwurzeln untersucht werden, jener Bereich, in dem die Knöllchenneubildung überwiegend stattfindet (Nielsen 1990). Eine weitere Einschränkung ergibt sich daraus, dass das Kriterium „gesundes Knöllchen“ keine Aussage über deren tatsächlichen Fixierungsbeitrag zur Gesamtfixierungsleistung zulässt und dass aus Kapazitätsgründen nicht das Gesamtgewicht der bonitierten (Seeger et al. 2022) ermittelt werden konnte.

Ein weiterer limitierender Faktor ist die Nutzung von Netzen zum Käferausschluss im Exaktversuch. Hier wurde natürlichem Befallsdruck als praxisnahe Feldexposition Priorität eingeräumt, um die Phänologie des Befallsverlaufs realistisch abzubilden. Das Einsetzen einer bestimmten Anzahl Freilandtiere zu einem Termin verfälscht den tatsächlichen Besiedelungsverlauf und realistischen Befallsdruck. Demgegenüber wurden die mit Netzen verbundenen Artefakte als weniger gravierend eingestuft, zumal die begleitende Erfassung hinsichtlich Luftfeuchte, Bodenfeuchte und Temperatur keine deutlichen Unterschiede erbrachte. Dennoch beeinflussen die Netze die Ergebnisse durch den Ausschluss weiterer Schadorganismen wie dem Ackerbohnenkäfer oder dem Erbsenwickler und die Bestäubung durch die Zugabe von Hummeln kann Hülsenansatz, Kornfüllung und den Ertrag im Vergleich zur Freilandsituation ebenso beeinflusst haben. Zusätzlich muss eingeräumt werden, dass selbst die Netze nicht alle Tiere ausschließen konnten, was auch im Netz zu geringen Knöllchenschäden geführt hat. Rückblickend waren die Ergebnisse zum N-Haushalt des dreijährigen Hauptversuchs aber ähnlich dem Netzversuch 2023, in dem auch die Käferexposition durch eingebrachte Tiere unter Netz erfolgte, wobei die tatsächliche Ertragsreduktion hier nur eingeschränkt erfolgen kann.

6 Angaben von voraussichtlichen Nutzern und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen unter ökologischen Anbaubedingungen mit N-limtierter Fruchtfolge liefern wichtige Erkenntnisse zur Bewertung der Schädigung durch *S. lineatus* im Kontext der biologischen Stickstofffixierung und Ertragsbildung bei Ackerbohne und Erbse. Insbesondere die Differenzierung zwischen kurzfristigen Schäden (Knöllchenschädigung, Wurzelgesundheit) und deren langfristigen Auswirkungen auf die Ertragsleistung der Hauptkultur sowie der Folgefrüchte, stellen eine wesentliche Grundlage für die Ableitung praxisrelevanter Handlungsempfehlungen dar.

6.1 Neubewertung des Schädlingsstatus mit Blick auf die Fruchtfolgewirkung

Ein bedeutender Nutzen der Studie liegt in der erweiterten Betrachtung der Fruchtfolgeeffekte. Der Nachweis, dass Verluste in der Leguminose teilweise durch erhöhte Stickstoffverfügbarkeit in Folgefrüchten kompensiert werden können, erlaubt eine umfassendere Bewertung des Schadpotentials von *S. lineatus*. Die Versuchsresultate zeigen, dass die Ertragsreaktionen und die Kompensationsfähigkeit in Leguminose und Nachfrüchten von *S. lineatus* Schäden in beiden Kulturen stark von Witterung und Jahresverlauf abhängen. Nach diesen Erkenntnissen ist *S. lineatus* weiterhin ein N-Schädling, der aber vor allem abträgliche abiotische Stressbedingungen verstärkt und so zur Ertragsinstabilität der Körnerleguminosen beiträgt. Die starken Jahreseffekte unterstreichen die Notwendigkeit, Empfehlungen zur Schädlingsregulation auf langfristige Versuchsserien unter Einbeziehung von Nachfrüchten zu stützen. Besonders der Umstand, dass ein erhöhter Fraßschaden und eine reduzierte Knöllchenzahl nicht unmittelbar mit dem Stickstoffertrag korreliert, relativiert zudem die Aussagekraft rein quantitativer Buchtenfraßbonituren als alleinige Entscheidungsgrundlage für eine Bekämpfungsmaßnahme.

Im Praxisversuch auf dem integrierten Betrieb zeigte sich, dass die Boden-N Anteile im N-Ertrag höher und damit die Abhängigkeit von symbiotischer N-Fixierung weniger ausgeprägt waren als es auf dem ökologisch wirtschaftenden Betrieb der Fall war. Durch die mineralische Aufdüngungspraxis relativiert sich die bisher nach Lehrbuch als „linear“ kommunizierte Abfolge von Knöllchenverlust → weniger N-Fixierung → weniger Ertrag → weniger Vorfruchtwirkung noch ausgeprägter, als es sich für die ökologische Anbaupraxis abzeichnet. Dies hat bedeutende Implikationen für integrierte Pflanzenschutzmaßnahmen bezüglich Blattrandkäfer. Hier wird Untersuchungsbedarf deutlich, dass der derzeitige Bekämpfungsrichtwert für Buchtenfraß in BBCH 16 der konkreten Überprüfung bedarf, was gerade im Kontext des Pflanzenschutzmittel-Reduktionsprogramms (BMEL 2022) von Interesse ist.

6.2 Anbautechnische Empfehlungen

Als anbautechnische Empfehlung ist zu bei **Ackerbohnen** zu früher Saat und normaler Saattiefe zu raten, weil damit ein früher Feldaufgang gewährleistet und die Voraussetzungen für eine lange Vegetationsperiode bei Ackerbohnen und die Kompensationsfähigkeit von *S. lineatus* Schäden verbessert werden. Nachträglich höhere Weizenerträge bei späten Erbsenaussaaten mit Blattrandkäferschaden sowie der teils extreme, blattrandkäferbedingte Ertragsrückgang bei kühler Frühjahrswitterung, in Kombination mit der generellen Bodenpathogen-Empfindlichkeit von Erbsen machen deutlich: Erbsen sollten möglichst in bereits erwärmten Boden gesät werden, um Stressfaktoren zu minimieren und stabile Erträge zu sichern.

7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Die wesentlichen geplanten Teilziele sind erreicht worden:

- Die pflanzenbauliche Stellgröße, „**Ablagetiefe des Samenkorns**“ erwies sich als wirksam, die Knöllchengesundheit im Bodenkompartiment über den höheren Raumwiderstand und eine höhere Erstlarvenmortalität zu verbessern. Allerdings hielt dieser Effekt nicht über die ganze Vegetationsphase an und führte in den meisten Varianten nicht zur gewünschten Ertragserhöhung.
- Der Faktor **Saatzeit** war für die Länge der Vegetationszeit entscheidend und bestimmte maßgeblich sowohl die Ertragsbildung als auch die Kompensationsfähigkeit von Käferschäden bei Ackerbohnen.
- Für die faktoriellen Kombinationswirkungen von **Saattiefe X Saatzeit** ließ sich für Ackerbohnen ein eher früher Saatzeitpunkt bei flacher Kornablage, für Erbsen die prioritäre Saat in bereits erwärmten Boden herausarbeiten. Zur besseren Interpretierbarkeit der Parzellenversuche wurden zusätzliche Zeitreihenversuche mit wöchentlicher Beprobung und begleitenden N-Isotopen-Analysen und Knöllchenbonituren durchgeführt, was zur Einschätzung des phytomedizinischen Risiken von entscheidender Bedeutung war.
- Die Versuche auf **Praxisflächen** konzentrierten sich auf Ackerbohnen in zwei Saattiefen und waren für 3 Versuchsjahre mit Nachfrucht Weizen konzipiert. Im Weizen waren beim ökologisch wirtschaftenden Betrieb leider nur zwei Versuchsjahre aufgrund eines betrieblich technischen Versäumnisses auswertbar.
- In die **Synopse** flossen die neuen Erkenntnisse zu den unerwartet neutralen, bis ertragsförderlichen Nachfruchtwirkungen von Käferbefall auf Winterweizen und danach Wickroggen ein.
- Diese Ergebnisse sind im Zuge der **Öffentlichkeitsarbeit** (Pkt. 9) einem breiten Publikum aus Forschung, Beratung und Praxis zugänglich gemacht worden. Für den konventionellen Anbau in Ackerbohnen und Erbsen ergab sich aufgrund der neuen Erkenntnisse zum Schädlingsstatus des Blattrandkäfers weiterführender Untersuchungsbedarf.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Vergl. Zusammenfassung/Abstract.

9 Literaturverzeichnis

Almogdad, Mohammad; Semaškienė, Roma (2022): Abundance, Harmfulness, and Control of Pea Leaf Weevil in Broad Beans (Vicia faba Linn.). In: *Agriculture* 12 (3), S. 394. DOI: 10.3390/agriculture12030394.

Andersen, K.Th. (1933): Analyse des Schadens und des Massenwechsels des liniierten Blattrandkäfers (*Sitona lineata* L.). Seine Bekämpfung und Abwehr. In: *Landwirtschaftliche Jahrbücher* (78), S. 55–79.

Bardner, R.; Fletcher, K. E.; Griffiths, D. C. (1979): Problems in the control of the pea and bean weevil (*Sitona lineatus*). In: *Proc.of the British Crop Protection Conf. Pests and Diseases*, S. 223–229.

Bardner, R.; Fletcher, K. E.; Griffiths, D. C. (1983): Chemical control of the pea and bean weevil, *Sitona lineatus* L., and subsequent effects on the yield of field beans *Vicia faba* L. In: *J. Agric. Sci.* 101, S. 71–80. DOI: 10.1017/S0021859600036388.

Büchi, L.; Gebhardt, CA.; Liebisch, F.; Sinaj, S.; Ramseier, H.; Charles, R. (2015): Accumulation of biologically fixed nitrogen by legumes cultivated as cover crops in Switzerland. In: *Plant Soil* 393, S. 163–175. DOI: 10.1007/s11104-015-2476-7.

Cárcamo, Héctor A.; Herle, Carolyn E.; Lupwayi, Newton Z. (2015): *Sitona lineatus* (Coleoptera: Curculionidae) larval feeding on *Pisum sativum* L. affects soil and plant nitrogen. In: *J. Insect Sci.* 15. DOI: 10.1093/jisesa/iev055.

Cárcamo, Héctor A.; Vankosky, Meghan A.; Wijerathna, Asha; Olfert, Owen O.; Meers, Scott B.; Evenden, Maya L. (2018): Progress toward integrated pest management of pea leaf weevil: A review. In: *Ann. Entomol. Soc. Am.* 111 (4), S. 144–153. DOI: 10.1093/aesa/say007.

Corre-Hellou, G.; Crozat, Y. (2005): N2 fixation and N supply in organic pea (*Pisum sativum* L.) cropping systems as affected by weeds and peaweevil (*Sitona lineatus* L.). In: *Eur. J. Agron.* 22 (4), S. 449–458. DOI: 10.1016/j.eja.2004.05.005.

Corre-Hellou, G.; Dibet, A.; Haugaard-Nielsen, H.; Crozat, Y.; Gooding, M.; Ambus, P. et al. (2011): Competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and interactions with crop productivity and soil N acquisition. In: *Field Crop Res.* 122, S. 264–272. DOI: 10.1016/j.fcr.2011.04.004.

Doré, T.; Meynard, J. M. (1995): On-farm analysis of attacks by the pea weevil (*Sitona lineatus* L.; Col., Curculionidae) and the resulting damage to pea (*Pisum sativum* L.) crops. In: *J. Appl. Entomol.* 119, S. 49–54. DOI: 10.1111/j.1439-0418.1995.tb01242.x.

El-Dessouki, S. A. (1971): Der Einfluss von Larven der Gattung Sitona (Col.: Curculionidae) auf einige Leguminosen. In: *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 67, S. 411–431. DOI: 10.1111/j.1439-0418.1971.tb02140.x.

El-Dessouki, S. A.; Stein, W. (1970): Intraspecific competition between larvae of Sitona spp. (Col. Curculionidae). In: *Oecologia* 6, S. 106–108. DOI: 10.1007/BF00345224.

Fehlauer, T. (2015): Ackerbohne & Blattrandkäfer: Einflüsse der Ablagetiefe auf Wurzelknöllchen-Befall und Pflanzenentwicklung. Interdisziplinäre Projektarbeit. Universität Kassel-Witzenhausen, FB 11, Witzenhausen. Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz.

Fyson, A.; Sprent, J. I. (1982): The development of primary root nodules on *Vicia faba* L. grown at two temperatures. In: *Ann. Bot.* 50, S. 681–692.

Goldson, S. L.; Frampton, E. R.; Jamieson, P. D. (1986): Relationship of *Sitona discoideus* (Coleoptera : Curculionidae) larval density to September-October potential soil moisture deficits. In: *N. Z. J. Agric. Res.* 29 (2), S. 275–279. DOI: 10.1080/00288233.1986.10426983.

Goldson, S. L.; Frampton, E. R.; Proffitt, J. R. (1988): Population dynamics and larval survival estalishment of *Sitona discoideus* (Coleoptera: Curculionidae) in New Zealand lucerne. In: *J. Appl. Entomol.* 25, S. 177–195. DOI: 10.2307/2403617.

Hamon, N.; Bardner, R.; Allen-Williams, L.; Lee, J. B. (1987): Flight periodicity and infestation size of *Sitona lineatus*. In: *Ann. Appl. Biol.* 111, S. 271–284. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1987.tb01453.x.

Hans, H. (1959): Beiträge zur Biologie von *Sitona lineatus* L. In: *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 44 (4), S. 343–386.

Hirsch, Penny R. (1996): Population dynamics of indigenous and genetically modified rhizobia in the field. In: *New Phytol.* 133 (1), S. 159–171. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1996.tb04351.x.

Hoffmann, G. M.; Schmutterer, H. (1999): Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. 2. Aufl.: Ulmer.

Hungria, Mariangela; Vargas, Milton A.T. (2000): Environmental factors affecting N2 fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. In: *Field Crop Res.* 65 (2-3), S. 151–164. DOI: 10.1016/S0378-4290(99)00084-2.

Hunter, M. D. (2001): Out of sight out of mind: the impact of root-feeding insects in natrual and managed systems. In: *Agric. For. Entomol.* 3, S. 3–9. DOI: 10.1046/j.1461-9563.2001.00083.x.

Jackson, D. J. (1919): Bionomics of weevils of the genus *Sitones* injurious to leguminous crops in Britain. In: *Ann. Appl. Biol.* 7, S. 269–298.

Jaworska, M. (1992): Über den Befall einjähriger Leguminosen durch den Erbsenrüßler Sitona lineatus L. (Col., Curculionidae). In: *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz Umweltschutz* 65, S. 70–72.

Landon, F.; Levieux, J.; Huignard, J.; Rougon, D.; Taupin, P. (1995): Feeding activity of *Sitona lineatus* L. (Col., Curculionidae) on *Pisum sativum* L. (Leguminosae) during its imaginal life. In: *J. Appl. Entomol.* 119, S. 515–522. DOI: 10.1111/j.1439-0418.1995.tb01328.x.

Lee, J.; Upton, C.J.P. (1992): Relative efficiency of insecticide treatments in reducing yield loss from *Sitona* in faba beans. In: *Tests of Agrochemicals and Cultivars* 13, S. 6–7.

Lohaus, K.; Vidal, S. (2010): Abundance of *Sitona lineatus* L. (Col., Curculionidae) in peas (*Pisum sativum* L.): Effects on yield parameters and nitrogen balance. In: *Crop Prot.* 29, S. 283–289. DOI: 10.1016/j.cropro.2009.09.009.

Matthews, S.; Bradnock, W. T. (1968): Relationship between seed exudation and field emergence in peas and french beans. In: *Horticulture Research* 8, S. 89–93.

McEwen, J.; Cockbain, A. J.; Fletcher, K. E.; Salt, G. A.; Wall, C.; Whitehead, A. G.; Yeoman, D. P. (1979): The effects of aldicarb, triazophos and benomyl plus zineb on the incidence of pests and pathogens and on the yields and nitrogen uptake of leafless peas (*Pisum sativum* L.). In: *J. Agric. Sci.* 93, S. 687–692. DOI: 10.1017/S0021859600039101.

Meyer, U. (1997): Growth stages of mono- and dicothyledonous plants - BBCH-Monograph. Berlin, Oxford: Blackwell.

Nielsen, B. S. (1990): Yield response of *Vicia faba* in relation to infestation levels of *Sitona lineatus* L. (Col., Curculionidae). In: *J. Appl. Entomol.* 110, S. 398–407. DOI: 10.1111/j.1439-0418.1990.tb00138.xCitations.

Olfert, O.; Weiss, R. M.; Cárcamo, H. A.; Meers, S. (2012): The influence of abiotic factors on an invasive pest of pulse crops, *Sitona lineatus* (L.) (Coleoptera: Curculionidae), in North America. In: *Psyche* 2012, S. 1–11. DOI: 10.1155/2012/746342.

Peoples, M. B.; Ladha, J. K.; Herridge, D. F. (1995): Enhancing legume N2 fixation through plant and soil management. In: *Plant Soil* 174, S. 83–101.

Pflughöft, O. (2008): Pilzkrankheiten in Körnerfuttererbsen (*Pisum sativum* L.) – Diagnose, Epidemiologie, Ertragsrelevanz und Bekämpfung. Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen. Fakultät für Agrarwissenschaften.

Quinn, M. A.; Hall, M. H. (1992): Compensatory response of a legume root-nodule system to nodule herbivory by *Sitona hispidulus*. In: *Entomol Exp Appl* 64 (167), S. 176. DOI: 10.1111/j.1570-7458.1992.tb01606.x.

Salon, Christophe; Munier-Jolain, Nathalie G.; Duc, Grard; Voisin, Anne-Sophie; Grandgirard, David; Larmure, Annabelle et al. (2001): Grain legume seed filling in relation to nitrogen acquisition: A review and prospects with particular reference to pea. In: *Agronomie* 21 (6-7), S. 539–552. DOI: 10.1051/agro:2001143.

Saucke, Helmut; Riemer, Natalia; Schwabe, Kristin; Clemenz, Charlotte; Müller, Ulf; Schieler, Manuela et al. (2019): Präventive Anbauplanung im Umgang mit der Schädlingsgilde in Ackerbohnen und Erbsen zur Schadensvermeidung und Ertragssicherung (WP1). Online verfügbar unter https://orgprints.org/id/eprint/36336/, zuletzt geprüft am 29.06.2025.

Schnell, W. (1955): Synökologische Untersuchungen über Rüsselkäfer der Leguminosenkulturen. In: *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 37 (2), S. 12–192.

Schroth, M. N.; Weinhold, A. R.; Hayman, D. S. (1966): The effect of temperature on quantitative differences in exudates from germinating seeds of bean, pea and cotton. In: *Canadian Journal of Botany* 44, S. 1429–1432.

Seeger, J. N.; Ziebell, H.; Saucke, H. (2022): Impact of Pea necrotic yellow dwarf virus (PNYDV) on nodulation, N_2 fixation and yield in faba bean (*Vicia faba*, L.). In: *J Plant Dis Prot*. DOI: 10.1007/s41348-022-00646-z.

Seifert, L.; Falk, S. (2015): Blattrandkäfer in Fababohnen: Einflüsse von Ablagetiefe und Saatzeit auf Wurzelknöllchenbefall und Pflanzenentwicklung. Interdisziplinäre Projektarbeit. Universität Kassel-Witzenhausen. FB11, Ökologischer Pflanzenschutz.

Serraj, R.; Sinclair, T. R.; Purcell, L. C. (1999): Symbiotic N2 fixation response to drought. In: *J. Exp. Bot.* 50 (331), S. 143–155. DOI: 10.1093/jxb/50.331.143.

Shearer, G.; Kohl, D. H. (1986): N 2 -Fixation in Field Settings. Estimations Based on Natural 15 N Abundance. In: *Aust J Plant Physio.* 13 (6), S. 699. DOI: 10.1071/PP9860699.

Siddique, K.H.M.; Loss, S. P. (1999): Studies on sowing depth for chickpea (*Cicer arietinum* L.), faba bean (*Vicia faba* L.) and lentil (*Lens culinaris* Medik) in a mediterranean-type environment of South-western Australia. In: *J. Agron. Crop Sci.* (182), S. 105–112.

Spiegel, A. K.; Gronle, A.; Arncken, C.; Bernhardt, T.; Heß, J.; Schmack, J. et al. (Hg.) (2014): Leguminosen nutzen, *naturverträgliche Anbaumethoden aus der Praxis*. BfN & FiBL. Potsdamm: Brandenburgische Verlagsdruckerei und Verlagsgesellschaft Potsdamm mbH.

van de Steene, F.; Vulsteke, G.; Proft, M. de; Callewaert, D. (1999): Seed coating to control the pea leaf weevil, Sitona lineatus (L.) in pea crops. In: *Zeitschrift f□r Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 106 (6), S. 633–637.

Vankosky, M.; Dosdall, L. M.; Cárcamo, H. A. (2009): Distribution, biology and integrated management of the pea leaf weevil, *Sitona lineatus* L. (Coleoptera: Curculionidae), with an analysis of research needs. In: *CAB Reviews* 4 (7), S. 1–18. DOI: 10.1079/PAVSNNR20094007.

Vankosky, M. A.; Cárcamo, H. A.; Dosdall, L. M. (2011a): Response of *Pisum sativum* (Fabales: Fabaceae) to *Sitona lineatus* (Coleoptera: Curculionidae) infestation: effect of adult weevil density on damage, larval population, and yield loss. In: *J. Econ. Entomol.* 104 (5), S. 1550–1560. DOI: 10.1603/ec10392.

Vankosky, M. A.; Cárcamo, H. A.; McKenzie, R. H.; Dosdall, L. M. (2011b): Integrated Management of *Sitona lineatus* with Nitrogen Fertilizer, Rhizobium, and Thiamethoxam Insecticide. In: *Agron. J.* 103 (3), S. 565–572. DOI: 10.2134/agronj2010.0314.

Wijerathna, Asha; Evenden, Maya; Reid, Patty; Tidemann, Breanne; Cárcamo, Héctor (2021): Management of Pea Leaf Weevil (Coleoptera: Curculionidae) and Development of a Nominal Threshold in Faba Beans. In: *J. Econ. Entomol.* 114 (4), S. 1597–1606. DOI: 10.1093/jee/toab086.

Wildhagen, H. (1998): Bodenkundliche Standortbeschreibungen der Versuchsflächen des Fachbereiches. In: *Arbeitsberichte der Universit„t Gesamthochschule Kassel Fachbereich 11* 1, S. 1–35.

Williams, L.; Schotzko, D. J.; O'Keeffe, L. E. (1995): Pea leaf weevil herbivory on pea seedlings: effects on growth response and yield. In: *Entomol Exp Appl* 76, S. 255–269. DOI: 10.1111/j.1570-7458.1995.tb01970.x.

Willsey, Telsa; Chatterton, Syama; Cárcamo, Héctor (2017): Interactions of root-feeding insects with fungal and oomycete plant pathogens. In: *Front. Plant Sci.* 8, S. 1764. DOI: 10.3389/fpls.2017.01764.

Zhang, X.; Johnson, S. N.; Grogory, P. J.; Crawford, J. W.; Young, I. M.; Murray, P. J.; Jarvis, S. C. (2006): Modelling the movement and survival of the root-feeding clover weevil, *Sitona lepidus*, in the root-zone of white clover. In: *Ecol. Model.* 190, S. 133–146. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.01.063.

10 Öffentlichkeitsarbeit

2021

- **62. Deutsche Pflanzenschutztagung 21. - 23. September 2021 digital**
  Poster
  Riemer, N.; Saucke, H. (2021): Knöllchen weg und nun? Auswirkungen des Knöllchenfraßes durch den Linierten Blattrandkäfer *Sitona lineatus* auf die Stickstofffixierleistung, Ertrag und Vorfruchtwirkung bei Körnererbsen. In: 62. Deutsche Pflanzenschutztagung: Gesunde Pflanzen in Verantwortung für unsere Welt; 21. - 23. September 2021, -Kurzfassungen der Vorträge und Poster; Online-Veranstaltung ; 2021.09.21-23, S. 475–476. DOI: 10.5073/20210721-093221. Abrufbar unter: https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00076553

2022

- **Öko-Feldtage- Wege zu mehr Ökolandbau, Gladbacher Hof, 28. bis 30. Juni 2022; Stand der Universität Kassel**
  Poster
  Riemer, N (2022) Der Blattrandkäfer als Stickstoffschädling.

- **Feldtag Neu Eichenberg 06.07.2022, Lehr-und Versuchsbetrieb Standtort Neu Eichenberg Feldführung mit Posterpräsentation**
  Saucke, H.; Riemer, N. (2022) Uhrzeit: 09:10 --11:00h Universität Kassel, FG Ökologsicher Pflanzenschutz

2023

- **Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen; Pflanzenschutzdienst Hessen-Außenstelle Kassel-Mündener Straße 4, 37123 Kassel; 22.02.2023**
  Vortrag
  Saucke, H (2023) Schädlingsstatus des Blattrandkäfers in Körnerleguminosen.

- **33. Jahrestagung des Arbeitskreises Schädlinge in Getreide, Mais & Leguminosen, Julius Kühn-Institut Braunschweig, DPG Beratertreffen 08./09.02.2023**
  Vortrag
  Saucke, H (2023) 2815EPS024 Präventive Anbautechnik zur Erhöhung der biotischen Stresstoleranz bei Ackerbohnen und Erbsen

- **Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 07-10.03.2023; Frick (CH)**
  Vortrag
  Riemer, Natalia; Saucke, Helmut (2023): Der Blattrandkäfer - ein Stickstoffschädling oder doch ein -nützling? In: One Step Ahead - einen Schritt voraus! Beiträge zur 16. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Frick (CH), 7. bis 10. März 2023. Online verfügbar unter https://orgprints.org/id/eprint/50686/

- **Ökofeldtage, 14. bis 15. Juni 2023 Ditzingen, Stand der Universität Kassel**
  Präsentationsmappe
  Riemer, N (2023) Der Blattrandkäfer als Stickstoffschädling

- **Hessischer Leguminosentag, 21.06.2023 – 10 Jahre Eiweißpflanzeninitiative**
  Poster mit Stand

Riemer, N. (2023) Der Blattrandkäfer als Stickstoffschädling.

- **Feldtag FÖP Uni Kassel – Regenerativ und biodivers für eine Klimaresiliente Landwirtschaft, 22.06.2023**
  Stand mit Poster und Vortrag inkl. Film
  Riemer, N (2023) Der Blattrandkäfer schädigt die Knöllchen von Leguminosen – Welchen Einfluss hat dieser Schaden auf die Nachfrüchte?

  Abruf unter:
  https://www.youtube.com/watch?v=kVbzq_XhnbE
  https://www.youtube.com/watch?v=4SmrOfDk3nw

- **63. Deutsche Pflanzenschutztagung**
  Vortrag
  Riemer, N. (2023): Der Blattrandkäfer (*Sitona lineatus*) – Status als Stickstoffschädling. In: 63. Deutsche Pflanzenschutztagung – 26. bis 29. September 2023, Georg-August-Universität Göttingen, Julius-Kühn-Archiv, 475, 351. Online verfügbar unter https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00088713, zuletzt geprüft am 02.10.2024.

- **Nossener Fachgespräch Leguminosen, 11.10.2023**
  Vortrag
  Riemer, N. (2023) Der Blattrandkäfer – Ein Stickstoffschädling?
  Vortrag abrufbar unter:
  https://www.landwirtschaft.sachsen.de/nossener-fachgespraech-leguminosen-56264.html

- **Way Forward in Organic Plant Health Care Strategies, 10.11.2023**
  Vortrag
  Riemer, N. (2023) The effect of pea leaf weevil damage on nitrogen supply within a crop rotation.

- **Wissenstranferveranstaltung Biokreis zum Thema „Entscheidungshilfesystem für ein verbessertes Management des Erbsenwicklers im Pflanzenschutz“, 26.10.2023**
  Vortrag
  Riemer, N. (2023) Der Blattrandkäfer (*Sitona lineatus*) – Status als Stickstoffschädling

- **Bioland Ackerbaustammtisch - Trends im Öko-Ackerbau: Körnerleguminosen, Kleegras, aktuelles zur GAP am 05.12.2023 - Vortrag**
  Vortrag
  Riemer, N. (2023) Der Blattrandkäfer schädigt die Knöllchen von Leguminosen – Welchen Einfluss hat dieser Schaden auf die Nachfrüchte (Riemer, N.)

2024

- **Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 5-8.03.2024, Gießen**
  Poster
  Riemer, Natalia; Garavito Zambrano, Isabel; Saucke, Helmut (2024): Können Ackerbohnen durch *S. lineatus* verursachte Knöllchenschäden kompensieren? In: V. Bruder, U. Röder-Dreher, L. Breuer und A. Gattinger (Hg.): Tagungsband zur 17. Wissenschaftstagung

Ökologischer Landbau, Landwirtschaft und Ernährung – Transformation macht nur gemeinsam Sinn: Zenodo, S. 232–233.
Abrufbar unter: https://orgprints.org/id/eprint/53921/1/Beitrag_274_final_a.pdf

- **Zeitschriftenartikel Raps**
  Saucke, H.; Riemer, N. (2024): Blattrandkäfer: Die Bekämpfung überdenken? In: dlz-argrarmagazin 30 (2), S. 68–71.

- **Öffentlichkeitarbeit Legunet, 24.06.2024**
  Interview
  Saucke, H.; Riemer, N. (2024) Blattrandkäfer – Schaden geringer als befürchtet?
  https://www.legunet.de/fileadmin/legunet/Dokumente/Interview_Blattrandkaefer_Uni_KS_final_240624.pdf

- **2. Nationaler Leguminosenkongress 07.-10.10.2024, Leipzig**
  Vortrag
  Riemer, N.; Saucke, H. (2024) Ackerbohnen früh säen um die Schäden des Blattrandkäfers zu minimieren. In: 2. Nationaler Leguminosen-Kongress, Perspektiven für Landwirtschaft und Ernährung, 07.-10.10.2024, Leipzig, Konferenzband S.91.
  Abrufbar unter: https://www.dafa.de/wp-content/uploads/Konferenzband2NatLegKongress2024.pdf

- **Leguminosentag Ost 2024, 10.12.2024**
  Vortrag
  Riemer, N. (2024) Ackerbohnen früh säen um Schaden des Blattrandkäfers zu minimieren.
  Abrufbar unter:
  https://www.landwirtschaft-mv.de/Veranstaltungskalender-und-%E2%80%93beitr%C3%A4ge/Nachhaltigkeit/?id=547&processor=processor.sa.lfaveranstaltung

2025

- **Verbundpartnertreffen Legunet, 02.04.2025, Kassel**
  Vortrag
  Riemer, N. (2025) Wie beeinflusst der Blattrandkäferbefall von Ackerbohne und Erbse den Stickstoffhaushalt in der Fruchtfolge?