

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht zum Thema

“Erweiterung und ackerbauliche Auswertung der Praxiserhebungen und -untersuchungen im Rahmen der modellhaften Demonstrationsnetzwerke Soja, Lupine, Erbse und Bohne der Eiweißpflanzenstrategie“

FKZ: 2814EPS040

Projektnehmer: Universität Kassel

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

Abschlussbericht

BMEL – Eiweißpflanzenstrategie, **FKZ 2814EPS040**

„Identifikation der Pathogene an den Wurzeln von Erbse und Ackerbohne im Rahmen der modellhaften Demonstrationsnetzwerke Erbse und Bohne der Eiweißpflanzenstrategie“

“Identification of the pathogens associated with roots of peas and faba beans in the pea and bean demonstration network of the strategic plan for protein plants”

Projektlaufzeit:

1.8.2016- 31.12.2019

Ausführende Stelle:

Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften,
Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz
Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen
Tel.: +49 5542 98-1562, Fax: +49 5542 98-1564
E-Mail: mfinckh@uni-kassel.de
Internet: <https://www.uni-kassel.de/go/fb11-foep>

Autoren: Adnan Šišić; Maria R. Finckh

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Projektträger Bundesanstalt
für Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	4
Kurzfassung.....	7
Abstract.....	8
1 Einführung	9
1.1 Gegenstand des Vorhabens	9
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen der EPS oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen	9
1.3 Planung und Ablauf des Projektes.....	10
2 Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde	11
3 Material und Methoden	14
3.1 Feldbeprobungen	14
3.2 Gewächshaus-Experimente	15
3.3 Datenanalyse	17
4 Ergebnisse.....	18
4.1 Felddaten Gesamtdatensatz (2016-2019)	18
4.2 Gewächshausversuche.....	23
4.3 Vertiefte Datenanalyse Ackerbohne 2016-2018	27
4.3.1 Wurzelfäule-Inzidenz und Gesundheitszustand der Wurzeln.....	27
4.3.2 Zusammensetzung der Pilzgemeinschaften in Abhängigkeit des Managementsystems.....	28
4.3.3 Variationen der Besiedlungsraten von Pilzpathogenen in verschiedenen Wurzelgeweben	32
4.3.4 Hierarchische Clusteranalyse der Hauptkomponenten	32
4.3.5 Pathogenvorkommen in Abhängigkeit von den clusterspezifischen Bodeneigenschaften.....	34
5 Diskussion.....	38
6 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	40

7	Gegenüberstellung der geplanten und erreichten Ziele, weiterführende Fragestellungen.....	41
7.1	Weiterführende Fragestellungen	41
8	Zusammenfassung	42
9	Literaturverzeichnis	44
10	Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt (Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse.....	48
10.1	Veröffentlichungen.....	48
10.2	Andere Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse.....	49
10.2.1	Vorträge für Praktiker.....	49
10.2.2	Feldtage	49

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1.** Entwicklung der Anbauflächen und mittleren Erträge pro ha für Erbsen und Ackerbohnen seit 2000 in Deutschland Quelle: (FAOSTAT, 2020). 11
- Abbildung 2.** Symptome bei Wintererbse ('EFB 33'; links) und Sommererbse ('Santana'; rechts) nach Inokulation mit *D. lethalis*. Man beachte die geringe Symptomausprägung der Wintererbsensorte und die starke Stammverfärbung und Wurzelfäule bei der Sommererbsensorte. 25
- Abbildung 3.** Symptome an der Ackerbohne (links) und der Sommererbse (rechts): Zerfall der gesamten Pfahlwurzel und dunkelschwarze Läsionen am Wurzelsystem nach Inokulation mit einem ursprünglich aus den Wurzeln der Ackerbohne gewonnenen *F. flocciferum*-Isolat. 25
- Abbildung 4.** Einfluss von *F. avenaceum* auf die Wurzelentwicklung von Sommererbsen 'Respekt', entweder in konventionellem Boden, der seit 15 Jahren frei von Leguminosen ist (oben), oder in einem hochaktiven, ökologisch bewirtschafteten, minimal bestellten Boden, der jährlich mit Leguminosen-Zwischenfrüchten bebaut wird (unten). A und C nicht geimpfte (negative) Kontrollbehandlungen; B und D Inokuliert. 26
- Abbildung 5.** Systemeffekte über die Jahre der Probenahme bei Ackerbohnen. Prävalenz (links, % der Felder aus denen isoliert wurde), und Befallshäufigkeit in % aller beprobten Wurzeln (rechts). 30
- Abbildung 6.** Hauptkomponentenanalyse - Clustering von 85 ökologischen und konventionellen Ackerbohnenfeldern auf der Grundlage ihrer Ähnlichkeiten in Bezug auf den Gehalt an organischer Substanz im Boden und den pH-Wert. 33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Befallstruktur, Erregerhäufigkeit und Anteil von Wurzelkrankheitserregern (% befallene Wurzeln) (<i>Ascochyta pisi</i> bzw. <i>fabae</i> , <i>Didymella pinodes</i> (<i>D. pinodes</i>), <i>Didymella pinodella</i> (<i>D. pinodella</i>), <i>Fusarium solani</i> und <i>Fusarium</i> spp.) in Erbsen über 4 Jahre auf 20 Betrieben (15 Betriebe in 2012) und in Ackerbohnen über 4 Jahre auf 12 Betrieben ¹	12
Tabelle 2. Geprüfte Krankheitserreger, inokulierte Wirtspflanzen und Kultursubstrat für Gewächshausversuche.	16
Tabelle 3. Kolonisierte Wurzeln (%)* der acht wichtigsten Arten, die auf Ackerbohnen, Sommer- und Wintererbsen im Ökologischen und konventionellen System im Zeitraum 2016-2019 identifiziert wurden, und die Anzahl der Pflanzen (n.DS), die hinsichtlich des Schweregrads der Wurzelfäule-Symptome, der Gesamtwerte für den Schweregrad der Fuß- und Wurzelfäule-Krankheit (DS), der Anzahl der Felder mit einem DS größer als 3 (DS>3) und der durchschnittlichen Krankheitsschweregrade für Felder mit einem DS größer als 3 (MDS>3) für den Zeitraum 2016-2018 geprüft wurden (Daten für 2019 nicht verfügbar). Die Farbkodierung zeigt den Besiedelungsgrad in 20% Stufen wie in Tabelle 1 beschrieben.	21
Tabelle 4. Kolonisierte Wurzeln (%)* der acht wichtigsten Arten, die auf Ackerbohnen, Sommer- und Wintererbsen im Ökologischen und konventionellen System im 2016-2019 identifiziert wurden, und Gesamt-Scores für den Krankheitsschweregrad von Fuß- und Wurzelfäule (DS), Anzahl der Felder mit DS größer als 3 (DS>3) und durchschnittliche Krankheitsschweregrade für Felder mit DS größer als 3 (MDS>3) für den Zeitraum von 2016-2018 (Daten für 2019 nicht verfügbar). Die Farbkodierung zeigt den Besiedelungsgrad in 20% Stufen wie in Tabelle 1 beschrieben.	22
Tabelle 5. Mittlere Werte der Wurzelfäule-Krankheitsschwere (Skala 1 - 9; 1 gesunde, 9 tote Pflanze) nach Inokulation verschiedener Pflanzenwirte mit mehreren Erregern, deren zunehmende Bedeutung im Erregerkomplex der Körnerleguminosen-Wurzelfäule in Deutschland nicht bekannt ist oder erstmals in Deutschland identifiziert wurde. In Klammern die Anzahl der getesteten Isolate.	24
Tabelle 6. Mittlere Inzidenz Wurzelfäule (%) und Befallsschwere (für Felder mit mittleren Krankheitsschweregraden größer als 3) von Ackerbohnfeldern in Deutschland, 2016-2017.....	28
Tabelle 7. Prävalenz (% der Felder aus denen ein Erreger isoliert wurde) - Auswirkungen des Anbausystems zwischen den Jahren bei Ackerbohnen.	31

Tabelle 8. Einfluss des Anbausystems bei Ackerbohnen und der Jahre auf die Häufigkeit der Erregerisolierung (% der Wurzeln, die untersucht wurden).....	31
Tabelle 9. Isolationsfrequenzen (Prozent besiedelte Wurzelstücke) in Abhängigkeit vom Gewebetyp - insgesamt über Jahre und das System bei Ackerbohnen.	32
Tabelle 10. Die Anzahl ökologischer und konventioneller Felder in jedem Jahr, die sich aufgrund ihrer Ähnlichkeiten in Bezug auf die organische Substanz (OS) im Boden und den pH-Wert durch die Clusteranalyse gruppiert wurden.....	34
Tabelle 11. Prävalenz (% der Felder, in denen Pathogene nachgewiesen wurden) der acht wichtigsten Pathogene in Ackerbohnenfeldern abhängig vom Bewirtschaftungssystem, dem pH Wert und der gesamt organischen Substanz (OS) über die drei Jahre 2016-2018.....	36
Tabelle 12. Einfluss des Anbausystems auf die Häufigkeit der Erregerisolierung von Ackerbohnen (% der Wurzeln, die untersucht wurden) der acht wichtigsten Pathogene in Feldern, die zum selben Cluster gehören im Hinblick auf pH Wert und der gesamt organischen Substanz (OS) über die drei Jahre 2016-2018.....	36
Tabelle 13. Häufigkeit der Erregerisolierung von Ackerbohne (% der Wurzeln, die untersucht wurden) der acht wichtigsten Pathogene in Feldern abhängig vom Bewirtschaftungssystem, dem pH Wert und der gesamt organischen Substanz (OS) über die drei Jahre 2016-2018.	37

Kurzfassung

Identifikation der Pathogene an den Wurzeln von Erbse und Ackerbohne im Rahmen der modellhaften Demonstrationsnetzwerke Erbse und Bohne der Eiweißpflanzenstrategie

Adnan Šišić; Maria R. Finckh, Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz, Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen, mfinckh@uni-kassel.de

Von 2016-2019 wurden deutschlandweit aus 108 ökologisch und 135 konventionell bewirtschafteten Flächen Proben von Erbsen (99 Sommererbsen, 34 Wintererbsen) und Ackerbohnen (110 Flächen) gezogen. Pilzliche Erreger von 4590 Pflanzen wurden im Labor mikroskopisch bestimmt und durch molekulare Analysen bestätigt. Trotz geringer Befallsschwere, wurden 9062 *Fusarium*- und 4055 *Didymella*-isolate, davon etwa ein Drittel aus Ackerbohnen gewonnen. Das Erregerspektrum war in allen Feldern ähnlich. *Didymella pinodella*, *Fusarium redolens*, *F. oxysporum*, *F. avenaceum* und *F. solani* waren die am häufigsten isolierten Arten. Die Arten *F. flocciferum* und *D. lethalis* können sowohl auf Sommer- und Wintererbsen als auch auf Ackerbohnen starken Befall auslösen und wurden erstmals in Deutschland auf Leguminosen nachgewiesen. Die Häufigkeit der Isolierung einzelner Arten wurde durch die Wirtspflanze, das Anbausystem und das Probenahmejahr beeinflusst. *Fusarium* spp. sowie *D. pinodella* waren in Ackerbohnen- und Sommererbsenwurzeln ähnlich häufig. Bei Wintererbsen waren die Wurzelbesiedlungsraten mit *D. pinodella* am höchsten. Eine Detailanalyse zeigte für Ackerbohnen, dass abhängig vom Erreger sowohl der pH als auch zum Teil der Gehalt der organischen Bodensubstanz (OS) mit dem Anbausystem interagieren. Während *D. pinodella* durch pH Werte um 7 (vs 6,2) reduziert wurde, wurde *F. redolens* gefördert. Der OS-Gehalt hatte kaum Einfluss. Im Gegensatz zu dieser Beobachtung waren in einem Topftest mit einem Boden, der aus einem Ökobetrieb mit extrem hohen organischen Inputs und jährlichem Leguminosenanbau stammt die angebauten Erbsen trotz Inokulation weitgehend gesund, während sie in einem konventionellen langjährig leguminosenfreien Boden durch die Inokulation schwer erkrankten. Dieses Ergebnis legt nahe, dass die bodenbiologischen und chemischen Faktoren, die zur Suppression von Krankheiten beitragen im Detail untersucht werden müssen, um eindeutige Managementempfehlungen aussprechen zu können.

Abstract

Identification of the pathogens associated with roots of peas and faba beans in the pea and bean demonstration network of the strategic plan for protein plants

Adnan Šišić; Maria R. Finckh, Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz, Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen, mfinckh@uni-kassel.de

From 2016-2019 99 spring- and 34 winter peas and 110 faba bean fields (108 organic and 135 conventional) were sampled for root and foot diseases. Fungal pathogens were isolated from a total of 4590 roots and identified microscopically with molecular verification. Despite an overall low disease severity, 9062 *Fusarium*- and 4055 *Didymella*-isolates were recovered, about one third from faba beans. The spectrum of species was similar in all fields with *Didymella pinodella*, *Fusarium redolens*, *F. oxysporum*, *F. avenaceum*, and *F. solani* (in that order) most prevalent. *Fusarium flocciferum* and *D. lethalis* were reported the first time in Germany on peas and faba beans. They can cause severe disease on peas and faba beans. As well the host species, as the growing system and year affected the prevalence of the species found. *Fusaria* and *D. pinodella* were similarly frequent in faba beans and spring peas. *Didymella pinodella* was most prevalent in winter peas. A detailed analyses for faba beans indicated that depending on the fungal species as well soil pH as the content of organic matter and growing system interacted. Thus, *D. pinodella* was lower at pH around 7 (vs 6.2) while *F. redolens* was increased with little effect of the organic matter overall. In contrast, we found a highly disease suppressive organically managed soil that receives high organic inputs and grows legumes yearly. In that soil, inoculated peas were rather healthy while they were severely diseased in a conventionally managed soil that had not been grown with legumes for many years. These results suggest that soil biological and chemical factors contributing to plant health need to be scrutinized in detail before clear recommendations for the correct soil management can be made.

1 Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Ein wesentliches Ziel der Eiweißpflanzenstrategie der Bundesregierung ist die Ausdehnung des Leguminosenanbaus in Deutschland zur Steigerung der heimischen Eiweißversorgung. Die Ausweitung des Körnerleguminosenanbaus wird jedoch in der Praxis durch stark schwankende bzw. geringe Erträge behindert. Eine wichtige Grundlage für das Erreichen stabiler und hoher Erträge sind zuverlässige Informationen über die in Deutschland relevanten Pathogene der Körnerleguminosen. Ebenfalls sind möglichst detaillierte Kenntnisse über die Einflüsse von Standort, Bewirtschaftung und Umwelt auf die Ertragsbildung unter Praxisbedingungen notwendig. Zwar liegt eine Reihe von pflanzenbaulichen Einzelergebnissen aus der Forschung vor, Resultate aus Feldversuchen können jedoch nur die geprüften Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen abbilden. Die Versuchsbedingungen sind häufig nicht mit den Bedingungen in der Praxis vergleichbar. Praxiserfahrungen sind hingegen selten publiziert und oft schwer zu verallgemeinern. Die im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie gegründeten Demonstrationsnetzwerke bieten die Möglichkeit, die ackerbauliche Praxis wissenschaftlich zu untersuchen und bei der umfassenden Auswertung bestehende Erkenntnisse aus der Forschung hinsichtlich ihrer Praxisrelevanz zu diskutieren.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen der EPS oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen

Die Hauptziele der aktuellen Studie waren die Beurteilung des Gesundheitszustands der Wurzeln und die Charakterisierung der Vielfalt, der Häufigkeit und möglicher zugrunde liegender Muster der Wirts- oder regionalen Präferenz von *Fusarium* und *Didymella* spp. in Verbindung mit Wurzeln von Erbse und Ackerbohne in Deutschland.

Aufgabenstellung für das Projekt war es, die im Projekt 2814EPS035 in den Jahren 2016-2019 gesammelten und auf Befallsstärke bonitierten Wurzeln auf das Auftreten von Wurzelpathogenen zu untersuchen. Dies soll einen Beitrag zur Klärung von Zusammenhängen wesentlicher ackerbaulicher Einflussfaktoren auf die Wurzelgesundheit von Erbsen und Ackerbohnen in Zusammenarbeit mit dem Projekt 2814EPS035 leisten. Sowohl im ökologischen Landbau als auch unter konventionellen Bedingungen sind die Möglichkeiten hinreichend wirksamer Direktbekämpfungsoptionen für Fußkrankheiten der Körnerleguminosen extrem begrenzt, da für bodenbürtige Erreger keine Fungizide zur Verfügung stehen. Dazuhin besteht oft große Unsicherheit, welche Erreger eine Rolle spielen. Für die Resistenzzüchtung ist es

unabdingbar, zu wissen, welche Resistenzen notwendig sind. Ebenfalls ist es wichtig, zu wissen, welche Managementoptionen synergistisch präventiv zum Pflanzenschutz beitragen können. Diese müssen Baustein sowohl der Eiweißpflanzenstrategie (www.ble.de/eiweisspflanzenstrategie) als auch für den integrierten Anbau sein (BÖLN (<https://www.bundesprogramm.de/>), NAP (<https://www.nap-pflanzenschutz.de/>)).

Im Laufe der Untersuchungen war eine in Deutschland relativ neue hohe Wichtigkeit von *F. redolens*, *F. avenaceum* und *D. pinodella* im Wurzelfäule-Erregerkomplex von Körnerleguminosen evident. Da ihre Epidemiologie, ihre Auswirkungen auf den Ertrag und ihre Aggressivität nicht gut dokumentiert sind, wurden Gewächshausversuche im Laufe des Projektes als zusätzliche Aufgabenstellung durchgeführt, um ihre Rolle im Wurzelfäulniskomplex von Körnerleguminosen besser zu verstehen.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Die Untersuchung umfasste eine 4-jährige Studienperiode (2016 - 2019), die im Rahmen der deutschen Eiweißpflanzenstrategie im Rahmen der Modell-Demonstrationsnetzwerke Erbse/Bohne durchgeführt wurde. Das Projekt fand in enger Zusammenarbeit mit dem noch nicht abgeschlossenen Projekt 2814EPS035 (unter der Leitung von Dr. Harald Schmidt) statt, das den Erbsen- und Ackerbohnenanbau grundlegend untersucht. Das Netzwerk bot die Möglichkeit, den Gesundheitszustand der Wurzeln und den Erregerkomplex bei Erbsen- und Ackerbohnenwurzeln in Ackerbausystemen, die den nord- bis süddeutschen Transekt abdecken, wissenschaftlich zu untersuchen und vorhandene Forschungsergebnisse hinsichtlich ihrer praktischen Relevanz zu diskutieren.

Es wurden jährlich Proben an das Labor des Fachgebietes Ökologischer Pflanzenschutz geliefert und die Anbaubedingungen (Bodenart, Grunddaten der Böden, konventionell/ökologisch) mitgeteilt. Anbaugeschichte und andere Daten liegen in der Verantwortung des Kollegen Dr. H. Schmidt.

Da für 2019 naturgemäß noch viele Informationen aus der Praxis fehlen und die Datenerhebung Projekt 2814EPS035 noch nicht abgeschlossen ist (z.B. Bodenmerkmale der Betriebe, Fruchtfolge- und Bewirtschaftungsgeschichte, Wetterdaten, Pflanzenwurzelgesundheitsstatus usw.), konnte keine detaillierte Analyse des gesamten Datensatzes durchgeführt werden. Daher stellen die hier vorgestellten Daten einen vorläufigen Überblick über die Gesamttendenzen der Wurzelbesiedlungsraten der häufigsten Pilzarten dar, die aus den Wurzeln der untersuchten Wirte auf ökologischen und konventionellen Feldern über den gesamten Probenahmezeitraum (2016-2019) isoliert wurden. Darüber hinaus wird hier beispielhaft eine vertiefte Datenanalyse unter Verwendung der Ackerbohne als

Modellpflanze über die ersten drei Beprobungsjahre (2016-2018) gezeigt. Die vorgestellten Ergebnisse umfassen die Auswirkungen des Anbausystems (ökologisch oder konventionell) auf die Gesundheit der Wurzeln und den *Fusarien*- und *Didymella*- Befall sowie die Auswirkungen der abiotischen Bodeneigenschaften auf das Vorkommen dieser Arten.

2 Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde

Insgesamt sind die Erbsenanbauflächen in Deutschland seit 2000 massiv von ca. 140.000 ha auf unter 40.000 ha 2013 eingebrochen und haben sich seither auf nur 70.000-80.000 ha erholt. Im Gegensatz dazu haben sich die Ackerbohnenflächen von ca. 20.000 ha im Jahr 2000 bis zu einem Minimum von ca 11.000 ha 2008 reduziert und sind seither auf über 50.000 ha gestiegen (FAOSTAT, 2020) (Abbildung 1). Inwieweit die Anstiege der letzten Jahre dem EU Greening bzw. der Eiweißpflanzenstrategie des Bundes zu verdanken sind, können die Autoren nicht abschätzen. Es hat in Deutschland im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie erhebliche Anstrengungen gegeben, den Leguminosenanbau auch mithilfe von Broschüren und Informationsmaterial zu stützen (Alpmann et al., 2013; Böhm et al., 2014; Spiegel et al., 2014).

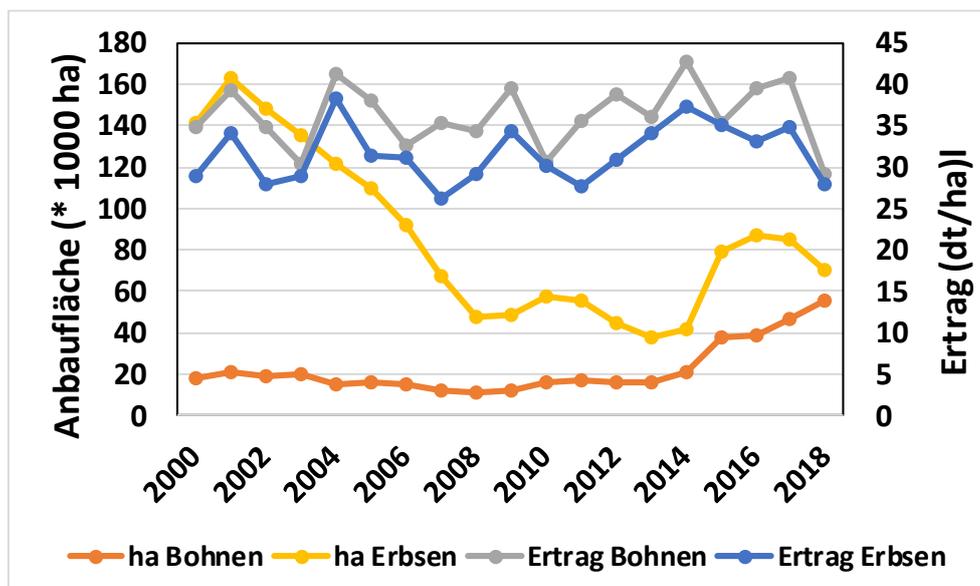
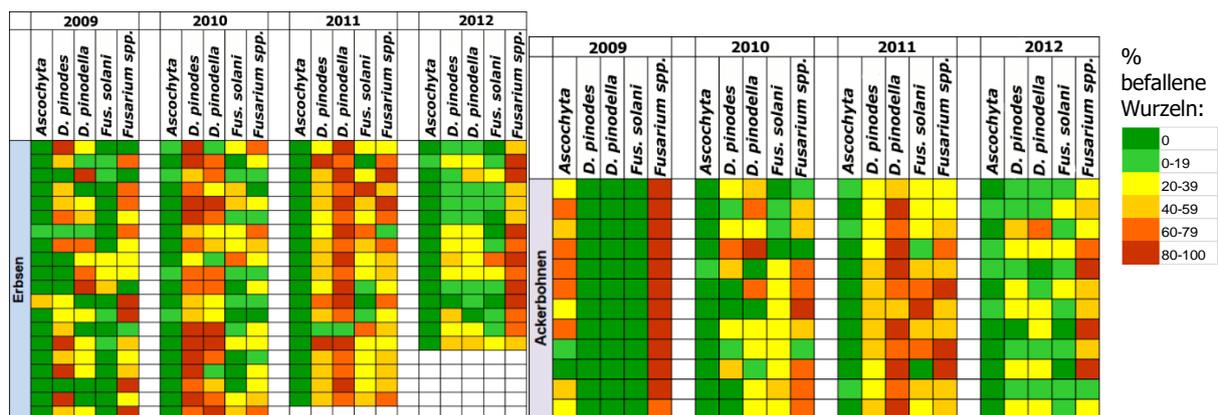


Abbildung 1. Entwicklung der Anbauflächen und mittleren Erträge pro ha für Erbsen und Ackerbohnen seit 2000 in Deutschland Quelle: (FAOSTAT, 2020).

Im Rahmen des „Bodenfruchtbarkeitsprojektes (FKZ 08OE004 bis 08OE009 und 11OE080 bis 11OE085), dessen Inhalte in die oben genannten Broschüren mit eingeflossen sind, wurden in den Jahren 2008 bis 2013 unter anderem Fußkrankheiten in Erbsen und Ackerbohnen im Ökologischen Landbau als wichtige ertragslimitierende Faktoren identifiziert (Wilbois et al., 2013). Dominierende Pathogene in diesen Jahren waren *Didymella pinodes* (alter Name: *Mycosphaerella pinodes*; *Ascochyta pinodes*), *Didymella pinodella* (alter Name:

Phoma medicaginis; *Phoma pinodella*; *Peyronellaea pinodella*), *Fusarium solani* und untern den als „*Fusarium* spp.“ Zusammengefassten Arten vor allem *F. oxysporum* und *F. avenaceum* (+) (Tabelle 1).

Tabelle 1. Befallstruktur, Erregerhäufigkeit und Anteil von Wurzelkrankheitserregern (% befallene Wurzeln) (*Ascochyta pisi* bzw. *fabae*, *Didymella pinodes* (*D. pinodes*), *Didymella pinodella* (*D. pinodella*), *Fusarium solani* und *Fusarium* spp.) in Erbsen über 4 Jahre auf 20 Betrieben (15 Betriebe in 2012) und in Ackerbohnen über 4 Jahre auf 12 Betrieben¹.



¹Jede Zeile stellt einen Betrieb bzw. Betriebsschlag pro Jahr dar) (übernommen aus Endbericht BoFru Projekt Abb. 169 und 170, (Wilbois et al., 2013).

Die Befallsstärke war moderat bis hoch und damals wie heute wird aus Praxis und Beratung über gravierende Probleme sowohl beim Anbau von Körnererbsen als auch bei Ackerbohnen berichtet. Die oben genannten Broschüren zum Anbau von Körnererbsen und Ackerbohnen haben zwar insgesamt die Beratungslage verbessert, trotzdem fehlen fundierte Informationen in Bezug auf die Ertragsfaktoren und deren Steuerung. Eine dem Standort und den Umweltbedingungen angepasste Entscheidungshilfe für konkrete Maßnahmen können sie jedoch nicht bieten.

Den wichtigsten Faktor in der Begrenzung des Leguminosenanbaus stellen die Fuß- und Wurzelkrankheiten dar, die meist nicht nur samen- sondern auch bodenbürtig sind und je nach Erreger mehrere Arten befallen können. Dies macht die Gestaltung der Fruchtfolge insgesamt schwierig. Unter den Körnerleguminosen leiden Erbsen und *Phaseolus*-Bohnen stärker unter Fußkrankheiten als Ackerbohnen oder Lupinen, besonders auf Standorten mit einer stärkeren bodenbürtigen Ausgangsbelastung.

Ursache für so genannte „Fußerkrankungen“ an Leguminosen sind in der Regel Mischinfektionen verschiedener Erreger, die je nach Anbaugesbiet in unterschiedlichem Verhältnis zueinander auftreten. Die am weitesten verbreiteten Krankheiten der Erbsen sind

im so genannten „*Ascochyta*-Komplex“ zusammengefasst und werden von insgesamt drei Erregern verursacht: *Ascochyta pisi*, *D. pinodes*, und *D. pinodella*, die häufig gleichzeitig auf den Pflanzen vorkommen. Während *A. pisi* und *D. pinodes* vorrangig Blattflecken verursacht, ist *D. pinodella* Hauptverursacher der Fußkrankheit (Bretag et al., 2001; Kraft and Pflieger, 2000). Die geschätzten Ertragsverluste durch mindestens einen der beiden Erreger erreichen in Einzelfällen bis zu 50 bis 75 Prozent (Bretag et al., 2001). Besonders problematisch sind die Erreger, weil *D. pinodes* und *D. pinodella* bis zu zehn Jahre als Chlamydosporen und alle Erreger saprophytisch auf Pflanzenresten mehrere Jahre im Boden überdauern können. In Extremfällen wurde *D. pinodes* sogar noch nach 20 Jahren im Boden nachgewiesen (Kraft and Pflieger, 2000; Wallen and Jeun, 1968). Bis 1988 war *D. pinodes* die dominante Pilzart des *Ascochyta*-Komplexes in Deutschland (Nasir, 1991; Nasir and Hoppe, 1991). Auch weltweit erscheint *D. pinodes* im konventionellen Anbau die größte wirtschaftliche Bedeutung zu haben. Ertragsprobleme in Erbsen werden vor allem auf den *Ascochyta*-Fußkrankheitskomplex zurückgeführt (Bretag et al., 2001; Davidson and Ramsey, 2000; Kraft and Pflieger, 2000). Eine breite Untersuchung in Deutschland in den Jahren 2005 und 2006 auf insgesamt 146 Standorten zeigte jedoch eine deutliche Dominanz von *D. pinodella* über *D. pinodes* (Pflughöft et al., 2006). Dies wurde für Ökoflächen für die Jahre 2008-2012 ebenfalls belegt (Wilbois et al., 2013) (Tabelle 1). Eine Erklärung für die Verschiebung des Erregerspektrums in den letzten 20 Jahren von *D. pinodes* zu *D. pinodella* könnte im vermehrten Anbau von Wicken und Lupinen in Zwischenfruchtgemengen liegen, da *D. pinodella* neben der Erbse auch diese befällt, wenn auch oft weitgehend symptomfrei (Šišić et al., 2018a).

Neben *D. pinodella* sind *Fusarium* spp. derzeit die wichtigsten Erreger von Fußkrankheiten an Erbsen und Ackerbohnen in Deutschland. So wurden in der oben genannten Studie (Pflughöft et al., 2012, 2006) an 112 von 146 Orten *Fusarium* spp., aber „nur“ an 71 Orten *D. pinodella* auf Erbsen nachgewiesen. Im Bodenfruchtbarkeitsprojekt spielten *Fusarien* eine wichtigere Rolle auf Ackerbohnen als die Erreger des *Ascochyta*-Komplexes (Tabelle 1). *Fusarium solani* (befällt auch Phaseolus Bohnen und Rotklee), *F. avenaceum* (befällt auch Lupine und Getreide) und *F. oxysporum* (befällt auch Ackerbohnen, Lupinen und Wicke) können schwere Symptome hervorrufen, während *F. culmorum* und *F. redolens* weniger wichtig für die Erbse sind. Bei *F. culmorum* spielt vor allem die Funktion der Erbse als Zwischenwirt für Getreide eine Rolle. Die meisten *Fusarium*-Arten bilden wie *D. pinodella* und *D. pinodes* langlebige Chlamydosporen.

Aphanomyces euteiches und *Rhizoctonia solani* können im Einzelfall v. a. bei Erbsen erhebliche Schäden anrichten, sie kamen bisher jedoch seltener als dominante Erreger in

Deutschland vor. Bei wärmeren und zugleich feuchten Bedingungen verursachen hingegen vor allem *Pythium*-Arten, vor allem *P. ultimum*, Samen- und Keimlingsfäulen.

Während die Studien von Pflughöft (2012) sich nur auf konventionelle Flächen in den Jahren 2006 und 2007 beziehen, waren die Erhebungen im Bodenfruchtbarkeitsprojekt ab 2008-2012 auf Ökoflächen beschränkt (Wilbois et al., 2013). Inwieweit Unterschiede der Wichtigkeit der Erreger auf dem Anbausystem beruhen ist daher nicht bekannt. Auch ist nicht bekannt, ob und wie sich das Erregergeschehen während der letzten Jahre, die durch deutlich andere Wetterverhältnisse (vor allem Frühjahrstrockenheiten) charakterisiert waren als in der Vergangenheit, verändert hat.

3 Material und Methoden

3.1 Feldbeprobungen

Im Zeitraum zwischen 2016 und 2019 wurden 243 ökologisch und konventionell bewirtschaftete Felder mit Ackerbohne sowie Winter- und Sommererbsen beprobt. Die Felder befanden sich in 10 Bundesländern: Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg und Bayern. Auf jedem Feld wurden in den ersten drei Erhebungsjahren 18-20 Wurzelproben an zwei verschiedenen Standorten für alle Kulturen gesammelt, während im Jahr 2019 die Anzahl der Wurzelproben bei der Erbsen gleich blieb und der Probenahmeaufwand für die Ackerbohne auf 10 Wurzeln reduziert wurde. Anschließend wurden die Wurzeln geschüttelt und gewaschen, um anhaftende Erde zu entfernen, und die einzelnen Pflanzen wurden anhand einer visuellen Skala von 1-9 auf der Grundlage der externen Wurzelgewebeverfärbung nach dem Grad der Verfärbung bewertet (Pflughöft et al., 2012). Die Pflanzenproben wurden dann an das Labor der Uni Kassel geschickt, wo die Pilzisolierung und -identifizierung wie zuvor beschrieben durchgeführt wurde (Šišić et al., 2018b). Nach ihrer Ankunft wurden die Wurzeln erneut gründlich unter fließendem Leitungswasser gewaschen, 10 s lang mit 3% Natriumhypochlorit oberflächensterilisiert, in destilliertem Wasser gespült und 1 h lang auf Filterpapier unter einer Sterilbank platziert. Etwa 1 cm lange Stücke, die jeweils Wurzeln, Kronen und Übergangszone darstellten, wurden geschnitten und auf Coons-Medium (Coons, 1916) zur Inkubation unter 20°C unter 12-stündigen Zyklen von UV-Licht und Dunkelheit gelegt. Die Wurzeln umfassten sowohl seitliche als auch Pfahlwurzeln bis zum Punkt der Samenanhftung, die Krone wurde als Punkt der Samenanhftung bis zum ca. 0,5 cm unter der Bodenoberfläche, und die Übergangszone umfasste einen Bereich von ca. 1,5 cm an der Stelle des Übergangs von der Krone zum Stängel. Nach 1-2 Wochen Inkubation wurden Reinkulturen entweder durch Einzelsporenübertragung

oder durch Hyphenspitzen erzeugt, und jedes Isolat wurde mikroskopisch untersucht und auf der Grundlage des kulturellen Erscheinungsbildes (Koloniefarbe und Pigmentierung) und der mikroskopischen Untersuchung der konidiogenen Zellen bis auf Artniveau identifiziert (Boerema et al., 2004; Leslie and Summerell, 2006). Die morphologische Identität zufällig ausgewählter Isolate wurde durch Sequenzierung des Anteils des Translationsdehnungsfaktors 1 alpha (*Fusarium* spp.) (O'Donnell et al., 1998) und des Beta-Tubulins (*Didymella* spp.) (Chen et al., 2015) bestätigt. Wo die Auflösung der Spezies nicht klar war, wurde die zweitgrößte Untereinheit der RNA-Polymerase II (*rpb2*) zusätzlich amplifiziert und sequenziert (Liu et al., 1999; Sung et al., 2007).

Auf der Grundlage der gesammelten Daten wurden die prozentualen Besiedlungsraten (z.B. Isolationsfrequenzen) auf der gesamten Wurzel und der Ebene des Wurzelgewebes (Wurzeln, Kronen und Übergangszone) für jede Pilzart berechnet. Hierfür wurde die Anzahl von Proben, in denen die Art vorhanden war, durch die Gesamtzahl der Proben geteilt. Darüber hinaus wurde die Prävalenz der Pilzarten berechnet, indem die Anzahl von Feldern, in denen jede Art vorhanden war, durch die Gesamtzahl der beprobten Felder geteilt wurde. Die Wurzelfäule-Inzidenz wurde als Prozentsatz der Felder mit einer mittleren Krankheitsschwere von mehr als 3 berechnet.

3.2 Gewächshaus-Experimente

Um die Aggressivität der in dieser Studie identifizierten, weniger dokumentierten Krankheitserreger besser zu verstehen, wurden Aggressivitätsexperimente in autoklaviertem Sand oder Boden im Gewächshaus durchgeführt, wobei Erbsen und/oder Ackerbohne als Wirtspflanzen verwendet wurden. Ein oder mehrere Isolate von *D. pinodes*, *D. lethalis*, *F. redolens*, *F. avenaceum* und *F. flocciferum* wurden verwendet (Tabelle 2). Darüber hinaus wurden mehrere *Didymella*-ähnliche Isolate aus Erbsen- und Ackerbohnewurzeln gewonnen, die neue Arten in der Gattung darstellten. Nach einer detaillierteren phylogenetischen Multi-Locus-Analyse in enger Zusammenarbeit mit Kollegen vom Westerdijk Fungal Biodiversity Institute (Niederlande) wurde jedoch festgestellt, dass die Isolate zur *Juxtiphoma* (*Phoma*) *eupyrena* clade gehören. Die Art weist eine hohe intraspezifische Variabilität auf, und da das Wirtsspektrum und die Aggressivität gut dokumentiert sind und der Pilz keine Relevanz für die Gesundheit der Erbsen- oder Ackerbohnenwurzel hat, wurden keine weiteren Aggressivitätstests durchgeführt.

Tabelle 2. Geprüfte Krankheitserreger, inokulierte Wirtspflanzen und Kultursubstrat für Gewächshausversuche.

Pathogen	Geprüfte Wirte			Wachstumsmedium
	Sommerkörnererbse	Winterkörnererbse	Ackerbohne	
<i>D. pinodella</i>	x	x		Sand
<i>D. lethalis</i>	x	x		Sand
<i>F. avenaceum</i>	x	x		Sand und Boden
<i>F. redolens</i>	x		x	Sand
<i>F. flocciferum</i>	x		x	Sand

Für *D. pinodella* und *F. avenaceum* wurde zunächst ein Isolat jeder Art an Sommererbsen 'Santana' und Wintererbsen 'EFB33' geprüft. Dieser Versuch wurde in autoklaviertem Sand mit 300 ml Töpfen über sechs Wochen durchgeführt und fünf Mal wiederholt. Die Aggressivitätstests von *D. pinodella* wurden weiter ausgedehnt und umfassten 64 Isolate der Arten, die von asymptomatischen Wurzeln von Winterweizen (*Triticum aestivum*), Ackerbohne (*Vicia faba*), Erdklee (*Trifolium subterraneum*), Weißklee (*T. repens*), Sommerwicke (*V. sativa*) und Winterwicke (*V. villosa*) gesammelt wurden. Darüber hinaus dienten 12 Isolate, die aus symptomatis Sommerserbsen 'Santana' in 500-ml-Töpfen, autoklaviertem Sand als Wachstumsmedium und über vier Wochen durchgeführt.

Die Aggressivität von *F. avenaceum* wurde weiter in einem konventionellen und einem ökologischen Boden mit einem hochaggressiven Isolat getestet. Der Versuch wurde in 600 ml Rhizoboxen durchgeführt, die im ca. 60°-Winkel während der 20 Tage des Versuchs gehalten wurden. Das Versuchsdesign bot die Möglichkeit, das Wurzelwachstum und die Schädigung durch den Erreger detaillierter zu bewerten. Der verwendete konventionelle Boden stammte aus einem langfristig leguminosenfreien Boden, während der ökologisch bewirtschaftete Boden von einem Feld mit fast jährlichem Anbau von Leguminosen (v.a. Wicken als Zwischenfrucht) in der Fruchtfolge und dem regelmäßigen Einsatz von totem oder lebendem Mulch stammte. Dieser Boden wurde von den Projektnehmern im Rahmen eines Feldtages zu regenerativer Landwirtschaft wahrgenommen und freundlicherweise vom Landwirt zur Verfügung gestellt.

Das Experiment mit *F. redolens* wurde in 300-ml-Töpfen in autoklaviertem Sand durchgeführt und umfasste entweder 7 Isolate, die an Sommererbsen 'Respect' getestet wurden, oder 3 ausgewählte Isolate, die an mehreren Ackerbohnsensorten, darunter 'Taifun', 'Bilbo' und 'Fanfare', getestet wurden. Darüber hinaus wurden drei Isolate von *D. lethalis* an Sommererbsen Santana und Wintererbsen 'EFB 33' in einem 47-tägigen Experiment mit

autoklaviertem Sand in 300-ml-Töpfen als Wachstumsmedium getestet. Für *F. flocciferum* wurden zwei Isolate verwendet und auf Aggressivität an Sommererbse 'Respect' und Ackerbohne 'Taifun', untersucht. Am Ende jedes Versuchs wurde der Schweregrad der Wurzelfäule-Symptome auf der 1-9 Skala, wie oben beschrieben, bewertet und die Biomasse gemessen.

3.3 Datenanalyse

Alle statistischen Analysen wurden in R durchgeführt (R Core Team, 2013). Die Daten zur mittleren Wurzelfäule-Inzidenz (Prozentfelder mit mittleren Krankheitsschweregraden von mehr als 3) und zur Schwere der Wurzelfäule-Symptome wurden als nicht-parametrische Daten behandelt und mit Hilfe des Ranking-Verfahrens des Kruskal-Wallis-Tests mit den angepassten P-Werten unter Verwendung der Methode der falschen Entdeckungsrate (Benjamini and Hochberg, 1995; Conover, 1999) im Paket 'Agricolae' analysiert (Mendiburu, 2014). Das Managementsystem und das Jahr wurden als Haupterklärungsvariablen aufgenommen. Wenn signifikante Behandlungseffekte beobachtet wurden ($P < 0,05$), wurden die Mittelwerte der Rangfolge mit dem Kruskal-Mehrfachvergleichstest getrennt.

Bei der Analyse der Isolationshäufigkeit einzelner Pilzarten, die mit den Wurzeln der Ackerbohne assoziiert waren, wurden extrem seltene Arten (d.h. $<2\%$ der gesamten Isolationen) nicht berücksichtigt. Um zu bestimmen, ob die Isolationshäufigkeiten (der Prozentsatz aller Pflanzenproben, die diese Art hervorbrachten) durch das Bewirtschaftungssystem, den Wurzelgewebetyp, das Probenahmejahr oder die Feldcluster (siehe unten) beeinflusst wurden, führten wir ein verallgemeinertes lineares Mischmodell (glmmTMB) (Brooks et al., 2017) mit proportionalen Daten mit einer binomialen Reaktion und einer Logit-Link-Funktion durch. Die Stichprobenfelder wurden als Zufallseffekt verwendet. Um die Pseudoreplikation der Felder zu berücksichtigen, wurden die Stichprobenreplikate darin verschachtelt. Bei den über die Jahre analysierten Daten wurde auch das Jahr als Zufallseffekt verwendet. Die Prävalenz von Pilzarten (der Anteil der Felder, aus denen jeder Erreger isoliert wurde) und die Wurzelfäule-Inzidenz (der Anteil der Felder mit einer mittleren Krankheitsschwere von mehr als 3) wurden als binäre Daten (Vorhandensein/Abwesenheit) behandelt und mit verallgemeinerten linearen Bayesischen Modellen und einer Logit-Link-Funktion analysiert (Yu-Sung, 2018). Die Anpassungsgüte der Modelle wurde mit dem Pearson-Chi-Quadrat-Test bewertet, wobei geprüft wurde, ob die Gesamtabweichungen signifikant von der erwarteten Verteilung abweichen, und visuell durch Auftragen der Pearson-Residuen gegen die erwarteten Werte. Falls erforderlich, wurden die Daten vor der Analyse quadratwurzeltransformiert. Die Signifikanz der Haupteffekte in verallgemeinerten linearen

Modellen wurde unter Verwendung der Anova-Funktion im Paket 'Agricolae' mit der Quadratsumme der Marginsumme vom Typ III bewertet. Wenn signifikante Behandlungseffekte beobachtet wurden, wurden Vergleiche der Least Square Means (LSM) mit der Tukey-Korrektur über die Effektniveaus durchgeführt ($P < 0,05$) (Paket 'lsmeans') (Lenth, 2016). Die berichteten P-Werte für die Haupteffekte stammen aus ANOVA-Ergebnissen, während nach mehrfachen Vergleichen der Faktorniveaus die kleinsten Quadrate der Test-P-Werte gezeigt werden.

Um weiter zu untersuchen, ob die Kombination abiotischer Bodeneigenschaften die Häufigkeit einzelner Arten beeinflusst, wurden die Felder nach ihren Ähnlichkeiten zueinander gruppiert, wobei die Analysen des Hierarchical Clustering on Principle Components (HCPC) verwendet wurden (Paket 'FactoMineR') (Lê et al., 2008). Wetterdaten wurden nicht in die Analyse einbezogen.

Die in Gewächshausversuchen generierten Daten sind als Screening rein deskriptiv dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Felddaten Gesamtdatensatz (2016-2019)

Insgesamt wurden 3579 Wurzeln auf den Schweregrad der Wurzelfäule-Symptome im Zeitraum 2016-2018 untersucht. Die untersuchten Wurzeln aller drei Wirte, Sommer und Wintererbsen und Sommerackerbohnen, waren in beiden Managementsystemen meist gesund bis schwach erkrankt. Bei den über die Jahre analysierten Daten, die für jede Kultur und jedes Bewirtschaftungssystem separat analysiert wurden, reichten die durchschnittlichen Krankheitsschweregrade von 1,7 für Winterkörnererbse bis 3,2 für Sommerkörnererbse (Tabelle 1).

Das Auftreten von Wurzelfäule (Prozentsatz der Felder mit einem mittleren Krankheitsschweregrad von mehr als 3) bei Ackerbohne und Sommererbsen wurde stark durch das Bewirtschaftungssystem beeinflusst. Bei beiden Kulturen war die Häufigkeit von Feldern mit mittleren Krankheitsschweregraden von mehr als 3 bei ökologisch bewirtschafteten Feldern höher als bei konventionell bewirtschafteten. Bei Ackerbohne betrug die Häufigkeit ökologisch 31% (18/53 Feldern) gegenüber konventionell 16% (9/57) und bei Sommererbsen ökologisch 35% (9/26) gegenüber konventionell 12% (9/73). Dennoch war die Wurzelfäule-Symptomschwere beider Bewirtschaftungssysteme insgesamt mäßig und auf einem ähnlichen Niveau. Im Gegensatz dazu waren die Wurzeln von Winterkörnererbse im Allgemeinen gesund

mit einer mittleren Krankheitsschwere von mehr als 3, die nur auf 2 von 29 ökologisch bewirtschafteten Feldern festgestellt wurde (Tabelle 3).

Im Laufe der vier Jahre wurden aus 4590 Wurzeln von 243 Feldern Pilze isoliert. Daraus resultierten 9062 *Fusarium* spp. Isolate und 4055 *Didymella* spp. Isolate. Aus Ackerbohne wurden 4228 *Fusarium*- und 497 *Didymella*-Isolate, aus Sommererbsensorten 4173 *Fusarium*- und 1910 *Didymella*-Isolate, und aus Wintererbsensorten 661 *Fusarium*- und 1648 *Didymella*-Isolate gewonnen. Insgesamt waren *D. pinodella* (40% kolonisierte Wurzeln), *F. redolens* (31%) und *F. oxysporum* (30%), *F. avenaceum* (25%) und *F. solani* (22%) die am häufigsten isolierten Arten. Die nächst häufigeren Arten waren *F. tricinctum*, *F. culmorum* und *F. equiseti*, die von 6% (z.B. *F. equiseti*) bis 13% (z.B. *F. tricinctum*) der Wurzeln isoliert wurden. Die übrigen Arten (Daten nicht gezeigt) wurden mit einer Häufigkeit von 2% oder weniger isoliert, darunter die folgenden 7 *Fusarium*- und 3 *Didymella* spp: *F. acuminatum*, *F. graminearum*, *F. crookwalance*, *F. torulosum*, *F. sporotrichioides*, *F. sambucinum*, *F. flocciferum*, *D. pinodes*, *D. lethalis* und *D. eupyrena* (syn. *Juxtiphoma eupyrena*). Die morphologischen Art-Identitäten wurden für eine Untergruppe von 246 *Fusarium*- und 32 *Didymella*-Isolate bestätigt. Die Arten *F. flocciferum* und *D. lethalis* wurden erstmals in Deutschland auf unterschiedlichen Leguminosen nachgewiesen (Šišić et al., 2018c; Šišić et al., 2020).

Es gab keinen Einfluss des Anbausystems, konventionell vs. biologisch, auf das Spektrum der isolierten Krankheitserreger. Während die Inzidenz im Verlauf der Probenahmeperiode auf niedrigem bis mittlerem Niveau blieb (Tabelle 3, Tabelle 4), wurde die Häufigkeit der Isolierung einzelner Arten stark durch die Wirtspflanze (Ackerbohne, Sommer- und Wintererbse), das Bewirtschaftungssystem (ökologisch vs. konventionell) und das Probenahmejahr beeinflusst (Tabelle 3, Tabelle 4). Insgesamt traten sowohl *Fusarium* spp. als auch *D. pinodella* in Ackerbohne- und Sommererbsenwurzeln in höheren Frequenzen auf, während bei Wintererbsen die meisten *Fusarium*-Arten in niedrigeren Frequenzen gefunden wurden und mit hohen Wurzelbesiedlungsraten mit *D. pinodella* kontrastierten. Eine Ausnahme war *F. avenaceum*, die als einzige *Fusarium*-Art stabile Populationen auf allen Kulturen zeigte (Tabelle 3). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Arten wie *F. redolens*, *F. oxysporum* und *F. solani* hauptsächlich im Frühjahr und Sommer aktiv sind, während *F. avenaceum* und *D. pinodella* das ganze Jahr über aktiv sind und beide einen ökologischen Vorteil vor allem während der Winterperiode haben.

Das Bewirtschaftungssystem und das Jahr spielten auch eine bedeutende Rolle bei der Wurzelbesiedlungsrate der einzelnen Arten (Tabelle 4). So zeigte *F. redolens* zum Beispiel im Vergleich zu konventionell bewirtschafteten Feldern einen allgemeinen Trend zu höheren

Isolationsfrequenzen bei ökologisch angebauten Ackerbohnen und Sommererbsen. Dieser Trend war bei *F. avenaceum* entgegengesetzt. Diese Art besiedelte häufiger Wurzeln in konventionell bewirtschafteten Feldern. Dieser entgegengesetzte Trend war auch 2018 sichtbar, als *F. redolens* in beiden Bewirtschaftungssystemen in besonders hohen Frequenzen in den Wurzeln von Ackerbohne und Erbsen gefunden wurde und das Auftreten von *F. avenaceum* besonders niedrig war (Tabelle 4). Da 2018 ein Jahr mit sehr geringen Niederschlägen war, deuten die Ergebnisse auf eine bessere Anpassung von *F. redolens* an Trockenheitsbedingungen und seinen Vorteil gegenüber anderen Krankheitserregern (insbesondere *F. avenaceum*, aber auch *D. pinodella*; siehe Tabelle 4) hin. Auch kann dies ein Hinweis auf die gute Fähigkeit sein, Kulturen unter abiotischem Stress zu besiedeln. *Didymella pinodella* war ein weiterer Erreger, der stark vom Bewirtschaftungssystem und dem Jahr beeinflusst wurde. Die Art wurde vorwiegend auf ökologischen Feldern bei allen Kulturen gefunden. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass nur eine geringe Anzahl konventioneller Felder mit Wintererbsen beprobt wurde, weshalb mehr Daten benötigt werden, um festzustellen, ob die unterschiedlichen Muster zwischen den Anbausystemen bestehen bleiben. Interessanterweise wurden jedoch, ähnlich wie bei *F. avenaceum*, die niedrigsten Wurzelbesiedlungsraten bei Ackerbohne und Sommererbse im Jahr 2018 gefunden, als *F. redolens* dominierte. Die Arten *F. oxysporum* und *F. solani* zeigten eine gewisse Variabilität, wurden aber im Allgemeinen in allen Jahren und in beiden Anbausystemen mit ähnlichen Isolationsfrequenzen an Ackerbohne und Erbsen gefunden. Die weiteren *Fusarium*-Arten (z.B. *F. tricinctum*, *F. culmorum* und *F. equiseti*) traten mit niedrigeren Frequenzen ohne offensichtliche Trends auf (Tabelle 3 und Tabelle 4).

Tabelle 3. Kolonisierte Wurzeln (%)^{*} der acht wichtigsten Arten, die auf Ackerbohnen, Sommer- und Wintererbsen im Ökologischen und konventionellen System im Zeitraum 2016-2019 identifiziert wurden, und die Anzahl der Pflanzen (n.DS), die hinsichtlich des Schweregrads der Wurzelfäule-Symptome, der Gesamtwerte für den Schweregrad der Fuß- und Wurzelfäule-Krankheit (DS), der Anzahl der Felder mit einem DS größer als 3 (DS>3) und der durchschnittlichen Krankheitschweregrade für Felder mit einem DS größer als 3 (MDS>3) für den Zeitraum 2016-2018 geprüft wurden (Daten für 2019 nicht verfügbar). Die Farbkodierung zeigt den Besiedelungsgrad in 20% Stufen wie in Tabelle 1 beschrieben.

Wirtspflanze (2016-2019)	Anbausystem	N ¹	n ²	<i>F. red.</i>	<i>F. oxy.</i>	<i>F. sol.</i>	<i>F. ave.</i>	<i>F. tric.</i>	<i>F. equi.</i>	<i>F. culm.</i>	<i>D. pin.</i>	n.DS ³	MS ⁴	DS>3 ⁵	MDS>3 ⁶
Ackerbohne	Öko.	53	946	43,1 a	40,4 a	26,5 a	15,5 b	6,7 b	8,1 ns	4,7 b	31,4 b	830	3,0	18	3,9
	Konv.	57	993	25,6 b	31,5 ab	27,9 a	29,4 a	14,4 ab	4,1	10,7 a	2,8 c	845	2,3	9	3,6
Sommerkörnererbse	Öko.	26	520	38,5 ab	38,5 ab	24,6 a	21,3 ab	10,8 ab	5,2	3,8 b	58,7 ab	383	3,2	9	4,7
	Konv.	73	1458	32,6 ab	31,1 ab	20,3 a	28,7 a	19,0 a	6,0	6,7 ab	42,7 b	1106	2,2	9	4,0
Winterkörnererbse	Öko.	29	574	9,2 c	6,1 c	8,5 b	27,2 ab	6,1 b	3,8	4,0 b	88,7 a	355	2,2	2	4,9
	Konv.	5	99	19,2 bc	10,1 bc	15,2 ab	22,2 ab	13,1 ab	9,1	7,1 ab	57,6 ab	60	1,7	-	-
Gesamt	2016-2019	243	4590	30,7	30,3	22,1	25,0	12,8	5,8	6,5	39,6	3579	2,5	47	

* Kolonisierte Wurzeln (%) = (Anzahl Isolate/Anzahl untersuchte Wurzeln) x 100;

¹ Anzahl beprobter Messparzellen;

² Anzahl untersuchter Wurzeln;

³ Anzahl der Wurzeln, die auf den Schweregrad der Wurzelfäule-Symptome untersucht wurden;

⁴ Gesamter Mittelwert des Schweregrades der Wurzelkrankheit (DS) (für alle Betriebe) (Skala 1-9; 1=gesunde, 9 -tote Pflanze);

⁵ Keine Betriebe mit einem DS-Wert von mehr als 3;

⁶ Mittelwert des DS für Betriebe mit einem DS-Wert von mehr als 3; leere Zellen = keine Daten verfügbar.

F. red. = *F. redolens*; *F. oxy.* = *Fusarium oxysporum*; *F. sol.* = *F. solani*; *F. ave.* = *F. avenaceum*; *F. tric.* = *F. tricinctum*; *F. equi.* = *F. equiseti*; *F. culm.* = *F. culmorum*; *D. pin.* = *Didymella pinodella* (syn. *Phoma pinodella*). Daten zum Schweregrad der Wurzelfäule-Symptome liegen für die 2019 beprobten Felder nicht vor (es werden Durchschnittswerte über die ersten 3 Probenahmejahre (2016-2018) angegeben).

Mittelwerte innerhalb einer Spalte (für jede Pilzarten), gefolgt von verschiedenen Buchstaben, weisen auf signifikante Unterschiede in den Isolationshäufigkeiten; ns = Nicht signifikant ($P < 0,05$; LSM).

Tabelle 4. Kolonisierte Wurzeln (%)* der acht wichtigsten Arten, die auf Ackerbohnen, Sommer- und Wintererbsen im Ökologischen und konventionellen System im 2016-2019 identifiziert wurden, und Gesamt-Scores für den Krankheitsschweregrad von Fuß- und Wurzelfäule (DS), Anzahl der Felder mit DS größer als 3 (DS>3) und durchschnittliche Krankheitsschweregrade für Felder mit DS größer als 3 (MDS>3) für den Zeitraum von 2016-2018 (Daten für 2019 nicht verfügbar). Die Farbkodierung zeigt den Besiedelungsgrad in 20% Stufen wie in Tabelle 1 beschrieben.

Wirtsart	Jahr	Anbausystem	N	n	<i>F. red.</i>	<i>F. oxy.</i>	<i>F. sol.</i>	<i>F. ave.</i>	<i>F. tric.</i>	<i>F. equi.</i>	<i>F. culm.</i>	<i>D. pin.</i>	MS ³	DS>3 ⁴	MDS ⁵
Ackerbohne	2016	Öko.	12	240	41	40	30	20	5	16	8	15	3,4	7	3,9
		Konv.	14	280	17	30	31	37	21	5	9	3	3,0	5	3,6
	2017	Öko.	14	279	31	35	21	17	14	8	4	41	2,5	3	3,7
		Konv.	15	298	21	29	19	27	12	4	10	3	1,7	0	0,0
	2018	Öko.	16	317	66	45	33	11	2	2	2	29	3,0	8	3,9
		Konv.	14	275	44	32	42	29	8	3	10	2	2,4	4	3,6
	2019	Öko.	11	110	14	42	15	14	6	7	8	51			
		Konv.	14	140	17	40	12	21	19	5	16	6			
Sommerkörnererbse	2016	Öko.	6	120	40	40	20	28	20	8	5	63	2,7	2	4,2
		Konv.	18	360	25	36	16	45	26	9	6	42	2,2	3	3,9
	2017	Öko.	7	140	19	44	17	29	9	1	3	71	3,2	3	4,6
		Konv.	20	400	26	31	21	26	19	5	5	39	2,1	2	5,2
	2018	Öko.	7	140	56	36	36	6	3	1	1	39	3,6	4	5,0
		Konv.	18	359	49	28	23	16	7	5	3	29	2,3	4	3,6
	2019	Öko.	6	120	40	33	25	23	13	13	8	63			
		Konv.	17	339	32	29	23	28	24	5	14	63			
Winterkörnererbse	2016	Öko.	4	78	13	8	19	50	8	9	5	72	1,9	0	0,0
		Konv.	2	40	25	23	28	35	13	8	13	20	1,6	0	0,0
	2017	Öko.	10	198	4	2	9	18	7	2	1	85	2,6	2	4,9
		Konv.	2	40	25	23	28	35	13	8	13	20	1,6	0	0,0
	2018	Öko.	7	138	20	11	7	27	7	3	3	94	1,8	0	0,0
		Konv.	1	19	42	5	0	21	16	11	0	100	2,0	0	0,0
	2019	Öko.	8	160	5	7	4	28	4	4	8	98			
		Konv.	2	40	3	0	10	10	13	10	5	75			
Gesamt	2016-2019		243	4590	31	30	22	25	13	6	7	40	2,5		

*Kolonisierte Wurzeln (%) = (Anzahl Isolate/Anzahl untersuchte Wurzeln) x 100; ¹Anzahl beprobter Messparzellen; ² Anzahl untersuchter Wurzeln; ³Gesamter Mittelwert des Schweregrades der Wurzelkrankheit (DS) (für alle Betriebe) (Skala 1-9; 1=gesunde, 9 -tote Pflanze); ⁴Keine Betriebe mit einem DS-Wert von mehr als 3; ⁵Mittelwert des DS für Betriebe mit einem DS-Wert von mehr als 3; leere Zellen = keine Daten verfügbar. *F. red.* = *F. redolens*; *F. oxy.* = *Fusarium oxysporum*; *F. sol.* = *F. solani*; *F. ave.* = *F. avenaceum*; *F. tric.* = *F. tricinctum*; *F. equi.* = *F. equiseti*; *F. culm.* = *F. culmorum*; *D. pin.* = *Didymella pinodella* (syn. *Phoma pinodella*).

4.2 Gewächshausversuche

Die durchschnittlichen Krankheitswerte aus den Gewächshausversuchen sind in Tabelle 5 zusammengefasst (Kontrollen werden nicht gezeigt, da diese gesund waren). Insgesamt waren die Wintererbsensorten im Vergleich zu den Sommererbsensorten resistenter gegen *D. pinodella*, *F. avenaceum* und *D. lethalis*. Insbesondere *F. avenaceum* und *D. pinodella* zeigten ein hohes pathogenes Potential bei der Sommererbse und verursachten nur geringe Symptome bei der Wintererbse. Bei der Prüfung von 64 *D. pinodella*-Isolaten an Sommererbsen wurde eine hohe Variabilität in ihrer Fähigkeit, Krankheiten zu verursachen, beobachtet. Die 64 Isolate konnten bei der Erbse in vier verschiedene aggressive Klassen eingeteilt werden: 9 Isolate wurden als nicht aggressiv, 4 als schwach aggressiv, 40 als mäßig aggressiv und 23 als hoch aggressiv eingestuft. Insgesamt gab es eine starke negative Korrelation ($R^2=0,80$) zwischen der Erbsenbiomasse und der Schwere der Wurzelfäulekrankheit.

Bei *D. lethalis* verursachte jedes Isolat, das auf Sommererbsen 'Santana' geimpft wurde, im Vergleich zu den entsprechenden Kontrollen schwere Fuß- und Wurzelnekrosen, das Welken der unteren Blätter und eine Verringerung der Biomasse. Im Gegensatz dazu zeigte die Wintererbsensorte 'EFB 33' im Vergleich zu den entsprechenden Kontrollen keine sichtbaren Krankheitssymptome oder Biomasse-Reduktionen (Abbildung 2). Ebenso war die Infektionsreaktion von Sommer- und Wintererbsensorten auf Inokulationen mit *F. flocciferum* isolatspezifisch. Das *F. flocciferum*-Isolat, das aus den Wurzeln der Ackerbohne gewonnen worden war, war bei beiden Wirten hoch aggressiv und verursachte den Zerfall der gesamten Pfahlwurzel und/oder dunkelschwarze Läsionen am Wurzelsystem sowie ein vermindertes Auflaufen der Keimlinge. Im Gegensatz dazu zeigten Pflanzen, die mit dem aus der Erbse gewonnenen Isolat beimpft wurden, keine sichtbaren Krankheitssymptome (Tabelle 5; Abbildung 3). *Fusarium redolens* war im Durchschnitt nur mäßig pathogen an Sommererbsen, wobei die Aggressivität des Isolats eine spezifische Variabilität aufwies. Dennoch waren alle Isolate in der Lage, Schäden an Erbsen zu verursachen, von denen einige schwere Wurzelfäule-Symptome aufwiesen (Daten nicht gezeigt). Bei der Prüfung an der Ackerbohne war es jedoch aufgrund der (natürlich) hohen Wurzelverfärbungsraten aller Ackerbohnsorten in nicht geimpften Kontrollen nicht möglich, den Beitrag des Erregers zur Ausprägung der Wurzelfäule-Symptome genau zu bestimmen (Daten nicht gezeigt).

Im Rhizobox-Experiment mit Sommererbsen, die in langfristig ökologisch und konventionell bewirtschafteten Böden angebaut wurden, war der Schweregrad der Wurzelfäule-Symptome nach der Inokulation mit *F. avenaceum* stark von der

Bodenbewirtschaftung abhängig. Im konventionell bewirtschafteten Boden, der seit mindestens 15 Jahren frei von Leguminosen war, wurden schwere Wurzelfäule-Symptome und eine Abnahme der seitlichen Wurzelverzweigungen und eine deutlich reduzierte Wurzelbiomasse beobachtet. Die Verringerung der Wurzeltrockengewichte betrug 28% in konventionellem Boden und nur 6% in ökologischen Boden im Vergleich zu den entsprechenden nicht geimpften Kontrollen. Der entgegengesetzte Trend wurde im ökologisch bewirtschafteten Boden trotz eines hohen Anteils an Leguminosen, die jährlich als Gründüngung angebaut werden, beobachtet (Abbildung 4). Da der ökologisch bewirtschaftete Boden insgesamt einen hohen Input an OS durch Mulch erfährt, wird angenommen, dass die hohe biologische Aktivität im Boden die Suppressivität gegenüber *F. avenaceum* verursacht. Ähnliche Effekte konnten durch die Zugabe von Kompost in anderen Versuchen demonstriert werden (Bacanovic et al., 2016).

Tabelle 5. Mittlere Werte der Wurzelfäule-Krankheitsschwere (Skala 1 - 9; 1 gesunde, 9 tote Pflanze) nach Inokulation verschiedener Pflanzenwirte mit mehreren Erregern, deren zunehmende Bedeutung im Erregerkomplex der Körnerleguminosen-Wurzelfäule in Deutschland nicht bekannt ist oder erstmals in Deutschland identifiziert wurde. In Klammern die Anzahl der getesteten Isolate.

Pathogen (Anzahl getestete Isolate)	Sommererbse	Wintererbse	Ackerbohne
<i>D. pinodella</i> (1; 64)	6,6	4,3	
<i>D. lethalis</i> (2)	5,5	2,1	
<i>F. avenaceum</i> (1)	7,5	4,0	
<i>F. flocciferum</i> (Ackerbohne-isolat)	6,6		6,7
<i>F. flocciferum</i> (Erbsen-Isolat)	2,0		2,8
<i>F. redolens</i> (7)	5,9		



Abbildung 2. Symptome bei Wintererbse ('EFB 33'; links) und Sommererbse ('Santana'; rechts) nach Inokulation mit *D. lethalis*. Man beachte die geringe Symptomausprägung der Wintererbsensorte und die starke Stammverfärbung und Wurzelfäule bei der Sommererbsensorte.



Abbildung 3. Symptome an der Ackerbohne (links) und der Sommererbse (rechts): Zerfall der gesamten Pfahlwurzel und dunkelschwarze Läsionen am Wurzelsystem nach Inokulation mit einem ursprünglich aus den Wurzeln der Ackerbohne gewonnenen *F. flocciferum*-Isolat.

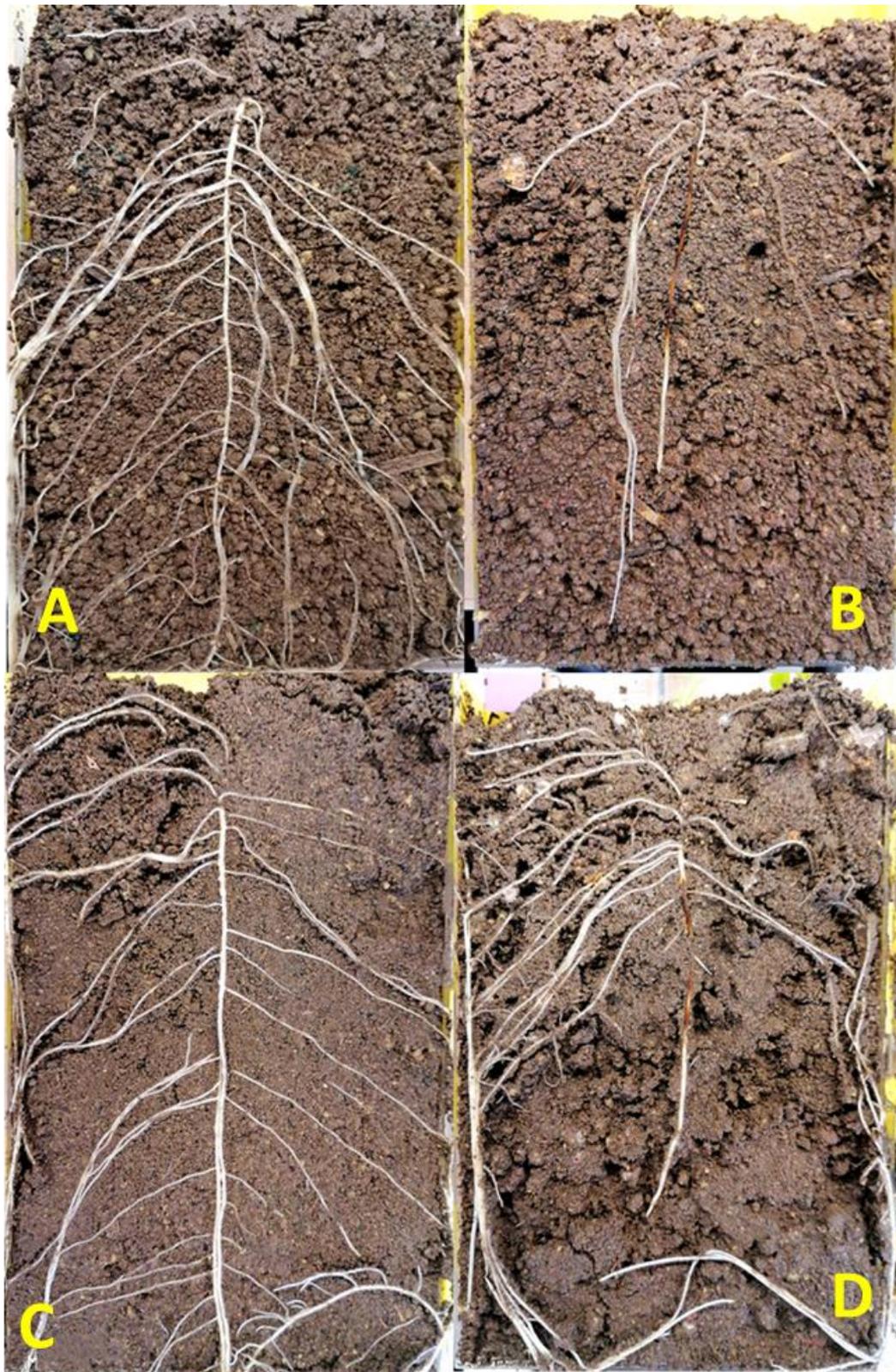


Abbildung 4. Einfluss von *F. avenaceum* auf die Wurzelentwicklung von Sommererbsen 'Respekt', entweder in konventionellem Boden, der seit 15 Jahren frei von Leguminosen ist (oben), oder in einem hochaktiven, ökologisch bewirtschafteten, minimal bestellten Boden, der jährlich mit Leguminosen-Zwischenfrüchten bebaut wird (unten). A und C nicht geimpfte (negative) Kontrollbehandlungen; B und D Inokuliert.

4.3 Vertiefte Datenanalyse Ackerbohne 2016-2018

Die hier vorgestellten Analysen sind bei der internationalen Konferenz „30th International Scientific-Experts Conference of Agriculture and Food Industry“ in Sarajewo 2019 vorgestellt worden und werden als Paper bei Springer International Publishing voraussichtlich im Jahr 2020 veröffentlicht (Šišić et al., 2020).

4.3.1 Wurzelfäule-Inzidenz und Gesundheitszustand der Wurzeln

Die durchschnittliche Wurzelfäule-Inzidenz (Prozentsatz der Felder mit einer mittleren Krankheitsschwere von mehr als 3) war im Mittel über die Jahre in ökologisch bewirtschafteten Feldern (19 von 42 Feldern (19/42), 45%) signifikant höher ($P = 0,039$) als in konventionellen Feldern (10/43, 23%). Wurzeln sowohl aus dem ökologischen als auch aus konventionellen Feldern zeigten jedoch im Allgemeinen nur mäßige Wurzelfäule-Symptome (DS), die sich nicht signifikant unterschieden, z.B. ein mittlerer DS von 3,7 für das ökologische und 3,5 für das konventionelle System (Kruskal-Test, $df = 1$, $P = 0,30$) (Tabelle 6). Bei getrennter Analyse für jedes Jahr wurde eine größere Variation (ANOVA, $df = 2$, $P = 0,029$) in der Wurzelfäule-Inzidenz beobachtet, während die Schwere der Wurzelfäule-Symptome in jedem Jahr auf dem gleichen moderaten Niveau lag. Was die Daten über die Jahre zusammengenommen betrifft, so gab es einen allgemeinen Trend zu einem höheren Anteil von ökologisch bewirtschafteten Feldern mit einer mittleren Krankheitsschwere von mehr als 3 im Vergleich zu konventionellen Feldern. Die höchste Wurzelfäule-Inzidenz in beiden Bewirtschaftungssystemen wurde 2016 festgestellt (75% öko- und 43% konventionelle Felder), die niedrigste im Jahr 2017 (14% öko- und 0% der konventionellen Felder), und die Inzidenz war 2018 moderat (50% öko- und 29% konventionelle Felder). Es gab keinen signifikanten Unterschied im Schweregrad der Wurzelfäule-Symptome zwischen den Jahren oder zwischen den Managementsystemen für die Felder mit $DS > 3$ (Kruskal-Test, $df=4$, $P = 0,63$) (Tabelle 6).

Tabelle 6. Mittlere Inzidenz Wurzelfäule (%) und Befallsschwere (für Felder mit mittleren Krankheitsschweregraden größer als 3) von Ackerbohnefeldern in Deutschland, 2016-2017.

Jahr	Öko.			Konv.			Gesamt	
	2016	2017	2018	2016	2017	2018	Öko.	Konv.
Wurzelfäule-Inzidenz	75 a ³	50 ab	14 cd	43 abc	0 d	29 bc	45 a	23 b
Schwere der Wurzelfäule	3,7	3,8	3,8	3,5	0,0	3,5	3,7	3,5
N ¹	12	16	14	14	15	14	42	43
n ²	204	279	317	280	298	275	836	853

¹ N, Anzahl der beprobten Felder.

² n, Anzahl der ausgewerteten Wurzeln.

³ Wurzelfäule-Inzidenz-Werte gefolgt von verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zwischen Jahren und Anbausystem, bzw. zwischen Anbausystemen über die Jahre. Least squares Mittelwertsvergleich mit Tukey-Bereinigung, $P < 0,05$. Keine signifikanten Unterschiede bei der Befallsschwere.

Alle 2017 auf konventionellen Feldern beprobten Wurzeln waren gesund ($DS < 3$).

4.3.2 Zusammensetzung der Pilzgemeinschaften in Abhängigkeit des Managementsystems

Es gab signifikante Unterschiede in der Prävalenz (% der Felder, in denen die jeweiligen Arten vorkamen) und in der Häufigkeit der Isolation (% der kolonisierten Wurzeln) der einzelnen Arten in Abhängigkeit vom Managementsystem (ANOVA, $df = 1$, $P < 0,0001$) sowohl über die Jahre kombiniert als auch jedes Jahr separat. Die Gesamtprävalenz von *F. redolens* unterschied sich zwar nicht signifikant nur moderat zwischen den Managementsystemen ($P = 0,07$). Die mittleren Wurzelbesiedlungsraten der Arten ($P < 0,001$) waren jedoch auf ökologischen Feldern im Vergleich zu konventionellen Feldern signifikant höher (Abbildung 5). Für jedes Jahr getrennt war die Prävalenz von *F. redolens* in ökologischen und konventionellen Feldern in den Jahren 2017 (ca 86%) und 2018 (100%) gleich, während die Art im Jahr 2016 nur von 57% der konventionellen aber von 100% der ökologischen Felder isoliert wurde (Tabelle 7). Es gab jedoch in jedem Jahr einen allgemeinen Trend zu höheren Isolationsfrequenzen von *F. redolens* aus Wurzeln von ökologisch bewirtschafteten Feldern (31 bis 66%) im Vergleich zu konventionellen (17 bis 44%) (Tabelle 8). In ähnlicher Weise war *D. pinodella* im ökologischen System häufiger anzutreffen. Die Spezies zeigte sowohl die höhere Gesamtprävalenz als auch die höheren Gesamtisolationsfrequenzen ($P < 0,001$) in ökologischen Feldern im Vergleich zu konventionellen Feldern (Abbildung 5). Dieser Trend war jedes Jahr vorhanden, z.B. besiedelte die Art in den Jahren 2016, 2017 und 2018 15, 41 und 29% der biologisch bewirtschafteten Wurzeln, während die Besiedlungsrate der Wurzeln auf konventionellen Feldern bei 3% und niedriger lag (Tabelle 7 und Tabelle 8).

Im Gegensatz zu *F. redolens* und *D. pinodella*, die im ökologischen System häufiger waren, waren *F. avenaceum* und *F. tricinctum* auf konventionell bewirtschafteten Feldern häufiger anzutreffen. Während sich die Gesamtprävalenz für die Arten zwischen den Bewirtschaftungssystemen nicht signifikant unterschied ($P > 0,07$; Abbildung 5), besiedelten sowohl *F. avenaceum* als auch *F. tricinctum* häufiger Wurzeln auf konventionellen Feldern als auf ökologisch bewirtschafteten ($P < 0,009$) (Abbildung 5). Wenn man die Populationen von *F. avenaceum* für jedes Jahr separat analysiert, wurden im konventionellen System stabile Populationen von *F. avenaceum* gefunden (von 93% der Felder in jedem Jahr isoliert), während die Prävalenzraten der Arten im ökologischen Landbau stärker variierten (63% - 100%) (Tabelle 7). *Fusarium tricinctum* variierte stark im Auftreten und es traten keine statistisch absicherbaren Unterschiede zwischen den Anbausystemen auf (Tabelle 7). Im Vergleich zu ökologisch bewirtschafteten Feldern, besiedelten beide Arten jedoch in jedem Jahr konsistent häufiger Wurzeln, die von konventionellen Feldern gesammelt wurden. Dieser Unterschied war allerdings nur zwischen konventionellen Feldern im Jahr 2016 und ökologischen Feldern im Jahr 2018 statistisch signifikant (37 versus 11% für *F. avenaceum* und 21 versus 2% für *F. tricinctum*) (Tabelle 8). Insgesamt jedoch waren deutlich weniger Wurzeln durch *F. tricinctum* besiedelt als durch *F. avenaceum* (Tabelle 8).

Die Art *F. culmorum* zeigte die höhere Gesamtprävalenz auf konventionellen Feldern im Vergleich zu ökologischen Feldern ($P = 0,046$), aber auf niedrigem Niveau. Die mittleren Isolationsfrequenzen unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Bewirtschaftungssystemen ($P = 0,9$), sowohl über die Jahre kombiniert (Abbildung 5) als auch in den einzelnen Jahren (Tabelle 8). Bei *F. oxysporum*, *F. solani* und *F. equiseti* wurde eine gewisse Variabilität in der Prävalenz und den Isolationshäufigkeiten beobachtet, aber diese unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Managementsystemen. Wie bei *F. tricinctum* wurden die Arten *F. culmorum* und *F. equiseti* in beiden Bewirtschaftungssystemen nur selten aus den Wurzeln der Ackerbohne isoliert, obwohl beide je nach Jahr in 19 bis 80 % der Felder gefunden wurden (Tabelle 7 und Tabelle 8).

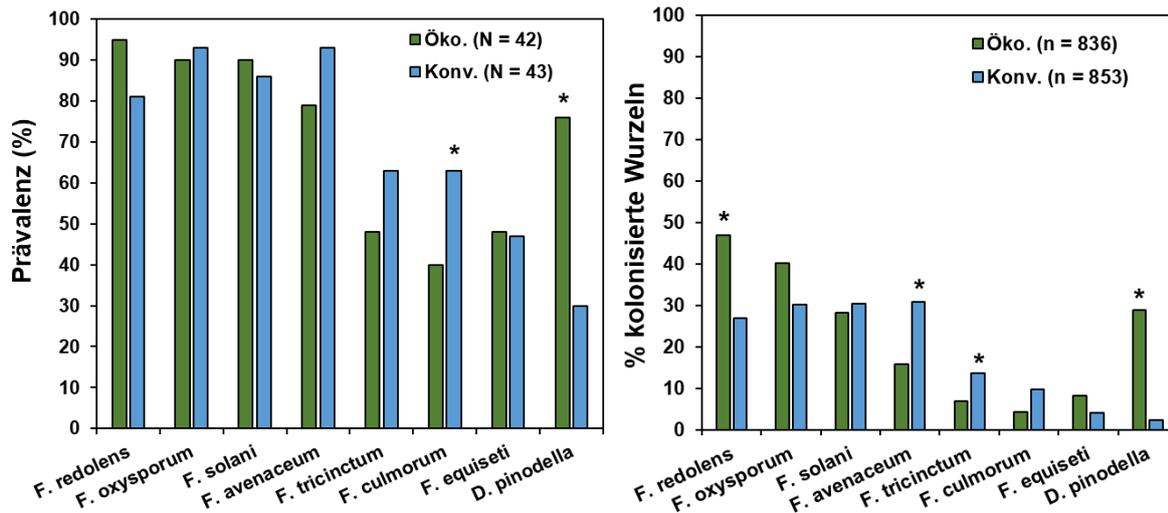


Abbildung 5. Systemeffekte über die Jahre der Probenahme bei Ackerbohnen. Prävalenz (links, % der Felder aus denen isoliert wurde), und Befallshäufigkeit in % aller beprobten Wurzeln (rechts).

*Signifikante Unterschiede in den mittleren Isolationsfrequenzen zwischen ökologischen und konventionellen Feldern für jede Pilzart. LSM $P < 0,05$. N = Anzahl der Felder (links); n = Anzahl der ausgewerteten Wurzeln (rechts).

Tabelle 7. Prävalenz (% der Felder aus denen ein Erreger isoliert wurde) - Auswirkungen des Anbausystems zwischen den Jahren bei Ackerbohnen.

Anbausystem	Jahr	N ¹	n ²	<i>F. redolens</i>	<i>F. oxysporum</i>	<i>F. solani</i>	<i>F. avenaceum</i>	<i>F. tricinctum</i>	<i>F. culmorum</i>	<i>F. equiseti</i>	<i>D. pinodella</i>
Öko.	2016	12	240	100 a	92 ns	92 ns	100 a	42 ab	58 ab	75 a	75 ab
	2017	14	279	86 ab	93	86	79 ab	79 a	50 abc	57 a	93 a
	2018	16	317	100 a	88	94	63 b	25 b	19 c	19 b	63 abc
Konv.	2016	14	280	57 b	100	86	93 ab	86 a	64 ab	57 a	29 cd
	2017	15	298	87 ab	80	80	93 ab	53 ab	80 a	40 ab	47 bcd
	2018	14	275	100 a	100	93	93 ab	50 ab	43 bc	43 ab	14 d

¹N=Anzahl der Felder;

²n=Anzahl der ausgewerteten Wurzeln;

Mittelwerte innerhalb einer Spalte (für jede Spezies über Jahre), gefolgt von verschiedenen Buchstaben, weisen auf signifikante Unterschiede in den Isolationshäufigkeiten über die verschiedenen Managementsysteme und Jahre hinweg hin; ns = Nicht signifikant ($P < 0,05$; LSM).

Tabelle 8. Einfluss des Anbausystems bei Ackerbohnen und der Jahre auf die Häufigkeit der Erregerisolierung (% der Wurzeln, die untersucht wurden).

Anbausystem	Jahr	N ¹	n ²	<i>F. redolens</i>	<i>F. oxysporum</i>	<i>F. solani</i>	<i>F. avenaceum</i>	<i>F. tricinctum</i>	<i>F. culmorum</i>	<i>F. equiseti</i>	<i>D. pinodella</i>
Öko.	2016	12	240	41,3 abc	40,4 ns	30,0 ns	20,0 ab	5,0 ab	7,9 ns	16,3 ns	15 ab
	2017	14	279	30,8 bcd	35,1	21,1	17,2 ab	14,0 a	3,6	8,2	40,9 a
	2018	16	317	65,6 a	44,5	32,8	11,4 b	1,9 b	1,9	2,2	28,7 a
Konv.	2016	14	280	17,1 d	29,6	31,1	37,1 a	21,4 a	9,3	5,0	2,5 c
	2017	15	298	20,5 cd	28,9	19,1	26,8 ab	11,7 ab	10,4	3,7	2,7 bc
	2018	14	275	44,0 ab	32,0	42,2	28,7 ab	7,6 ab	9,5	3,3	1,8 c

¹N=Anzahl der Felder;

²n=Anzahl der ausgewerteten Wurzeln;

Mittelwerte innerhalb einer Spalte (für jede Spezies über Jahre), gefolgt von verschiedenen Buchstaben, weisen auf signifikante Unterschiede in den Isolationshäufigkeiten über die verschiedenen Managementsysteme und Jahre hinweg hin; ns = Nicht signifikant ($P < 0,05$; LSM).

4.3.3 Variationen der Besiedlungsraten von Pilzpathogenen in verschiedenen Wurzelgeweben

Die Art des Wurzelgewebes wirkte sich auf die Isolationsfrequenzen einzelner Arten unterschiedlich aus, wurde aber nicht vom Managementsystem und/oder dem Jahr beeinflusst. Daher werden die Gesamtmittel über die Jahre und die Managementsysteme für jede Art dargestellt. *Fusarium solani* wurde häufiger von Wurzeln (16%) und Epicotyl (14%) isoliert als in der Übergangszone (10%) ($P < 0,01$). Im Gegensatz dazu besiedelte *F. avenaceum* häufiger die Übergangszone (14%) im Vergleich zum Epicotyl- (9%) und Wurzelgewebe (7%) ($P < 0,0001$). Die Art des Wurzelgewebes, aus dem isoliert wurde, hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Isolationsfrequenz der übrigen *Fusarium*-Arten. Bei *D. pinodella* wurden nur Wurzeln aus ökologischen Feldern betrachtet, und ähnlich wie bei *F. avenaceum* wurde der Pilz häufiger in der Übergangszone (21%) gefunden, gefolgt von Epicotyl- (15%) und Wurzelgewebe (9%) ($P < 0,04$) (Tabelle 9).

Tabelle 9. Isolationsfrequenzen (Prozent besiedelte Wurzelstücke) in Abhängigkeit vom Gewebetyp - insgesamt über Jahre und das System bei Ackerbohnen.

Gewebe ¹	n ²	<i>F. red.</i>	<i>F. oxy.</i>	<i>F. sol.</i>	<i>F. ave.</i>	<i>F. tric.</i>	<i>F. equi.</i>	<i>F. culm.</i>	<i>D. pin.</i>
Übergangs-zone	1689	17,8 ns	16,2 ns	10,2 b	15,2 a	5,9 ns	2,5 ns	3,6 ns	20,5 a
Epicotyl	1689	21,8	20,1	13,7 a	9,4 b	3,6	2,5	3,4	14,8 b
Wurzel	1689	22,6	18,9	16,4 a	7,2 b	2,2	2,2	3,2	9,1 c

¹Die Übergangszone umfasste einen Bereich von ca. 1,5 cm am Übergang vom Epicotyl zum Stängel, Das Epicotyl wurde als die Zone vom Punkt der Samenanheftung bis ca. 1 cm unter der Bodenoberfläche definiert, und die Wurzeln umfassten sowohl Seiten- als auch Pfahlwurzeln von der Wurzelspitze bis zum Punkt der Samenanbringung.

²n=Anzahl der ausgewerteten Wurzelproben.

Mittelwerte innerhalb einer Spalte (d.h. Pilzart), gefolgt von verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zwischen den Gewebetypen. ns = Nicht signifikant ($P < 0,05$; LSM).

4.3.4 Hierarchische Clusteranalyse der Hauptkomponenten

Zunächst führten wir eine hierarchische Clusteranalyse der Hauptkomponenten (Hierarchical clustering on Principle Components, HCPC) durch, die alle fünf zur Verfügung stehenden Bodenvariablen (z.B. pH-Wert, Sand, Schluff, Ton und OS-Gehalt) umfasste. Aus dieser anfänglichen Analyse gingen fünf Cluster hervor, wobei der pH-Wert und dem OS-Gehalt im Boden als die wichtigsten Parameter für die Isolationshäufigkeit einzelner Pilzarten gefunden wurden (Daten nicht gezeigt). Entsprechend wurden die 85 Ackerbohnenfelder in einer anschließenden Analyse aufgrund ihrer Ähnlichkeiten im OS-Gehalt und pH-Wert gruppiert, dies resultierte in drei Clustern (Cluster I, II und III). Die gesamte in den Daten enthaltene Varianz wurde in den ersten beiden Dimensionen ähnlich verteilt. Die Dimension 1

erklärte 50,1% der Varianz und trennte die Cluster hauptsächlich aufgrund ihrer Unterschiede im pH-Wert (z.B. Cluster I und II), während die Dimension 2 die restlichen 49,9% der Varianz enthielt und die Cluster aufgrund ihrer Unterschiede im OS-Gehalt (z.B. Cluster III) trennte (Abbildung 6).

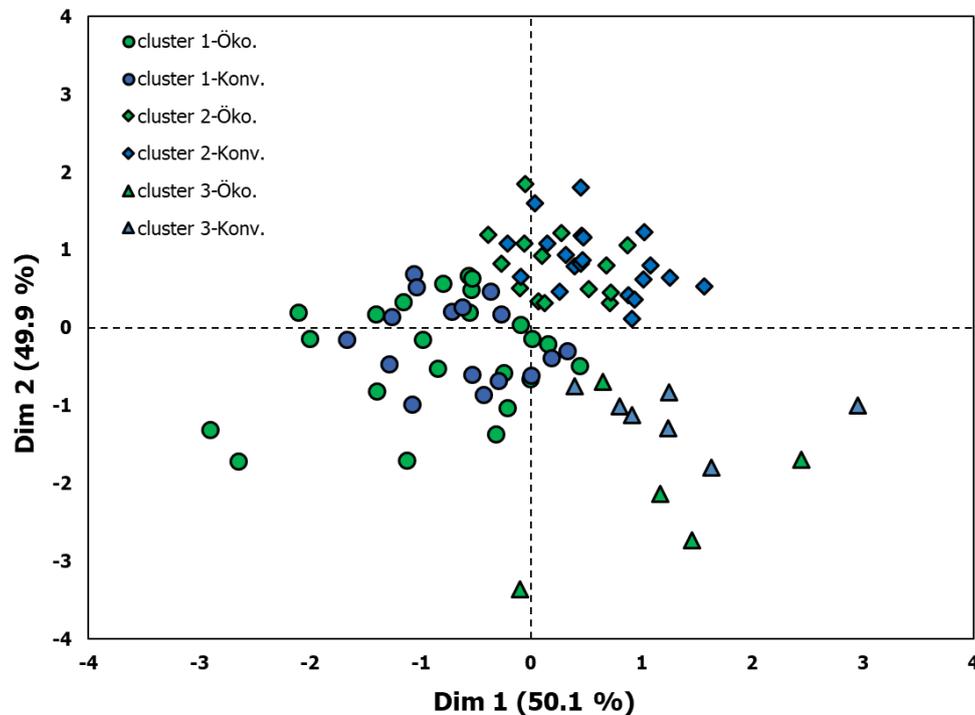


Abbildung 6. Hauptkomponentenanalyse - Clustering von 85 ökologischen und konventionellen Ackerbohnenfeldern auf der Grundlage ihrer Ähnlichkeiten in Bezug auf den Gehalt an organischer Substanz im Boden und den pH-Wert.

Cluster I korrelierte negativ mit Dimension 1 und leicht negativ mit Dimension 2 (Abbildung 6), hatte einen mittleren OS-Gehalt von 2,5% und einen mittleren pH-Wert von 6,2 für ökologische und 6,3 für konventionelle Felder (Tabelle 10). Dieser Cluster bestand aus 23 Bio- und 16 konventionellen Feldern, von denen 8 Bio- und 6 konventionelle Felder 2016, 7 Bio- und 5 konventionelle Felder 2017 und 8 Bio- und 5 konventionelle Felder 2018 beprobt wurden (Tabelle 10). Cluster II lag schräg über Cluster I, hatte leicht positive Werte der Dimension 1 und lag entlang der positiven Achse der Dimension 2 (Abbildung 6). Der mittlere OS-Gehalt des Clusters II war ähnlich wie der des Clusters 1 (2,4% für das ökologische und 2,6% für das konventionelle System), aber die beiden unterschieden sich im mittleren pH-Wert, der für das Cluster II für beide Managementsysteme höher war (6,9 und 7,0 für das ökologische bzw. konventionelle System). Dieser Cluster umfasste 14 Bio- und 20 konventionelle Felder, von denen 3 Bio- und 5 konventionelle Felder im Jahr 2016, 5 Bio- und 7 konventionelle Felder im Jahr 2017 und 6 Bio- und 8 konventionelle Felder im Jahr 2018 beprobt wurden. Die Felder im Cluster III hatten einen besonders hohen mittleren OS-Gehalt

(4,4% für das ökologische und 4,0 für das konventionelle System) und wurden entlang der negativen Achse der Dimension 2 und auf der positiven Seite der Dimension 1 abgebildet (Abbildung 6). Die mittleren pH-Werte für das ökologische System in Cluster III waren ähnlich wie die des ökologischen Systems in Cluster I (z.B. 6,2), während die mittleren pH-Werte für das konventionelle System zwischen denen der Cluster I und II lagen (pH-Wert von 6,6 gegenüber 6,3 in Cluster I und 7,0 in Cluster II) (Tabelle 10). Die Kriterien von Cluster III (>4% OS) erfüllten über die drei Jahre nur 5 Bio- und 7 konventionelle Felder (Tabelle 10).

Tabelle 10. Die Anzahl ökologischer und konventioneller Felder in jedem Jahr, die sich aufgrund ihrer Ähnlichkeiten in Bezug auf die organische Substanz (OS) im Boden und den pH-Wert durch die Clusteranalyse gruppiert wurden.

Anbausystem	Cluster	Jahr ¹			N ²	n ³	OS (%) ⁴	pH
		2016	2017	2018				
Öko	I	8	7	8	23	458	2,5	6,2
	II	3	5	6	14	278	2,4	6,9
	III	1	2	2	5	100	4,4	6,2
Konv	I	6	5	5	16	319	2,5	6,3
	II	5	7	8	20	394	2,6	7,0
	III	3	3	1	7	140	4,0	6,6

¹Anzahl der in den Jahren 2016, 2017 und 2018 beprobten Felder.

²N=Anzahl Felder.

³n=Anzahl untersuchte Wurzeln.

⁴Mittelwert des Gehalts an organischer Substanz im Boden.

4.3.5 Pathogenvorkommen in Abhängigkeit von den clusterspezifischen Bodeneigenschaften

Durch die Aufteilung der Daten in die drei Cluster werden bestimmte Unterschiede im Befallsgeschehen, die über alle Böden nicht sichtbar waren, deutlich sichtbar. So war die Prävalenz von *D. pinodella* in allen drei Clustern unter Ökobedingungen signifikant höher als unter konventionellen (Tabelle 11), während *F. avenaceum* und *F. culmorum* nur bei einem pH Wert um 7 (Cluster II) unter Ökobedingungen deutlich seltener nachgewiesen wurden. Ansonsten gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Systemen innerhalb der Cluster (Tabelle 11).

Wie schon die Prävalenz war auch die Nachweishäufigkeit von *D. pinodella* in allen drei Clustern signifikant höher unter ökologischen Bedingungen. Im Gegensatz dazu differenzierten Cluster I und II (OS ca 2,5%) aber nicht Cluster III (OS>4%) die Nachweishäufigkeiten von einigen der *Fusarium*-Arten (Tabelle 12). So wurde *F. redolens* innerhalb Cluster I (pH 6,2-6,3) und Cluster II (pH 6,9-7) signifikant häufiger unter ökologischen Bedingungen gefunden,

bei *F. avenaceum* war es genau umgekehrt (Tabelle 12). *Fusarium tricinctum* und *F. culmorum* waren in Cluster II signifikant häufiger unter konventionellen Bedingungen, *F. equiseti* im Cluster I unter ökologischen Bedingungen (Tabelle 12).

Mit Ausnahme von *D. pinodella*, die grundsätzlich massiv häufiger unter Ökobedingungen auftrat, und *F. avenaceum*, die unter konventionellen Bedingungen außer in Cluster III deutlich häufiger war (Tabelle 12) war die Reihenfolge der Nachweishäufigkeit der Pathogene innerhalb der Cluster ähnlich zwischen den Anbausystemen. So war *F. oxysporum* am häufigsten in Cluster I, *F. redolens* in Cluster II und *F. solani* in Cluster III (Tabelle 13).

Tabelle 11. Prävalenz (% der Felder, in denen Pathogene nachgewiesen wurden) der acht wichtigsten Pathogene in Ackerbohnenfeldern abhängig vom Bewirtschaftungssystem, dem pH Wert und der gesamt organischen Substanz (OS) über die drei Jahre 2016-2018.

Anbausystem	Cluster	N ¹	n ²	OS (%) ³	pH	<i>F. redolens</i>	<i>F. oxysporum</i>	<i>F. solani</i>	<i>F. avenaceum</i>	<i>F. tricinctum</i>	<i>F. culmorum</i>	<i>F. equiseti</i>	<i>D. pinodella</i>
Öko.	I	23	458	2,5	6,2	95	95	87	87	56	43	47	82*
Konv.		16	319	2,5	6,3	75	100	75	93	50	62	25	31
Öko.	II	14	278	2,4	6,9	100	85	100	57*	43	21*	50	57*
Konv.		20	394	2,6	7,0	90	85	90	95	75	60	55	20
Öko.	III	5	100	4,4	6,2	80	80	80	100	20	80	40	100*
Konv.		7	140	4,0	6,6	71	100	100	85	57	71	71	57

¹N=Anzahl Felder; ²n=Anzahl untersuchte Wurzeln; ³Mittelwert des Gehalts an organischer Substanz im Boden.

*: Signifikante Unterschiede zwischen Anbausystemen innerhalb eines Clusters (P>0,05, LSM, Paarvergleich)

Tabelle 12. Einfluss des Anbausystems auf die Häufigkeit der Erregerisolierung von Ackerbohnen (% der Wurzeln, die untersucht wurden) der acht wichtigsten Pathogene in Feldern, die zum selben Cluster gehören im Hinblick auf pH Wert und der gesamt organischen Substanz (OS) über die drei Jahre 2016-2018.

Anbausystem	Cluster	N ¹	n ²	OS (%) ³	pH	<i>F. redolens</i>	<i>F. oxysporum</i>	<i>F. solani</i>	<i>F. avenaceum</i>	<i>F. tricinctum</i>	<i>F. culmorum</i>	<i>F. equiseti</i>	<i>D. pinodella</i>
Öko.	I	23	458	2,5	6,2	39,7*	52,8	28,8	19,7	6,3	5,0	8,1*	33,8*
Konv.		16	319	2,5	6,3	23,8	43,6	24,8	39,2*	8,8	6,0	2,2	2,8
Öko.	II	14	278	2,4	6,9	69,4*	26,6	24,8	6,1	6,5	2,5	10,4	11,5*
Konv.		20	394	2,6	7,0	34,5	19,3	32,0	25,6*	19,0*	12,2*	5,1	1,0
Öko.	III	5	100	4,4	6,2	18,0	20,0	34,0	25	10,0	5,0	3,0	54,0*
Konv.		7	140	4,0	6,6	12,9	30,0	39,3	26,4	9,3	11,4	5,0	5

¹N=Anzahl Felder; ²n=Anzahl untersuchte Wurzeln; ³Mittelwert des Gehalts an organischer Substanz im Boden.

*: Signifikante Unterschiede zwischen Anbausystemen innerhalb eines Clusters (P>0,05, LSM, Paarvergleich)

Tabelle 13. Häufigkeit der Erregerisolierung von Ackerbohne (% der Wurzeln, die untersucht wurden) der acht wichtigsten Pathogene in Feldern abhängig vom Bewirtschaftungssystem, dem pH Wert und der gesamt organischen Substanz (OS) über die drei Jahre 2016-2018.

Anbausystem	Cluster	N ¹	n ²	OS (%) ³	pH	<i>F. red.</i>	<i>F. oxy.</i>	<i>F. sol.</i>	<i>F. ave.</i>	<i>F. tric.</i>	<i>F. culm.</i>	<i>F. equi.</i>	<i>D. pin.</i>
Öko.	I	23	458	2,5	6,2	39,7 ab B ⁴	52,8 a A	28,8 bc	19,7 c A	6,3 d	5,0 d	8,1 d	33,8 b A
	II	14	278	2,4	6,9	69,4 a A	26,6 b B	24,8 b	6,1 cd B	6,5 cd	2,5 d	10,4 c	11,5 c B
	III	5	100	4,4	6,2	18,0 bcd C	20,0 bcd B	34,0 ab	25,0 abc A	10,0 cd	5,0 d	3,0 d	54,0 a A
Konv.	I	16	319	2,5	6,3	23,8 c AB	43,6 a A	24,8 bc	39,2 ab	8,8 d	6,0 de	2,2 e	2,8 de
	II	20	394	2,6	7,0	34,5 a A	19,3 bcd B	32,0 ab	25,6 abc	19,0 cd	12,2 d	5,1 e	1,0 e
	III	7	140	4,0	6,6	12,9 bc BC	30,0 ab A	39,3 a	26,4 ab	9,3 c	11,4 bc	5,0 c	5,0 c

¹N=Anzahl Felder

²n=Anzahl untersuchte Wurzeln

³Mittelwert des Gehalts an organischer Substanz im Boden.

⁴ Unterschiedliche Kleinbuchstaben: Signifikante Unterschiede innerhalb System und Cluster zwischen Pathogenen; unterschiedliche Großbuchstaben: Signifikante Unterschiede innerhalb des Systems zwischen Clustern. (P>0,05, LSM Paarvergleich).

F. red. = *F. redolens*; *F. oxy.* = *Fusarium oxysporum*; *F. sol.* = *F. solani*; *F. ave.* = *F. avenaceum*; *F. tric.* = *F. tricinctum*; *F. equi.* = *F. equiseti*; *F. culm.* = *F. culmorum*; *D. pin.* = *Didymella pinodella* (syn. *Phoma pinodella*).

5 Diskussion

Insgesamt wurden in dem Survey zwischen 2016-2019 fast keine schwer befallenen Felder weder bei Erbsen noch bei Ackerbohnen gefunden, wobei die Befallsschwere unter Ökobedingungen immer leicht höher lag als unter konventionellen Bedingungen. Dies steht im Gegensatz zu den Untersuchungen im Vorläuferprojekt, das das Befallsgeschehen in ökologisch bewirtschafteten Feldern zwischen 2009 und 2012 untersuchte. Der Schweregrad der Infektionen lag in jener Studie mit im Mittel 4,8 bei Erbsen (fast nur Sommererbsen) und 4,6 bei Ackerbohnen (Wilbois et al., 2013) im Vergleich zur aktuellen Studie (Mittelwerte 1,7-3,0 Siehe Tabelle 3) deutlich höher. In den letzten 10 Jahren sind die Frühjahre deutlich trockener und wärmer geworden. Die Temperatur 4 Wochen nach Aussaat korreliert signifikant negativ mit der Befallsschwere zur Blüte in der vorherigen Studie (Wilbois et al., 2013). Es bleibt zu überprüfen, inwieweit klimatische Änderungen hier schon eine Rolle gespielt haben könnten.

Trotz der niedrigen Befallsschwere, war die Pathogenvielfalt an Erbsen und Ackerbohnen in Deutschland in den Jahren 2016-2019 sehr hoch. wobei insgesamt *Fusarium*-Arten und *Didymella pinodella* am wichtigsten waren. Die Befallsfrequenz, d.h. der Prozentsatz der Wurzeln, die befallen waren, war zwar insgesamt moderat, aber vor allem *F. redolens* and *D. pinodella* scheinen in ihrer Wichtigkeit in Deutschland zuzunehmen. Dabei überraschte die herausragende Häufigkeit der Infektionen auf Wintererbsen mit *D. pinodella* in allen Jahren (Tabelle 4). Während in der Vergangenheit allgemein die Wintererbsen als deutlich resistenter gegenüber Fußkrankheiten eingeschätzt wurden (z.B. (Alpmann et al., 2013; Baćanović-Šišić et al., 2018; Böhm et al., 2014; Spiegel et al., 2014), war zwar die Befallsschwere in unserer Studie gering, aber das Wirtspotential der Wintererbsen vor allem für *D. pinodella* sollte ernst genommen werden. Auch der im Rahmen dieser Studie erste Nachweis von *F. flocciferum* und *D. lethalis* in Deutschland (Šišić et al., 2020; Šišić et al., 2018c) könnte ein Hinweis auf eine Änderung des Artenspektrums sein oder aber auch darauf, dass bisher die *Fusarium*-Arten außer *F. solani* und *F. oxysporum* meist nicht genauer unterschieden wurden. Was *F. equiseti* betrifft, ist es wahrscheinlich nicht richtig, es als Pathogen zu führen, da dieser Pilz eher als Endophyt eine schützende Wirkung bei vielen Wirten hat, auch bei z.B. Erbsen gegen Infektionen mit *F. avenaceum* und *D. pinodella*, die jedoch von Isolat zu Isolat variiert (Šišić et al., 2017).

Die Wichtigkeit von *D. pinodella* steht im Gegensatz zu Berichten aus Frankreich, Schweden, USA, Kanada und Australien, wo hauptsächlich *Aphanomyces euteiches* und einige *Fusarium* spp. für die Reduktion der Anbauflächen verantwortlich gemacht werden (Wille et al., 2019). Es erscheint, dass die Dominanz von *F. redolens* und *D. pinodella*, sowie die

zunehmende Wichtigkeit von *F. avenaceum* im Pathogenkomplex der Fußkrankheiten der Leguminosen in Deutschland eine neue Entwicklung ist. Ihre Epidemiologie und Ertragsrelevanz sind bisher unbekannt und sollten genauer untersucht werden.

Insgesamt ist zu beachten, dass viele der Pathogene aus weitgehend gesund erscheinenden Wurzeln isoliert wurden. Das heißt, dass asymptomatische Wurzeln als Reservoir für Pathogene dienen können und damit frühere Ergebnisse unserer Arbeitsgruppe, die dieses Phänomen über ein breites Wirtsspektrum aufzeigen, bestätigen (Šišić et al., 2018b). Dazuhin sind viele der gefundenen Arten durchaus auch fähig, andere Pflanzenfamilien und -arten, insbesondere Gräser (z.B. Getreide) zu befallen. Ihr Auftreten auf anderen Leguminosen, insbesondere Sojabohnen und Lupinen, aber auch als Zwischenfrüchte genutzten Arten sollte überprüft werden. Die Inokulationsexperimente bisher zeigen, dass die involvierten Arten eine hohe ökologische Bandbreite haben.

Die Vielfalt der Pathogene und ihr ubiquitäres Auftreten unterstreicht die Grenzen, die Fruchtfolgen alleine gesetzt sind, um die Pathogene unter Kontrolle zu halten. Hier versprechen vertiefte Analysen über den Zusammenhang mit Bewirtschaftungsform und Bodenparametern, wie in ersten Ansätzen hier für die Pathogene der Ackerbohnen vorgestellt, sowie die Ergebnisse aus dem Inokulationsversuch in unterschiedlichen Böden (Abbildung 4) wichtige Einblicke.

Was *D. pinodella* und *F. redolens* betrifft, ist die Tatsache, dass diese Pathogene massiv verstärkt unter ökologischen Bedingungen auftreten, aller Wahrscheinlichkeit nach dem vermehrten Anbau von Leguminosen allgemein zuzuschreiben. Dies ist Thema der Analyse im Projekt APSOLU, an die unser Projekt angegliedert war und kann erst Ende 2019 abschließend beantwortet werden. Allerdings war es schon im Vorprojekt sehr auffallend, wie sensibel die Leguminosen auf Leguminosen in der Fruchtfolge reagierten (Wilbois et al., 2013). Deutlich zutage tritt aber in den Analysen, dass wo *D. pinodella* häufig ist, die Erhöhung des pH-Wertes von ca 6,2 auf 6,9 den Pilz massiv zurückdrängt (Tabelle 13). Eine Erhöhung der OS im Boden hingegen scheint den Pilz zu fördern. Dies war vor allem unter ökologischen Bedingungen bei einem mittleren pH von 6,2 auffallend (Tabelle 13). Ein erhöhtes Auftreten von *D. pinodella* wurde von uns auch mehrfach in Topfversuchen mit hoher OS (z.B. bei Einsatz sterilisierter Komposte) beobachtet (Baćanović, 2015; Baćanović-Šišić et al., 2018). Im Gegensatz dazu scheint *F. redolens* bei niedrigem pH und/oder hoher OS insgesamt weniger prominent zu sein.

Anders als *D. pinodella* war das Auftreten von *F. avenaceum* meist höher im konventionellen Anbau außer wenn die OS sehr hoch war. Eine Erhöhung des pH-Wertes wirkte unter Ökobedingungen, aber nicht unter konventionellen Bedingungen unterdrückend. Dies

zeigt, wie komplex die Zusammenhänge sind. Hier ist die Beobachtung hoher Suppressivität gegenüber *F. avenaceum* in einem biologisch hoch aktiven Boden eines sehr erfolgreichen Biobetriebes, der pfluglos und intensiv mit leguminösen Zwischenfrüchten und Mulchapplikationen arbeitet, von hohem Interesse. Offensichtlich spielt das Bodenmanagement eine zentrale Rolle für das Krankheitsmanagement bei Leguminosen und bestätigt allgemeine Beobachtungen, dass es möglich ist durch gute Bewirtschaftung Bodensuppressivität gegenüber Krankheiten zu erzeugen (Schlatter et al., 2017; van Bruggen et al., 2019; van Bruggen and Semenov, 2015). Allerdings sind außer der Tatsache, dass sich grundsätzlich mikrobielle Aktivität und hohe Gehalte an organischer Substanz positiv auswirken (Schlatter et al., 2017; van Bruggen et al., 2019; van Bruggen and Semenov, 2015) die Faktoren, die die Suppressivität gegenüber den Wurzelpathogenen der Leguminosen im beprobten Boden verursachten bisher nicht bekannt und sollten im Detail untersucht werden.

6 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die im Projekt erzielten Ergebnisse zeigen insgesamt auf, dass einerseits das Erregeraufkommen unter ökologischen Bedingungen höher ist als unter konventionellen. Andererseits, blieb trotz einem teils häufigen Erregervorkommen die Befallsschwere weitgehend in niedrigen Bereichen, was aller Wahrscheinlichkeit nach durch insgesamt trockenere und wärmere Bedingungen im Frühjahr in den letzten Jahren zu begründen ist. Ebenfalls zeichnet sich eine Verschiebung der Wichtigkeit von Erregern an, die u.U. in Zusammenhang mit Veränderungen des Klimas einhergeht, allerdings müssen dafür mehr Studien im Detail geführt werden.

Von hohem Interesse wird die endgültige Analyse der Daten in Zusammenhang mit den Praxiserhebungen im Projekt APSOLU sein, um die hier nur in Bezug auf OS und pH-Wert bei Ackerbohnen begonnene Interpretation zu vervollständigen. Hier ist von besonderer Relevanz das fast zufällig erzielte Ergebnis mit dem Boden aus einem Betrieb, der jährlich Leguminosen anbaut, mulcht und oberflächlich einarbeitet und trotzdem einen hoch suppressiven Boden zumindest gegenüber einem sehr aggressiven Isolat von *F. avenaceum* erzeugte, während ein langjährig leguminosenfreier Boden nur wenig Widerstandsfähigkeit gegenüber diesem Pathogen zeigte.

7 Gegenüberstellung der geplanten und erreichten Ziele, weiterführende Fragestellungen

Die geplanten Ziele waren einerseits die Identifizierung der Fußkrankheitserreger bei Erbsen und Ackerbohnen in der Praxis 2016-2019, um damit in Zusammenarbeit mit dem Projekt APSOLU (2814EPS035) einen Beitrag zur Klärung von Zusammenhängen wesentlicher ackerbaulicher Einflussfaktoren auf die Wurzelgesundheit von Erbsen und Ackerbohnen zu leisten. In Folge sollen diese Ergebnisse zu einer Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit durch die Förderung des Anbaus von Körnerleguminosen und Stärkung der Versorgungssicherheit bzw. die Verringerung der Abhängigkeit von importierten Eiweißfuttermitteln durch eine Unterstützung des Leguminosenanbaus beitragen. Da für Deutschland neue Pathogene gefunden wurden und andere dominierten, von denen dies nicht erwartet wurde, wurden zusätzliche Gewächshaustests durchgeführt, um die Anfälligkeit von Winter- und Sommererbsen gegenüber *F. flocciferum*, *F. redolens* und *D. pinodella* zu charakterisieren.

Diese Ziele wurden im durchgeführten Projekt erreicht. Alle Wurzelproben wurden aufgearbeitet und zusätzlich zur morphologischen Identifikation wurde dies auch molekular bestätigt. Die Ergebnisse leisten einen wichtigen Beitrag zur Analysierbarkeit der Daten aus dem Projekt APSOLU, da ohne die Identifikation der Pathogene die Zusammenhänge nicht im Detail herausgearbeitet werden können. Die durchgeführten Gewächshaustests zeigen die Wichtigkeit der gefundenen dominanten Pathogene *F. redolens* und *D. pinodella* einerseits und die potentielle Auswirkung der neu in Deutschland identifizierten *F. flocciferum* und *D. lethalis* andererseits auf. Zusätzlich zeigt der Bodentest mit dem hoch suppressiven Boden aus der Praxis, dass auch ohne langjährige Fruchtfolgen gesunde Leguminosen produziert werden können. Allerdings sind die Faktoren, die diesen Boden suppressiv machen und ihre Abhängigkeit von den biologischen, physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften noch nicht identifiziert.

7.1 Weiterführende Fragestellungen

Folgende Themen sollten in Zukunft näher beleuchtet werden, um den Leguminosenanbau zu stärken:

- Die Identifikation neuer bisher in Deutschland nicht nachgewiesener Pathogene weist auf mögliche Veränderungen, die u.a. auch durch den Klimawandel bedingt sein könnten, hin. Diese müssen berücksichtigt werden, wenn der Leguminosenanbau gestärkt werden soll. Hierfür sollte das Erregergeschehen weiterhin beobachtet werden. Es ist zu hoffen, dass aus den Analysen in APSOLU detailliertere Zusammenhänge mit Boden- und

Managementparametern abgeleitet werden können, um solche Monitoring-aufgaben gezielt und effizient gestalten zu können.

- Böden, wie der (außerhalb dieses Projektes) zufällig gefundene Boden, der trotz hoher Anbaufrequenz von Leguminosen gesunde Pflanzen produziert, sollten systematisch identifiziert werden und es sollte untersucht werden, was die Schlüsselfaktoren für diese Suppressivität sind. Dies würde sowohl Praktikern als auch Beratern Werkzeuge an die Hand geben, um die oft sehr unbefriedigende Produktivität der Leguminosen zu verbessern. Hier ist zu hoffen, dass sich in der vollständigen Analyse im Rahmen von APSOLU weitere interessante Beispielböden finden lassen für mögliche weitere Untersuchungen.

8 Zusammenfassung

Über insgesamt vier Jahre (2016-2019) wurden in einem Nord-Süd Transekt in Deutschland aus insgesamt 108 ökologisch und 135 konventionell bewirtschafteten Flächen Proben von Erbsen (99 Sommererbsen, 34 Wintererbsen) und Ackerbohnen (110 Flächen) gezogen. Ziel der Untersuchungen war die Erhebung der Wurzelgesundheit sowie die Bestimmung der mit den Wurzeln assoziierten Pathogene. Die Ergebnisse dieser Arbeiten dienen der Unterstützung eines Surveys im Rahmen des Demonstrationsnetzwerkes Erbse/Bohne, der zum Ziel hat, ertragslimitierende bzw. -fördernde Faktoren unter Praxisbedingungen zu identifizieren.

Insgesamt wurden 4590 Pflanzen im Labor auf Erregerbefall untersucht. Es wurden jeweils ein Stück der Wurzel, der Übergangszone zwischen Samen und Stängel und des Epicotyls oberflächensterilisiert und auf Nährmedium ausgebracht. Pilzliche Erreger wurden mikroskopisch bestimmt. Während die Befallsschwere der Wurzeln insgesamt als leicht einzustufen war, wurden in den Jahren der Untersuchung insgesamt 9062 *Fusarium* isolate und 4055 *Didymella* isolate isoliert, davon ca. ein Drittel aus Ackerbohnen und zwei Drittel aus Erbsen. Insgesamt waren *D. pinodella* (40% kolonisierte Wurzeln), *F. redolens* (31%) und *F. oxysporum* (30%), *F. avenaceum* (25%) und *F. solani* (22%) die am häufigsten isolierten Arten. Die nächst häufigeren Arten waren *F. tricinctum*, *F. culmorum* und *F. equiseti*, die von 6% (z.B. *F. equiseti*) bis 13% (z.B. *F. tricinctum*) der Wurzeln isoliert wurden. Die übrigen Arten wurden mit einer Häufigkeit von 2% oder weniger isoliert, darunter sieben weitere *Fusarium*- und 3 *Didymella*-Arten. Die morphologischen Art-Identitäten wurden für eine Untergruppe von 246 *Fusarium*- und 32 *Didymella*-Isolate bestätigt. Die Arten *F. flocciferum* und *D. lethalis* wurden erstmals in Deutschland auf unterschiedlichen Leguminosen

nachgewiesen. Diese können sowohl auf Sommer- als auch Wintererbsen als auch auf Ackerbohne starken Befall zum Teil allerdings isolatspezifisch auslösen.

Das Anbausystem (konventionell vs. ökologisch) hatte keinen Einfluss auf das Spektrum der isolierten Krankheitserreger. Jedoch wurde die Häufigkeit der Isolierung einzelner Arten stark durch die Wirtspflanze (Ackerbohne, Frühlings- und Wintererbse), das Bewirtschaftungssystem (ökologisch vs. konventionell) und das Probenahmejahr beeinflusst. *Fusarium* spp. sowie *D. pinodella* waren in Ackerbohne- und Sommererbsenwurzeln ähnlich häufig. Bei Wintererbsen war die Häufigkeit der meisten *Fusarium*-Arten deutlich geringer, jedoch waren die Wurzelbesiedlungsraten mit *D. pinodella* am höchsten. Nur *F. avenaceum* war auf allen Kulturen gleichmäßig vertreten. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Arten wie *F. redolens*, *F. oxysporum* und *F. solani* hauptsächlich im Frühjahr und Sommer aktiv sind, während *F. avenaceum* und *D. pinodella* das ganze Jahr über aktiv sind und beide einen ökologischen Vorteil vor allem während der Winterperiode haben.

Eine präliminäre Detailanalyse zeigte für Ackerbohnen, dass abhängig vom Erreger sowohl der pH als auch zum Teil der Gehalt an organischer Substanz (OS) mit dem Anbausystem interagieren. Während *D. pinodella* durch erhöhte pH-Werte um 7 eher reduziert wurde, wurde *F. redolens* eher gefördert. Interessanterweise zeigte die Analyse keinen positiven Einfluss der OS auf das Erregergeschehen. Allerdings lagen Böden mit hoher OS eher im sauren Bereich. Im Gegensatz zu dieser Beobachtung waren in einem Topftest mit einem Boden, der aus einem Ökobetrieb stammt, der extrem hohe organische Inputs hat und jährlich Leguminosen anbaut, die angebauten Erbsen trotz Inokulation weitgehend gesund, während sie in einem konventionellen langjährig leguminosenfreien Boden durch die Inokulation schwer erkrankten. Dieses Ergebnis legt nahe, dass die bodenbiologischen und chemischen Faktoren, die zur Gesundheit beitragen, im Detail untersucht werden müssen, bevor eindeutige Empfehlungen ausgesprochen werden können.

9 Literaturverzeichnis

- Alpmann, D., Asam, L., Aulrich, K., Bellof, G., Braun, J., Böhm, H., Ebert, U., Finckh, M.R., Gruber, H., Gruber, S., Heidel, W., Klöble, U., Kloepfer, F., Recknagel, J., Schäfer, B.C., Schmidtke, K., Vogt- Kaute, W., Völkel, G., Weiß, J., Weismann, E., Wilbois, K.P., 2013. Körnerleguminosen anbauen und verwerten. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).
- Baćanović, J., 2015. Pathogens occurring in the winter pea – maize – winter wheat rotation, their host specificity and the potential of compost in suppressing foot and root disease of peas (Doctoral thesis). University of Kassel, Witzenhausen.
- Bacanovic, J., Sisic, A., Bruns, C., Finckh, M.R., 2016. Factors affecting suppression of root and foot rot diseases of peas (*Pisum sativum* L.) with compost application. Presented at the Julius Kühn Archiv, p. Poster # 71.
- Baćanović-Šišić, J., Šišić, A., Schmidt, J.H., Finckh, M.R., 2018. Identification and characterization of pathogens associated with root rot of winter peas grown under organic management in Germany. *European Journal of Plant Pathology* 151, 745–755. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1409-0>.
- Benjamini, Y., Hochberg, Y., 1995. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society* 57, 289–300. <https://doi.org/0035-9246/95/57289>.
- Boerema, G.H., Gruyter, J. de., Noordeloos, M.E., Hamers, M.E.C., 2004. *Phoma* identification manual: differentiation of specific and infra-specific taxa in culture. CABI publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Böhm, H., Bohne, B., Brandhuber, R., Bruns, C., Demmel, M., Finckh, M., Fuchs, J., Gronle, A., Hensel, O., Lux, G., Möller, D., Schmidt, H., Schmidtke, K., Spiegel, A.K., Vogt-Kaute, W., Wilbois, K.P., Wild, M., Wolf, D., 2014. Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.
- Bretag, T.W., Smith, L.M., Ward, D.J., 2001. Effect of soil-borne *Ascochyta* blight fungi on the grain yield of field peas, in: Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference, Hobart, 2001, on-Line: /Www.Regiona..Org.Au/Au/Asa/2002/2/a/Bretag.Htm.
- Brooks, M.E., Kristensen, K., Benthem, K.J. van, Magnusson, A., Berg, C.W., Nielsen, A., Skaug, H.J., Mächler, M., Bolker, B.M., 2017. glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R Journal* 9, 378–400.
- Chen, Q., Jiang, J.R., Zhang, G.Z., Cai, L., Crous, P.W., 2015. Resolving the *Phoma* enigma. *Studies in Mycology* 82, 137–217. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2015.10.003>.
- Conover, W.J., 1999. Practical nonparametric statistics, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Coons, G.H., 1916. Factors involved in the growth and the pycnidium formation of *Plenodomus fuscomaculans*. *Journal of Agricultural Research* 5, 713–769.

- Davidson, J.A., Ramsey, M.D., 2000. Pea yield decline syndrome in South Australia: the role of diseases and the impact of agronomic practices. *Australian Journal of Agricultural Research* 51, 347–354.
- FAOSTAT, 2020. Crop statistics. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Kraft, J.M., Pflieger, F.L., 2000. *Compendium of pea diseases and pests*, 2nd ed. The American Phytopathological Society, St. Paul Mn, USA.
- Lê, S., Josse, J., Husson, F., 2008. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software* 25.
- Lenth, R.V., 2016. Least-Squares Means: The R package lsmeans. *Journal of Statistical Software* 69. <https://doi.org/10.18637/jss.v069.i01>.
- Leslie, J.F., Summerell, B.A., 2006. *The Fusarium laboratory manual*, 1st ed. Blackwell publishing, Ames, Iowa, USA.
- Liu, Y.J., Whelen, S., Hall, B.D., 1999. Phylogenetic relationships among ascomycetes: evidence from an RNA polymerase II subunit. *Molecular Biology and Evolution* 16, 1799–1808.
- Mendiburu, D.F., 2014. *Agricolae: statistical procedures for agricultural research*. R package version 1. 2. 41, 1–6.
- Nasir, M.H., 1991. Studies on pathotypes, resistance sources and control methods of *Mycosphaerella pinodes* (Berk. & Blox.) Vestergren, a component of the *Ascochyta*-disease-complex of pea (*Pisum sativum* L.). Dissertation, University of Kassel, Witzenhausen.
- Nasir, M.H., Hoppe, H.H., 1991. Studies on pathotype differentiation within *Mycosphaerella pinodes* (Berk. Bloxam) Vestergren, a component of the *Ascochyta*-disease-complex of peas (*Pisum sativum*). *Journal of Plant Disease Protection* 98, 619–626.
- O'Donnell, K., Cigelnik, E., Nirenberg, H.I., 1998. Molecular systematics and phylogeography of the *Gibberella fujikuroi* species complex. *Mycologia* 90, 465. <https://doi.org/10.2307/3761407>.
- Pflughöft, O., Merker, C., von Tiedemann, A., Schäfer, B.C., 2012. Zur Verbreitung und Bedeutung von Pilzkrankheiten in Körnerfuttererbsen (*Pisum sativum* L.) in Deutschland. *Gesunde Pflanzen* 64, 39–48. <https://doi.org/10.1007/s10343-011-0270-x>.
- Pflughöft, O., Tiedemann, A. v., Schäfer, B.C., 2006. Monitoring des Pathogenspektrums an Körnerfuttererbsen in Deutschland. Presented at the Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft 55. Deutsche Pflanzenschutztagung in Göttingen, 25.-28. Sept. 2006, pp. 117–118.
- R Core Team, 2013. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

- Schlatter, D., Kinkel, L., Thomashow, L., Weller, D., Paulitz, T., 2017. Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome. *Phytopathology* 107, 1284–1297. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-17-0111-RVW>.
- Šišić, A., Baćanović, J., Finckh, M.R., 2017. Endophytic *Fusarium equiseti* stimulates plant growth and reduces root rot disease of pea (*Pisum sativum* L.) caused by *Fusarium avenaceum* and *Peyronellaea pinodella*. *European Journal of Plant Pathology* 148, 271–282. <https://doi.org/10.1007/s10658-016-1086-4>.
- Šišić, A., Baćanović-Šišić, J., Finckh, M.R., 2018a. Molecular characterization and aggressiveness of *Didymella pinodella* isolates associated with root rot of field pea (*Pisum sativum*). Presented at the 61. Deutsche Pflanzenschutztagung "Herausforderung Pflanzenschutz – Wege in die Zukunft," Universität Hohenheim, p. 326. <https://doi.org/10.5073/jka.2018.461.000>.
- Šišić, A., Baćanović-Šišić, J., Karlovsky, P., Wittwer, R., Walder, F., Campiglia, E., Radicetti, E., Friberg, H., Baresel, J.P., Finckh, M.R., 2018b. Roots of symptom-free leguminous cover crop and living mulch species harbor diverse *Fusarium* communities that show highly variable aggressiveness on pea (*Pisum sativum*). *PLOS ONE* 13, e0191969. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191969>.
- Šišić, Adnan, Baćanović-Šišić, J., Schmidt, H., Finckh, M., 2020. First report of *Fusarium flocciferum* causing root rot of pea (*Pisum sativum*) and faba bean (*Vicia faba*) in Germany. *Plant Disease* 104, 283. <https://doi.org/10.1094/pdis-06-19-1302-pdn>
- Šišić, A, Baćanović-Šišić, J., Schmidt, H., Finckh, M.R., 2020. Root pathogens occurring on pea (*Pisum sativum*) and faba bean (*Vicia faba*) in Germany, in: Brka, M., Omanović-Miklićanin, E., Karić, L., Falan, V., Toroman, A. (Eds.), 30th Scientific-Experts Conference of Agriculture and Food Industry: Answers for Forthcoming Challenges in Modern Agriculture, IFMBE Proceedings. Springer International Publishing, Cham, pp. 69–75. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-40049-1>
- Šišić, A., Baćanović-Šišić, J., Schmidt, H., Finckh, M.R., 2018c. First report of *Didymella lethalis* associated with roots of pea, subterranean clover and winter vetch in Germany, Switzerland and Italy. *Plant Disease* 102, 2642. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-18-0837-PDN>.
- Spiegel, A., Gronle, A., Arncken, C., Bernhardt, T., Heß, J., Schmack, J., Schmid, J., Spory, K., Wilbois, K.P., 2014. Leguminosen nutzen - Naturverträgliche Anbaumethoden aus der Praxis. Bundesamt für Naturschutz (BfN).
- Sung, G.H., Sung, J.M., Hywel-Jones, N.L., Spatafora, J.W., 2007. A multi-gene phylogeny of *Clavicipitaceae* (*Ascomycota*, Fungi): Identification of localized incongruence using a combinational bootstrap approach. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 44, 1204–1223. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2007.03.011>.
- van Bruggen, A.H.C., Goss, E.M., Havelaar, A., van Diepeningen, A.D., Finckh, M.R., Morris, J.G., 2019. One Health - Cycling of diverse microbial communities as a connecting force for soil, plant, animal, human and ecosystem health. *Science of The Total Environment* 664, 927–937. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.091>.

- van Bruggen, A.H.C., Semenov, A.M., 2015. Soil health and soilborne diseases in organic agriculture, in: Finckh, M.R., van Bruggen, A.H.C., Tamm, L. (Eds.), *Plant Diseases and Their Management in Organic Agriculture*. APS Press, St. Paul, MN, pp. 67–89.
- Wallen, V.R., Jeun, J., 1968. Factors limiting the survival of *Ascochyta* spp. of peas in soil. *Canadian Journal of Botany* 46, 1279–1286.
- Wilbois, K.P., Böhm, H., Bohne, B., Brandhuber, R., Bruns, C., Demmel, M., Finckh, M., Fuchs, J., Gronle, A., Hensel, O., Heß, J., Jörgensen, R., Lux, G., Mäder, P., Möller, D., Schmidt, H., Schmidtke, K., Spiegel, A.K., Tamm, L., Vogt-Kaute, W., Wild, M., Wolf, D., 2013. Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebauter Marktfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit . Gesamtprojekt Abschlussbericht.
- Wille, L., Messmer, M.M., Studer, B., Hohmann, P., 2019. Insights to plant–microbe interactions provide opportunities to improve resistance breeding against root diseases in grain legumes. *Plant, Cell & Environment* 42, 20–40. <https://doi.org/10.1111/pce.13214>.
- Yu-Sung, S., 2018. Package 'arm': data analysis using regression and multilevel/hierarchical models.

10 Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt (Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

10.1 Veröffentlichungen

- Šišić, A., Baćanović-Šišić, J., Finckh, M.R., 2018. Molecular characterization and aggressiveness of *Didymella pinodella* isolates associated with root rot of field pea (*Pisum sativum*). 61. Deutsche Pflanzenschutztagung. Herausforderung Pflanzenschutz - Wege in die Zukunft. 11.-14. Sept. 2018. Julius Kühn Institut, Universität Hohenheim, pp. 326-327.
- Šišić, A., Baćanović-Šišić, J., Schmidt, H., Finckh, M., 2020. First report of *Fusarium flocciferum* causing root rot of pea (*Pisum sativum*) and faba bean (*Vicia faba*) in Germany. Plant Disease 104, 283.
- Šišić, A., Baćanović-Šišić, J., Schmidt, H., Finckh, M.R., 2019. Root pathogens occurring on pea (*Pisum sativum*) and faba bean (*Vicia faba*) in Germany. 30th International Scientific-Experts Conference Of Agriculture And Food Industry, Sarajevo, Sept. 26-27, 2019. Article in press
- Sisic, A., Baćanović-Šišić, J., Schmidt, H., Finckh, M.R., 2019. Pathogene an Wurzeln von Erbse und Ackerbohne im Demonstrationsnetzwerk Erbse / Bohne. [Root pathogens of peas and faba beans in the pea / faba bean on-farm network.]. In: Mühlrath, D., Albrecht, J., Finckh, M.R., Hamm, U., Heß, J., Knierim, U., Möller, D. (Eds.), 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Verlag Dr. Köster, Berlin, Kassel, 5. bis 8. März 2019, pp. 164-167.
- Šišić, A., Baćanović-Šišić, J., Schmidt, H., Finckh, M.R., 2018. First Report of *Didymella lethalis* Associated with Roots of Pea, Subterranean Clover, and Winter Vetch in Germany, Switzerland, and Italy. Plant Disease 102, 2642.
- Finckh, M.R. und Šišić, A., 2020: Rotations, tillage, organic amendments, endophytes; how can we make use of them to enhance legume root health? Eingeladene Keynote zum 8th International Legume Root Diseases workshop May 26-27, 2020, in Rennes, France (<https://workshop.inra.fr/ilrd8/>).
- Šišić, A. Baćanović-Šišić, J., Schmidt, H., Finckh, M.R., 2020: New insights into root rot pathogen complex of pea (*Pisum sativum*) and faba bean (*Vicia faba*) in Germany.

Eingereichter Beitrag zum 8th International Legume Root Diseases workshop May 26-27, 2020, in Rennes, France (<https://workshop.inra.fr/ilrd8/>).

10.2 Andere Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

10.2.1 Vorträge für Praktiker

Finckh, M.R. 8.11.2018: *Wie wird der Pflanzenschutz als Gesamtkonzept im Ökologischen Anbau gewährleistet?* Vortrag beim 58. Fortbildungskurs "Ökologischer Landbau" der Sächsischen Interessengemeinschaft Ökologischer Landbau e.V.

Finckh, M.R. 4.12. 2018: *Leguminosen in der Fruchtfolge – Herausforderungen, um die Gesundheit zu erhalten.* Vortrag beim 19. Fachtag zum Ökolandbau Bad Kreuznach, Dienstleistungszentrum Rheinland Pfalz.

Finckh, M.,R. 28.1.2020: *Agrarökologische Ansätze zum Pflanzengesundheitsmanagement in der Ökologischen Landwirtschaft.* Vortrag bei der Bioland Wintertagung 2020, Brandenburg.

10.2.2 Feldtage

19. 6. 2018: Ressourceneffizienz durch Bodenschonung und Biodiversität im Ökolandbau
Feldtag der Universität Kassel in Neu-Eichenberg (Flyer anbei)

3./ 4. Juli 2019: Teilnahme bei den Ökofeldtagen auf der Domäne Frankenhausen mit eigenem Stand, Ausstellung und Führungen zu Leguminosen

Ressourceneffizienz durch Bodenschonung und Biodiversität im Ökolandbau

Feldtag der Universität Kassel



Vorträge,
Feldbegehung
und Austausch

Dienstag
19. Juni 2018
9.30 – 17.00 Uhr



Forschungsziele

Die Entwicklung von Systemen reduzierter Bodenbearbeitung basierend auf ergänzenden Pflanzen in der Fruchtfolge und die Erhöhung der Biodiversität der Kulturpflanzen sind wichtige Forschungsziele der beteiligten Fachgebiete. Im Rahmen eines EU-Projektes und in mehreren nationalen Projekten wird an diesen Themen intensiv geforscht.

Die Einbeziehung von Zwischenfrüchten, Lebendmulchen und Beisaaten soll die Notwendigkeit mechanischer oder chemischer Beikrautkontrolle reduzieren, die Biodiversität im System fördern und Bodenfruchtbarkeit aufbauen. Ferner sollen Synergieeffekte wie Ertragsstabilisierung, Reduzierung von Nährstoffverlusten und Anpassung an den Klimawandel erzielt werden.

■ Umsetzung in den Projekten



BÖL 2020

Programm

- **09.30 Uhr**
Kaffee
- **10.00 Uhr** Prof. Dr. M. R. Finckh:
Begrüßung und Einführung
- **10.15 Uhr** Prof. Dr. M. R. Finckh:
Die Projekte **INSUSFAR & ReMIX**
- **10.40 Uhr** Rolf Kern
Pflugloser Ackerbau ohne
Glyphosat
- **11.05 Uhr** Dr. Helmut Saucke:
Leguminosen in Mischungen
- **11.30 Uhr** Stephan Junge:
Regenerativer Kartoffelanbau
- **11.55 Uhr** Dr. Rüdiger Graß:
Anbau von **Biogassubstraten** -
vielfältig und ressourceneffizient
- **12.20 Uhr** Christof Felgentreu
Mischungen in Zwischenfrüchten
- **12.45 Uhr**
- **Mittagspause** –
Für Verpflegung ist gesorgt.

Feldrundgang

13.45 – 17:00 Uhr



**Vorstellung
des Projektes
evolutionäre
Winterweizen-
Züchtung**
Odette Weedon

**Biogassubstrat-
erzeugung bei
reduzierter
Flächenkonkurrenz
innerhalb der
Fruchtfolge**
Dr. Rüdiger Graß

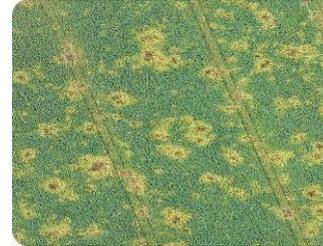


**Veränderungen
der boden-
physikalischen
Eigenschaften
unter pflugloser
Bearbeitung**
Malte Horvat

Feldrundgang

13.45 – 17:00 Uhr

**Nanovirus in
Ackerbohnen &
Erbsenwickler in
Sommererbsen**
Judith Seeger &
Natalia Riemer



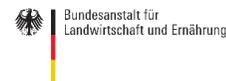
**Kartoffeln mit
Mulch als
regeneratives
Fruchtfolge-
element**
Stephan Junge

■ 17.00 Uhr

**Ende der
Veranstaltung**
Ausklang mit Kaffee und
Kuchen



■ Projektförderung durch



Kontakt

■ **Anmeldung**

**Verbindliche Anmeldung bis spätestens
09.06.2018. Schreiben Sie dazu unter
Angabe Ihres Namens und Ihrer Adresse
an: wedemeyer@agrار.uni-kassel.de**

**Der Kostenbeitrag für Kaffee und
Kuchen, Mittagessen sowie Getränken
beträgt 15€ und wird vor Ort entrichtet.**

■ **Anfahrt**



UNI-Kassel Versuchsbetrieb Neu-Eichenberg
Heideweg 6, 37249 Neu-Eichenberg



GRÜNGRÜNDLAND
WISSEWISSENWISSE
SCHSCHAFTSCHAFT
UNDUNDUNDUND
NACHNACHNACH
WACHWACHSENDESEN
ROHROHROHROH
STOFFSTOFFESTOFFE



Sächsische Interessengemeinschaft Ökologischer Landbau e.V.

SIGÖL e.V., Hauptstr. 75, 04849 Kossa
Telefon/Fax: (034243) 21491

Tagungsprogramm

**zum 58. Fortbildungskurs Ökologischer Landbau
Boden – Pflanze – Tier – Mensch – Boden
am Donnerstag, den 8. November 2018
von 9.00 bis 17.00 Uhr**

Veranstaltungsort: Heide Spa Hotel & Resort Bad Dübén

Ökologischer Landbau – Lösungsansätze für neue und alte Herausforderungen

Referent: Herr Dr. Hans Marten Paulsen
Thünen-Institut für Ökologischen Landbau
Trenthorst

Die Bedeutung der Bodenfruchtbarkeit für Mensch und Tier

Referent: Herr Joseph Braun
Biolandhof Freising

Glyphosat – Fluch oder Segen für Landwirtschaft und Verbraucher

Referentin: Frau Prof. em. Dr. Monika Krüger
Veterinärmedizinische Fakultät
Universität Leipzig

Wie wird der Pflanzenschutz als Gesamtkonzept im Ökologischen Landbau gewährleistet?

Referentin: Frau Prof. Dr. Maria Finckh
Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz
Universität Kassel

Bedeutung der Fruchtfolgeplanung für die Nährstoff- und Humusversorgung und für die Kontrolle von Unkräutern und bodenbürtigen Schaderregern

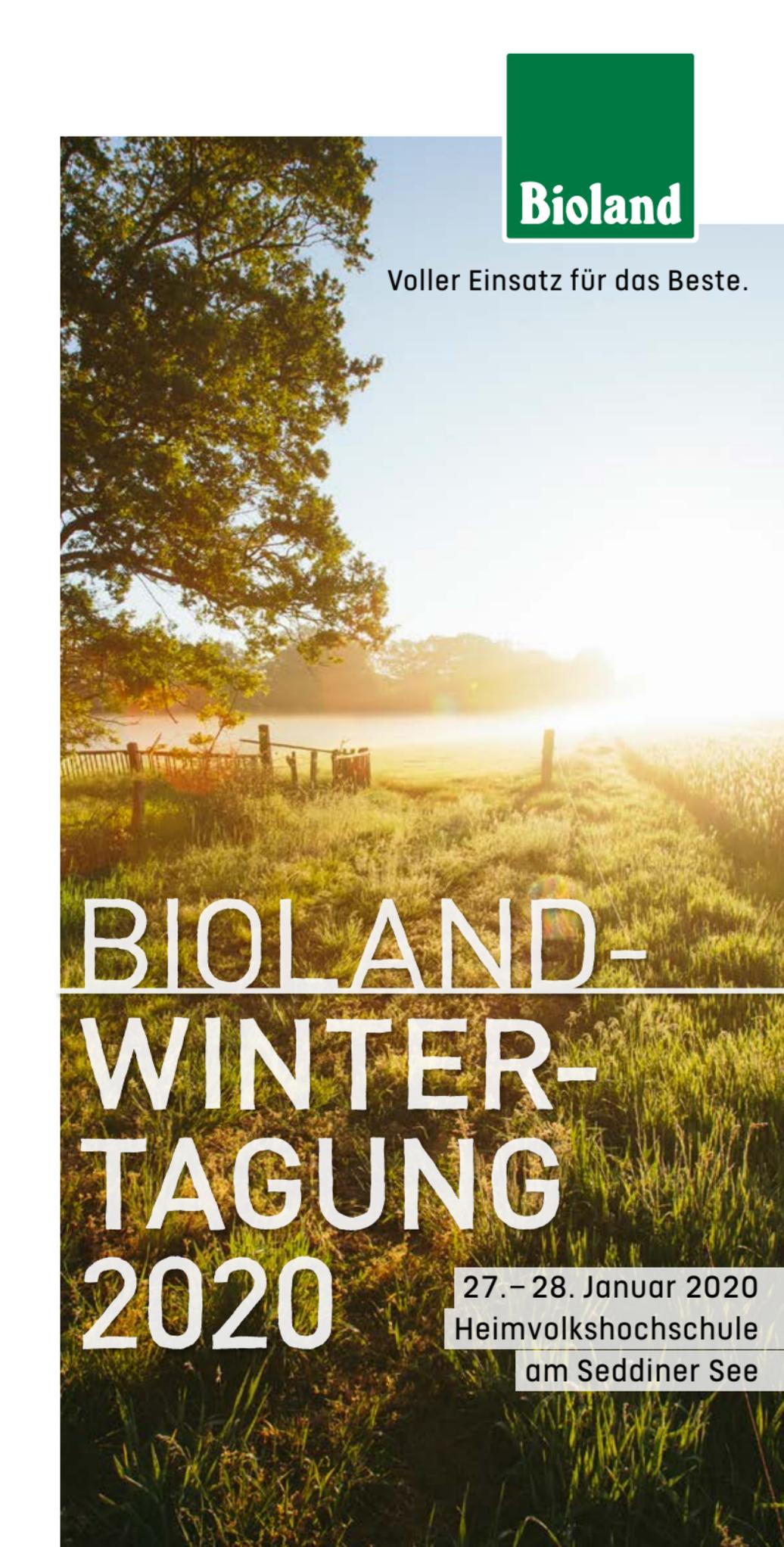
Referent: Herr Dr. Johann Bachinger
Leibnitz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
Müncheberg

Braucht der Ökologische Landbau noch Nutztiere?

Referent: Herr Prof. Dr. Bernhard Hörning
Fachgebiet Ökologische Tierhaltung
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH)



Einsiedel
Vorsitzender der SIGÖL e.V.



Bioland

Voller Einsatz für das Beste.

BIOLAND- WINTER- TAGUNG 2020

27. – 28. Januar 2020
Heimvolkshochschule
am Seddiner See

Dienstag, 28.01.2020 | 15:00 – 16:00 Uhr

Agrarökologische Ansätze zum Pflanzengesundheitsmanagement in der ökologischen Landwirtschaft

Organics International (IFOAM) hat als einen der wichtigsten Grundsätze den Leitsatz „Gesunder Boden für gesunde Pflanzen“ formuliert. Dieser hat auch nach vielen Jahrzehnten seine Gültigkeit nicht verloren, auch wenn er leider oft nicht ernst genommen wird. Das Bodenleben ist zentral wichtig für die Pflanzengesundheit. Pflanzenrückstände düngen den Boden, können aber auch Pathogene beherbergen, wenn sie nicht schnell und effizient vom Bodenleben zersetzt werden. Die Pflanzenernährung hat auch Auswirkungen auf die Krankheitsanfälligkeit. Möglichkeiten und Grenzen der angewandten Agrarökologie für den Pflanzenschutz werden diskutiert. Trotz beeindruckender Erfolge sind auch Grenzen gesetzt, vor allem, wenn es um samenbürtige Erreger geht.

.....
Prof. Dr. Maria R. Finckh, Witzenhausen
.....

Dienstag, 28.01.2020 | 16:00 Uhr

Verabschiedung durch den Vorstand und Ausklang bei Kaffee und Kuchen



Reyhaneh Eghbali, Bioland-Verlags GmbH

Organisatorisches

Anmeldung/Infos

Bioland e.V., Landesverband Ost
Bioland Regionalbüro,
Kirchbergstraße 17, 01683 Nossen
Tel. 035242 47786, Fax 035242 47787

E-Mail: info-ost@bioland.de

oder online:

<https://www.bioland.de/ueber-uns/veranstaltungskalender.html>

**Anmeldungen bitte bis 06.01.2020 –
bis 06.01. Frühbucherrabatt!**

Erreichbarkeit des Bioland-Teams vor Ort

Heike Kruspe: 0160 2174076

Lena Weik: 0160 90520314

Tagungsort

Heimvolkshochschule am Seddiner See

Seeweg 2, 14554 Seddiner See

Tel. 033205 46516, Fax 033205 46519

E-Mail: info@hvhs-seddinersee.de

Dieses Vorhaben wird teilweise durch das Land Brandenburg
und den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung
des ländlichen Raums gefördert.



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des
ländlichen Raums