Gefördert durch:

Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektträger

Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

Schlussbericht zum Thema
"Neue Zwischenfrüchte für eine Innovative Landwirtschaft (ZIL)“

FKZ: 2818EPS015

Projektnehmer: Universität Kassel

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

Gefördert durch

Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektträger

Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

Neue Zwischenfrüchte für eine Innovative Landwirtschaft (ZIL)

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger:

Universität Kassel
Prof. Maria R. Finckh
Dr. Jörg Peter Baresel
Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz
Nordbahnhofstraße 1a
37213 Witzenhausen

Förderkennzeichen: 2818EPS015
Laufzeit des Vorhabens: 15.07.2019 – 31.12.2022
Berichtszeitraum: 15.07.2019 – 31.12. 2022

Inhaltsverzeichnis

I. Kurze Darstellung 5

1.1 Ziele und Aufgabenstellung 5
1.2 Ablauf des Vorhabens 6
1.3 Wesentliche Ergebnisse 6

II. Eingehende Darstellung 8

1.1 Beschreibung der Arbeiten 8
1.1.1 Ziele der Arbeiten 8
1.1.2 Aufbau des Projekts 9
1.1.3 Versuchsstandorte 9
1.1.4 Wetter 9
1.1.5 AP 1 Evaluierung genetischer Ressourcen 10
1.1.6 AP 2 Leguminosen im Anbausystem 13
1.1.7 AP 3 Phytopathologie 18
1.1.8 AP 4: Zusammenführung, Verbreitung und Anwendung der Ergebnisse 20
1.2 Ergebnisse 21
1.2.1 AP 1 Evaluierung genetischer Ressourcen 21
1.2.2 AP 2 Leguminosen im Anbausystem 24
1.2.3 AP 3 Phytopathologische Untersuchungen 37
1.2.4 AP 4: Zusammenführung, Verbreitung und Anwendung der Ergebnisse 44
1.2.5 Schlussfolgerungen und Ausblick 45
1.3 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 46
1.4 Notwendigkeit und Angemessenheit; Voraussichtlicher Nutzen 47
1.4.1 Notwendigkeit der geleisteten Projektarbeit 47
1.4.2 Bezug des Vorhabens zu förderpolitischen Zielen 48
1.5 Voraussichtlicher Nutzen 49
1.6 Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen 50
1.7 Veröffentlichungen 51

III Erfolgskontrollbericht 53
3.1 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis, Nebenergebnisse und Erfahrungen 53
3.2 Fortgeschriebener Verwertungsplan 54
3.2.1 Erfindungen, Schutzrechtsanmeldungen, erteilte Schutzrechte . . . 54
3.2.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten 54
3.2.3 Wissenschaftlich-technische Erfolgsaussichten 54
3.3 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben 56
3.4 Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung 56

Abbildungsverzeichnis

1.1 Monatliche Niederschläge und Mittlere Temperaturen am Vesuchsstandort Neu-Eichenberg . . . 10
1.2 Aufbau des Feldversuchs, AP 2. 1 . . . 15
1.3 Aufbau des Feldversuchs, AP 2. 2 . . . 17
1.4 Die "*Agrodiversity toolbox*", Screenshot . . . 21
1.5 Ergebnisse des Zusatzversuches zur Saatgutproduktion . . . 25
1.6 Adjustierte Mittelwerte der Bodenbedeckung über einen Zeitraum von 28 Tagen . . . 29
1.7 Anteil der Leguminosen an der Bodenbedeckung 28 Tage nach dem Mulchen 30
1.8 Unkrautunterdrückung durch Zottelwicke, mit und ohne Beerntung, 1 und zwei Wochen nach dem Schnitt; Direktsaat von Mais in Wickenmulch . . . 32
1.9 Mais nach Inkarnatklee und Zottelwicke . . . 35
1.10 Übersicht über die Entwicklung der 3 wichtigsten N-Fraktionen . . . 38
1.11 Auswirkung des Zeitpunkts der Probenahme auf die Häufigkeit der Isolierung von D. pinodella aus 1253 untersuchten Klee- und Wickenwurzeln . . . 40
1.12 Relative Abundanz der fünf häufigsten Fusarienarten, die aus Maiskörnern gewonnen wurden . . . 41
1.13 Infektionshäufigkeit in Maisstängeln . . . 42
1.14 Aufgang von Erbsenpflanzen im Vergleich zur Sandkontrolle, die in Böden gepflanzt wurden, die dem Versuch im AP 2. 2 nach der Maisernte entnommen wurden . . . 43

Tabellenverzeichnis

1.1 Übersicht über die in AP 1 geprüften Leguminosenarten 11
1.2 Ergebnisse des Screening-Versuchs in Neu-Eichenberg, 2020 22
1.3 Ergebnisse des Screening-Versuchs in Neu-Eichenberg, 2021 23
1.4 Effekte der Pflanzenart und des Entwicklungsstadiums auf die Proteinausbeute 25
1.5 Ausbeute an Rohprotein im Pressaft von Verschiedenen Leguminosenarten 26
1.6 Leguminosen- und Unkrautbiomassenzu 4 Schnittzeitpunkten AP 2. 1 . . . 27
1.7 Effekte der Versuchsfaktoren auf die Bodenbedeckung zu verschiedenen Zeitpunkten, AP 2.1; Ergebnisse der Varianzanalyse 28
1.8 Leguminosentrockenmasse, N-gehalt und C/N-Verhältnis in Abghängigkeit von der Zwischenfruchtart und vom Schnittzeitpunkt, AP 2.2; Ergebnsse der Varianzanalyse und Mittelwertvergleich 32
1.9 Auswirkungen der Zwischenfruchtart, des Umbruch/Mulchtermins, der Gründüngung, der flachen Bodenbearbeitung und ihren Wechselwirkungen auf Maistrockenmasse, Mais-N-Gehalt und oberirdische N-Aufnahme 33
1.10 Erträge von Weizen und Erbsen in Monokultur und in Mischungen (kg/ha) . 36
1.11 Erträge von Erbsen und Weizen in Monokultur und in Mischungen; Ergebnisse der Varianzanalyse 36
1.12 Mittlere Schweregrade der Fußkrankheiten bei den Zwischenfrüchten . . . 38
1.13 Befallshäufigkeit der Zwischenfrüchte, ANOVA 39
1.14 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises über den Gesamtzeitraum 46

I.Kurze Darstellung

1.1 Ziele und Aufgabenstellung

Erstes Ziel der Arbeiten war die Bereitstellung neuer, alternativer Leguminosenarten für den Anbau als Zwischenfrucht für den Zwischenfruchtanbau in Kombination mit angepassten Anbauverfahren pfluglosen Anbauverfahren ohne Einsatz von Herbiziden. Besondere Berücksichtigung fand der Zwischenfruchtanbau nach früh bis mittelspät geernteten Kulturen vor Sommerungen, wobei das Hauptwachstum im Frühjahr stattfindet und hohe Biomassen zu erwarten sind. In allen Fällen wurde die Möglichkeit der Direktsaat (Messerwalze, Mulchen, Flachfräsen) geprüft. Wesentlich ist dabei, dass nach dem nach dem Mulchen kein Wiederaustrieb erfolgt. Der zu erwartende Nutzen hängt in erster Linie von der gebildeten Biomasse ab, d.h. er ist bei längerem Aufwuchs und späterem Mulchen späterem Mulchen ausgeprägter. Andererseits hat eine spätere späte Aussaat der nachfolgenden Hauptfrucht in der Regel negativ auf deren Ertrag aus, so dass hier ein Optimum gefunden werden muss. Beim Zwischenfruchtanbau nach früh geernteten Kulturen vor spät gesäten Winterungen oder früh gesäten Sommerungen ist dagegen die Bildung dichter, Unkraut unterdrückender Bestände bereits im Herbst notwendig, Winterfestigkeit dagegen nicht.

Das *zweite Ziel* war die Optimierung der Anbauverfahren, insbesondere der Mulch- und Aussaattechniken. Dabei ist vor allem der Zeitpunkt des Mulchens von Bedeutung, der spät genug sein muss, um einen Wiederaufwuchs der Zwischenfrucht zu verhindern, aber früh genug, um genügend Zeit für die Hauptkultur zu lassen. Auch die Mulchtechnik ist von Bedeutung. Verglichen wurden die effektivere, aber energieintensivere und weniger bodenschonende Flachfräse und die bodenschonendere, energieeffizientere, aber unter Umständen weniger effektive Messerwalze mit dem konventionellen Mulchmäher.

Ein weiteres zu berücksichtigendes Problem sind *Bodenkrankheiten*, die den Leguminosenanbau, insbesondere den Anbau von Körnerleguminosen, generell einschränken (van Bruggen et al., 2016). Allerdings wird der Wachstumszyklus der Zwischenfrüchte und damit auch ihrer Parasiten vergleichsweise früh unterbrochen, was zu einem geringeren Infektionspotenzial des Bodens führen kann als bei vollständiger Abreife. Zudem werden durch Mulchen oder Fräsen die Umsetzungsprozesse im Boden stark angeregt, was die Suppressivität fördern kann (Schlatter et al., 2017). Genauere Informationen hierzu fehlten jedoch bisher. Das dritte Ziel war es daher, das Infektionsgeschehen auf den Zwischenfrüchten und das bodenbürtige Inokulumpotenzial in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Zwischenfrüchte und der Methode der Abtötung zu untersuchen.

1.2 Ablauf des Vorhabens

Projektstart war der 15.07.2019, Projektende (einschließlich einer Verlängerung) der 31. 12. 2022. Kern der Forschungsarbeiten waren die Feldversuche, die größtenteils auf der Versuchsstation Neu-Eichenberg der Universität Kassel stattfanden, im Herbst 2019 begannen und im Sommer 2022 bendet wurden.

Das Projekt war in 4 Arbeitspakete (AP) unterteilt:

AP 1 Evaluierung genetischer Ressourcen: agronomische Eigenschaften und Winterhärte eines größeren Sortiments neuer Leguminosensorten an mehreren mehreren Standorten (2019/20 und 2020/21).

AP2 Leguminosen in Anbausystemen: Untersuchung potenziell besonders besonders geeignete neue Leguminosenarten auf ihre Eignung als Zwischenfrüchte in innovativen Minimalbodenbearbeitungssystemen. Schwerpunkt ist die Verbesserung der Anbausysteme (2019/20 - 2021/22).

AP3 Phytopathologie: Krankheitsanfälligkeit neuer Leguminosensorten, Dynamik des Krankheitsbefalls in den Beständen und Entwicklung des Inokulumpotentials im Boden zur Identifizierung von Sorten und Anbaumethoden, die das Krankheitsrisiko verringern.

AP4 Zusammenführung der Ergebnisse Entwicklung und ökologische Bewertung von Anbaustrategien unter Berücksichtigung ökonomischer Kriterien und Integration der Ergebnisse in ein Online-Tool.

Das Projekt wurde von der Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz, ohne weitere Projektpartner durchgeführt.

1.3 Wesentliche Ergebnisse

Die wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse , die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Neben den Etablierten Zwischefrüchte gibt es noch eine Reihe weiterer Leguminosen, die sich für den Anbau eignen, aber bisher kaum genutzt oder als Kulturpflanzen noch nicht etabliert worden sind. Damit ist eine Diversifizierung auf der Ebene der Zwischenfrüchte möglich, die sich insbesondere auch positiv auf die Diversität des Boden- und Pflanzenmikrobioms auswirken sollte.
2. Durch eine Intensivierung des Anbaus von überwinternden Leguminosen als Zwischenfrüchte können auch im ökologischen Landbau, zumindest für Sommerkulturen wie Mais Anbausysteme mit minimaler Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat ohne den Einsatz von Herbiziden realisiert werden. Das wirkt sich positiv auf die Humusgehalte im Boden und die Bodenfruchtbarkeit im allgemeinen aus.

3. Der Anbau von Zwischenfruchtleguminosen kann wesentlich dazu beitragen, die N-Versorgung der Anbausysteme des ökologischen Landbaus zu verbessern und damit die Ertragslücke zwischen ökologischen und konventionellen Anbausysteme zu verringern. Bei Mais wurden Erträge erreicht, die denen konventionellller Anbausysteme nicht nachstehen. Gleichzeitig wird eine Grundlage für eine Verbesserung der Versorgung der Böden mit organischer Substanz geschaffen.

4. Zwischenfrüchte tragen nur unwesentlich zur Übertragung typischer Leguminosenkrankheiten insbesondere *Didymella spp.* und *Fusarium spp.* bei. Die Befallsraten waren durchweg niedrig, Übertragunsketten konnten nicht nachgewiesen werden und die frühzeitige Nutzung der Zwischenfrühte (in der Regel bis zur Blüte) verhindert bzw. reduziert eine Ausbreitung von pathogenen Pilzen in den Pflanzen, sowie die Bildung von Sporen.

5. Damit kann der Leguminosenanteil in den Fruchtfolgen und damit die N-vesorgung sowie die Zufuhr organischer Substanz in den Boden erhöht werden. Anders als Körnerleguminosen stehen Zwischenfrüchte nicht in Konkurrenz zu anderen Hauptfrüchten; vielmehr profitieren letztere von den Zwischenfrüchten.

6. Eine Beerntung der Zwischenfruchtbestände zur Blüte schränkt die positiven Wirkungen auf die nachfolgenden Kulturen (Stickstoffversorgung und Unkrautunterdrückung) nur geringfügg ein, so eine Nutzug der Leguminosenbiomasse sinnvoll ist, wenn entsprechende Verwendungsmöglichkeiten bestehen. Neben einer Verwendung als Futter können die Leguminosenzwischenfrüchte auch als nachwachsender Rohstoff, so z.B. zur herstellung von Proteinextrakten genutzt werden.

II.Eingehende Darstellung

1.1 Beschreibung der Arbeiten

1.1.1 Ziele der Arbeiten

Erstes Ziel der Arbeiten war die Bereitstellung neuer, alternativer Leguminosenarten für den Zwischenfruchtanbau in Verbindung mit angepassten Methoden zur Entwicklung pflugloser Anbauverfahren ohne Herbizideinsatz. Besonderes Augenmerk wurde auf den Zwischenfruchtanbau nach früh bis mittelspät geernteten Kulturen vor Sommerungen gelegt, bei denen das Hauptwachstum im Frühjahr stattfindet und hohe Biomassen zu erwarten sind. In allen Fällen wurde die Möglichkeit der Verwendung als Mulch zur Direktsaat geprüft (Mulchmähen, Messerwalze, Flachfräsen). Entscheidend ist dabei, dass nach dem Mulchen kein Wiederaustrieb erfolgt und die Arten somit für diesen Zweck geeignet sind. Der zu erwartende Nutzen von Zwischenfrüchten hängt in erster Linie von der gebildeten Biomasse ab, d. h. er ist bei längerem Aufwuchs und späterem Mulchen größer. Andererseits wirkt sich eine spätere Aussaat der nachfolgenden Hauptfrucht in der Regel negativ auf ihren Ertrag aus, so dass hier ein Optimum gefunden werden muss. Beim Zwischenfruchtanbau nach früh geernteten Kulturen vor spät gesäten Winterungen oder früh gesäten Sommerungen ist dagegen die Bildung dichter, unkrautunterdrückender Bestände bereits im Herbst erforderlich, nicht aber die Winterhärte.

Das *zweite Ziel* war die Optimierung von Anbauverfahren, insbesondere der Mulch- und Einsaattechniken. Hierbei ist vor Allem der Mulchzeitpunkt von Bedeutung, der spät genug sein muss, um einen Wiederaufwuchs der Zwischenfrucht zu verhindern, aber früh genug, um hinreichend Zeit für die Hauptkultur zu lassen. Weiterhin ist die Mulchtechnik von Bedeutung. Wir verglichen die wirkungsvollere, aber energieaufwändigere und weniger bodenschonende Flachfräse und die bodenschonenderen, energieeffizienteren, aber unter manchen Bedingungen auch weniger wirkungsvollen Messerwalze mit dem herkömmlichen Mulchmäher.

Ein weiteres Problem, das berücksichtigt werden muss, sind *bodenbürtige Krankheiten*, die den Leguminosenanbau, insbesondere den Anbau von Körnerleguminosen generell beschränken (van Bruggen et al., 2016). Der Wachstumszyklus von Zwischenfrüchten und damit auch ihrer Parasiten wird allerdings vergleichsweise früh unterbrochen, was zu einem geringeren Infektionspotential des Bodens führen könnte, als bei vollständiger Abreife. Darüber hinaus werden durch das Mulchen oder Fräsen die Umsetzungsprozesse im Boden massiv angeregt, was die Suppressivität fördern kann. (Schlatter et al., 2017). Genauere Informationen hierzu fehlten aber bisher. Das dritte Ziel war es deshalb, das Infektionsgeschehen auf den Zwischenfrüchten und das bodenbürtige Inokulumpotential abhängig vom Entwicklungsstadium der Zwischenfrüchte und der Methode der Abtötung

zu untersuchen.

1.1.2 Aufbau des Projekts

Das Projekt gliederte sich in 4 Arbeitspakete (AP):

AP 1 Evaluation genetischer Ressourcen: Agronomische Eigenschaften und Winterfestigkeit eines größeren Sortiments neuer Leguminosenarten an mehreren Standorten.

AP2 Leguminosen im Anbausystem: Untersuchung potentiell besonders geeigneter neuer Leguminosenarten im Hinblick auf ihre Eignung als Zwischenfrüchte in innovativen Minimalbodenbearbeitungssystemen. Schwerpunkt ist die Verbesserung der Anbauysteme.

AP3 Phytopathologie: Krankheitsanfälligkeit der neuen Leguminosenarten, Dynamik des Krankheitsbefalls in den Beständen sowie Entwicklung des Inokulumpotentials im Boden zur Identifikation von Arten und Anbaumethoden, die das Krankheitsrisiko mindern.

AP4 Zusammenführung der Ergebnisse Entwicklung und ökologische Bewertung von Anbaustrategien unter Berücksichtigung ökonomischer Kriterien, und Integration der Ergebnisse in einem Online-Tool.

1.1.3 Versuchsstandorte

Die Versuche fanden auf der Forschungsstation der Universität Kassel in Neu-Eichenberg statt, die auf einer Höhe von 247 m über NN auf den Koordinaten 51°22’ N und 9°54’ E gelegen ist. Der mittlere jährliche Niederschlag (2000-2013) betrug 684 mm und die mittlere Jahrestemperatur 9, 3 °C. Der Boden in den ist ein tiefer „haplic Luvisol“ nach der FAO-Klassifikation, mit 76 Bodenpunkten. Der Betrieb wird seit 1984 biologisch bewirtschaftet. Die ökologisch bewirtschaftete Versuchsstation Viehhausen der Technischen Universität München, auf der ein zusätzlicher Winterhärteversuch durchgeführt wurde, liegt auf 470 m ü. NN und ist etwas kühler als die Versuchsstation Neu-Eichenberg. Im Januar liegen die Durchschnittstemperaturen um 2, 2 ºC und die Tiefsttemperaturen um 2, 9 ºC tiefer als in Neu-Eichenberg.

1.1.4 Wetter

Die monatlichen Niederschläge und die mittleren Temperaturen für die Jahre 2919-2022 sind in Abb. 1.1 dargestellt. Mit Ausnahme des Jahres 2021 lagen die Jahresmitteltemperaturen über dem langjährigen Mittel (1990 - 2020), was sich vor allem durch milde Winter bemerkbar machte. Das Jahr 2021 zeichnete sich durch hohe Sommerniederschläge aus, der Sommer 2022 war extrem heiß und trocken, was sich aber aufgrund ausreichend hoher Bodenwasservorräte und der relativ spät einsetzenden Trockenheit nur geringfügig auf die Weizen- und Erbsenerträge auswirkte. In den Jahren 2020 und 2021, in denen Mais angebaut wurde, waren die Wasservorräte im Boden bzw. die Niederschläge im Sommer ausreichend, um ein gutes Wachstum der Sommerungen zu gewährleisten.

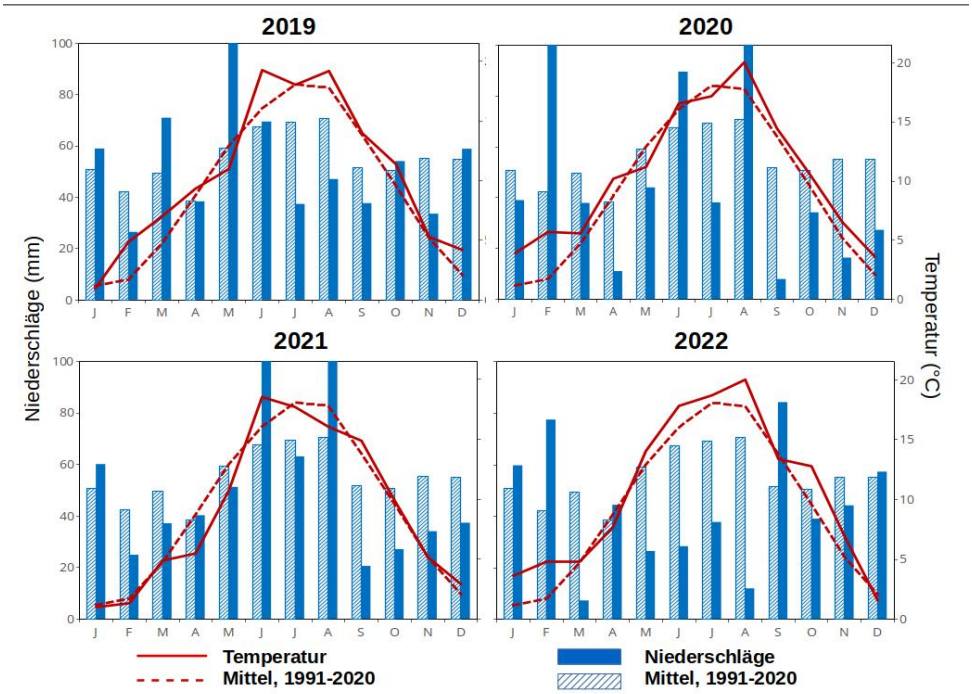


Abbildung 1.1: Monatliche Niederschläge und Mittlere Temperaturen am Vesuchsstandort Neu-Eichenberg, 2019 - 2022. Gestrichelte Linien und schraffierte Flächen kennzeichnen das langjährige Mittel, 1991-2020

1.1.5 AP 1 Evaluierung genetischer Ressourcen

Ziel dieses AP war, neue Leguminosenarten zu identifizieren, die an deutsche Klimabedingungen angepasst und potentiell als Zwischenfrüchte geeignet sind und diese hinsichtlich ihrer agronomischen Eigenschaften zu charakterisieren.

Es wurden 54 Akzessionen von 31 Arten der Gattungen *Trifolium, Medicago, Vicia* und *Lathyrus* in replizierten Parzellenversuchen an zwei Standorten über 2 Jahre geprüft. Die Evaluierung bestand aus einem Parzellenversuch auf der Versuchsstation Neu-Eichenberg der Universität Kassel (AP 1. 1) und einer zusätzlichen Prüfung auf Winterhärte (AP 1. 2) auf der Versuchsstation Viehhausen, Freising (s. o.). Die Auswahl der Arten und Akzessionen basieren auf den Ergebnissen vorangegangener Screeningprogramme des Projektnehmers. Ausgewählt wurden Arten und Genotypen mit hohen Biomasseerträgen und damit auch einem starken Unkrautunterdrückungspotential, die unter den örtlichen Bedingungen in der Lage waren, zu überwintern, und bei denen, sofern es sich um bisher nicht kultivierte Arten handelte, auch eine Saatgutproduktion im Feldmaßstab möglich erschien. Folgende Sorten etablierter Zwischenfrüchte wurden als Kontrolle in die Versuche einbezogen: *Trifolium incarnatum* cv. Opolska, *Vicia villosa* cv. Hungvillosa, *Pisum sativum cv. EFB 33* und *Trifolium subterraneum* cv. Goulbourne; alle anderen geprüften Genotypen waren Lokalpopulationen oder Handessaatgut ohne Sortenbezeichnung.

Tabelle 1.1: Übersicht über die in AP 1 geprüften Leguminosenarten: N = Anzahl der geprüften Akzessionen insgesamt, “S”: Anzahl der Akzessionen mit Aussaat im September, “O”: Anzahl der Akzessionen mit Aussaat Mitte Oktober, “F”: Anzahl der Akzessionen in der Winterhärteprüfung am Standort Viehhausen, “P”. : Anzahl der Akzessionen, bei denen der Proteingehalt im Pressaft bestimmt wurde

		2019/20			2020/21			2021/22	Prot.
	N	S	O	F	S	O	F		
Lathyrus aphaca	3	3	-	3	1	1	1	2	1 -
Lathyrus chloranthus	1	1	1	1	1	1	1	-	-
Lathyrus clymenum	3	3	3	3	2	2	2	2	1
Lathyrus hierosolymitatus	1	1	-	1	1	1	1	-	-
Lathyrus hirsutus	1	1	1	1	1	1	1	-	-
Lathyrus nissolia	1	1	-	1	-	-	0	-	-
Lathyrus ochrus	3	3	2	3	2	2	2	1	-
Medicago arabica	2	2	-	2	-	-	0	-	-
Medicago minima	1	1	-	1	-	-	0	-	-
Medicago orbicularis	2	2	-	2	-	-	0	-	-
Pisum sativum	2	2	2	2	1	1	1	-	1
Scorpiurus muricatus	1	1	-	1	-	-	0	-	-
Trifolium incarnatum	2	1	-	1	1	1	1	-	-
Trifolium michelanum	1	1	-	1	1	1	1	-	-
Trifolium pratense	1	1	-	1	-	-	0	-	-
Trifolium subterraneum	2	2	-	2	1	1	1	1	1
Vicia aintabensis	1	1	-	1	-	-	0	-	-
Vicia articulata	2	1	-	1	-	-	0	-	-
Vicia benghalensis	2	2	2	2	2	-	2	-	1
Vicia disperma	1	1	-	1	-	-	0	-	-
Vicia faba	1	1	-	1	-	-	0	-	1
Vicia hybrida	1	1	-	1	-	-	0	-	-
Vicia johannis	1	1	-	1	-	-	0	-	-
Vicia monantha	1	1	-	1	-	-	0	-	-
Vicia narbonnensis	1	1	-	1	-	-	0	-	-
Vicia pannonica	3	1	-	1	1	-	1	1	1
Vicia peregrina	1	1	-	1	-	-	0	-	-
Vicia sativa	4	4	1	4	3	3	3	-	1
Vicia villosa	6	6	-	6	6	-	-	1	1

AP 1. 1 Parzellenversuch in Neu-Eichenberg

2019/20: Die 54 Akzessionen wurden in 3 Wiederholungen in einem 2-Jährigen Versuch, z. T. mit unterschiedlichen Einsaatterminen geprüft (Tabelle 1.1). Untersucht wurden Biomasse, morphologische Merkmale, Phänologie, Winterhärte, Saatgutproduktion, Erntbarkeit der Samen und Unkrautunterdrückung. Darüber hinaus diente der Versuch der experimentellen Saatgutproduktion vielversprechender Akzessionen.

2020/21: Im zweiten Jahr der Screening-Versuche wurden insgesamt 25 Akzessionen geprüft; davon wurden 15 Akzessionen mit 2 unterschiedlichen Einsaatterminen geprüft. (September versus Oktober), da dies eine Auswirkung auf die Überwinterungsfähigkeit hat, aber auch auf die Biomassebildung im darauf folgenden Frühjahr, andererseits Zwischenfrüchte je nach Vorkultur zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingesät werden müssen. In diesem Versuch wurden die Parzellen maschinell geerntet, um die Samenerträge und die technischen Möglichkeiten und Probleme der Saatgutproduktion der neuen Arten bzw. Akzessionen zu prüfen.

2021/22: Im Herbst 2021 wurden von 10 Akzessionen der Arten *Lathyrus clymenum, L. ochrus, L. aphaca, L. hirsutus, Vicia villosa, V. pannonoica* und *Trifolium subterraneaum* Vermehrungsparzellen von 25 m^2 angelegt. Jede Akzession (mit Ausnahme von *Trifolium subterraneaum* (bei dem das obsolet ist) und *Lathyrus ochrus* (bei dem nicht genügend Saatgut zur verfügung stand) wurde in einer Parzelle in Reinkultur und in einer Parzelle mit Wintertriticale als Stützfrucht ausgesät. Ziel dieser Versuche war, unter praxisnahen Bedingungen Saatgut einiger vielversprechender Arten zu produzieren, um etwaige Probleme bei der Saatgutproduktion zu erkennen.

Datenanalyse Die statistischen Auswertungen wurden mit R Version 3. 4. 3 durchgeführt. (R Core Team, 2020). Lineare gemischte Modelle wurden mit dem R-Paket *"Lme4"* (Bates et al., 2015); der multiple Mittelwertvergleich wurde anschließend auf Basis der Signifikanz der paarweisen Vergleiche der adjustierten Mittelwerte mit den Paketen *ëmmeans"* (Lenth et al., 2019) und *"lmerTest"* (Kuznetsova et al., 2015) durchgeführt.

Proteinextraktion Aus der Biomasse von 10 Arten wurde in zwei Entwicklungsstadien (jeweils vor und nach der Blüte) Presssaft nach Wachendorf et al. (2007) und Vodegel et al. (2008) gewonnen und die Proteinausbeute im Presssaft bestimmt, um die Eignung von Zwischenfruchtleguminosen zur Gewinnung von Proteinextrakten zu prüfen.

Ap 1. 2 Prüfung auf Winterfestigkeit

Am Standort Viehhausen, der ökologisch bewirtschafteten Versuchsstation der Technischen Universität München, wo die Winter (mit um 2℃ niedrigeren Temperaturminima im Januar und Februar) im mittel kälter sind (s. o.), wurde zusätzlich über zwei Jahre (2019/20 und 2020/21) eine Prüfung auf Winterhärte durchgeführt. Diese Prüfung fand in einem replizierten Parzellenversuch mit 2 Wiederholungen statt. Hier wurden in erster Linie die Überwinterung und die Entwicklungsstadien erfasst.

1.1.6 AP 2 Leguminosen im Anbausystem

In diesem AP wurden folgende Fragen untersucht:

1. Zu welchem Zeitpunkt ist eine Mulchsaat von Mais in überwinternde Zwischenfrüchte ohne Bodenbearbeitung (Mulchen oder Schnitt) oder nach oberflächlicher Einarbeitung (z. B. Flachfräse) bei unterschiedlichen Zwischenfrüchten möglich, ohne dass es zu einer Beeinträchtigung des Maises durch Wiederaufwuchs kommt?

2. In wieweit hängt der von den Zwischenfrüchten erwartete Nutzen (Unkrautkontrolle, N-Fixierung, Bodenverbesserung u. a.) vom Zeitpunkt des Mulchens/Umbruch und der Maissaat ab?

3. Ist es alternativ möglich, die Biomasse zu ernten und als Futter oder Rohstoff für die industrielle Weiterverarbeitung (z. B. Futterkonzentrate) zu nutzen, um Ertragsverluste durch eine spätere Aussaat der Folgekultur auszugleichen und welche Auswirkungen hat dies auf die Unkrautunterdrückung und die Ernährung der Folgekultur?

Untersucht wurden überwinternde Leguminosen, die einer Sommerung vorangestellt werden können. Hier ist gutes Überwinterungsvermögen und ein schnelles Wachstum im Frühjahr wichtig. Soll auf eine Bodenbearbeitung nach der Zwischenfrucht verzichtet werden, ist es außerdem von Bedeutung, dass der Zwischenfruchtbestand mechanisch ohne Bodenbearbeitung, etwa durch Abernten, Mähen und Mulchen oder durch Mulchen mit Hilfe der Messerwalze abgetötet werden kann. Die Messerwalze ist vor allem in Südamerika gebräuchlich und zerstört Zwischenfruchtbestände durch Umknicken und Quetschen. Die Vorteile dieser Methode sind der geringe Energiebedarf und der weitgehende Erhalt des Bodengefüges, da die Methode nicht mit einer Bodenbearbeitung verbunden ist. Ein weiterer Vorteil ist die Bildung einer sehr gleichmäßigen Mulchschicht.

Nachteilig ist hingegen die geringere Effizienz und die stärkere Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Zwischenfrüchte, die in der Regel erst in späteren Entwicklungsstadien, meistens ab der Blüte ohne Umbruch abgetötet werden können, so dass phänologische Eigenschaften auch eine wichtige Rolle spielen.

Eine Alternative ist der Einsatz einer Flachfräse, die Sproß und Wurzeln dicht unter dem Wurzelansatz (ca 3-4 cm) trennt und somit für die Vorbereitung eines Saatbetts bei minimaler Bodenbearbeitung geeignet ist. Diese Methode ist weniger abhängig vom Entwicklungsstadium der Zwischenfrucht, aber auch energieaufwändiger, und mit einer, wenn auch sehr flachen Bodenbearbeitung verbunden. Es kommt hier auch nicht zur Bildung einer kompakten Mulchschicht, sondern zu einer Vermischung mit der obersten Bodenschicht und damit einer Flächenkompostierung. Dies kann einerseits zwar die Keimungsbedingungen für Unkräuter im Vergleich zur Messerwalze verbessern. Andererseits aber wird die biologische Aktivität in den oberen Bodenschichten schneller angeregt, was auch zu wärmerem Boden und besseren Keimbedingungen für die Kultur führen kann.

Je nach Zwischenfruchtart und Mulchtermin kann die eine oder die andere Methode die geeignetere sein; außerdem hängt der Zeitpunkt, zu dem ein Mulchen mit Hilfe der Messerwalze möglich ist, ebenfalls von der Art, insbesondere ihres Blühzeitpunkts ab. Ziel dieses AP war, die Verfahren im Hinblick auf unterschiedliche Zwischenfrüchte die Verfahren zu optimieren. Das Arbeitspaket gliederte sich in zwei Teile:

AP 2. 1, in dem in erster Linie der optimale Nutzungszeitpunkt im Hinblick auf die Phänologie unterschiedlicher Zwischenfruchtarten untersucht wurde.

AP 2. 2, in dem die Anbauverfahren im Vordergrund standen und detaillierter untersucht wurden. Agronomische Aspekte stehen hier im Vordergrund; insbesondere wird die Wirkung auf eine Nachfolgende Sommerung untersucht.

AP 2. 1 Feldversuche zu Phänologie und Nutzungszeitpunkten

Der Versuch wurde in 2019/20 und 2020/21 auf der Versuchssation Neu-Eichenberg (s. o.) durchgeführt

Pflanzenmaterial Folgende Leguminosenarten wurden auf ihre Eignung als Zwischenfrucht geprüft:

1. Wintererbse (*Pisum sativum* L.) cv. EFB33. Rankende, vollblättrige Sorte mit undeterminiertem Wachstumszyklus und guter Winterhärte.
2. Winterackerbohne (*Vicia faba* L.), eine heterogene Population, die von der Universität Göttingen gezüchtet wurde und gut an die klimatischen Bedingungen Mitteldeutschlands angepasst ist.
3. Zottelwicke (*Vicia villosa* L. cv. Hungvillosa. Diese Art ist neben dem Inkarnatklee die am weitesten verbreitete Winterzwischenfrucht unter den Leguminosen.
4. Inkarnatklee (*Trifolium incarnatum* L.) cv. Opolska, ebenfalls weit verbreitet und wie die Zottelwicke Bestandteil des “Landsberger Gemenges”.
5. Ungarische Wicke (*Vicia pannonica* Cranz.), Handelssaatgut Diese Art ist winterhart, bisher eher in Trockengebieten etabliert, wird aber zunehmend auch in Deutschland angebaut.
6. *Trifolim michelanum* Savi., Handelssaatgut. Auch dieser Klee ist in Deutschland noch nicht sehr verbreitet und gilt als winterhart.
7. Erdklee (*Trifolium subterraneum* L.) ist im Mittelmeerraum verbreitet, hat sich aber für deutsche Verhältnisse als ausreichend winterhart erwiesen (Baresel et al., 2018).
8. *Lathyrus aphaca* L. ist als Kulturpflanze weitgehend unbekannt, hat sich aber in früheren Untersuchungen der Autoren als winterhart erwiesen und bildet dichte Bestände, so dass diese Art für eine zukünftige Verwendung als Zwischenfrucht oder in Zwischenfruchtmischungen als vielversprechend erscheint.
9. *Lathyrus clymenum* L. ist als Kulturpflanze ebenfalls weitgehend unbekannt, hatte sich aber in früheren Untersuchungen insbesondere wegen der hohen Biomasseproduktion ebenfalls als interessant erwiesen.
10. *Lathyrus ochrus*(L.) DC ist zwar weniger winterhart als die anderen untersuchten Arten, aber wegen der extrem schnellen Jugendentwicklung und der frühen Blüte und Reife interessant.

Versuchsaufbau Für die 10 Arten wurde der frühestmögliche bzw. optimale Zeitpunkt für das Mulchen der Zwischenfrüchte durch Walzen oder Mähen ohne Wiederaustrieb der Zwischenfrüchte ermittelt. Zusätzlich wurden der Biomasseaufwuchs und der Unkrautanteil zum Zeitpunkt des Mulchens untersucht.

An vier Terminen wurde (a) mit der Messerwalze oder (b) mit dem Mulchmäher gemulcht. In beiden Fällen verblieb das Pflanzenmaterial auf der Fläche. In einer dritten Variante (c) wurde das Material geerntet, d. h. nach dem Schnitt abtransportiert. Der Versuch war dreifaktoriell und als Streifenanlage angelegt, wobei eine große Parzelle zusätzlich unterteilt wurde. Das Design kann daher als “Strip-Split-Plot” Anlage definiert werden. Die Streifen waren 1, 5 m breit, die Größe der einzelnen Parzellen ergab sich aus der Arbeitsbreite der Messerwalze bzw. des Mulchers und der Grüngutvollernters von jeweils 3 m. Zwischen den Streifen wurden jeweils 1, 5 m freigelassen, um eine gegenseitige Beeinflussung der Parzellen auszuschließen. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 1.2 dargestellt.

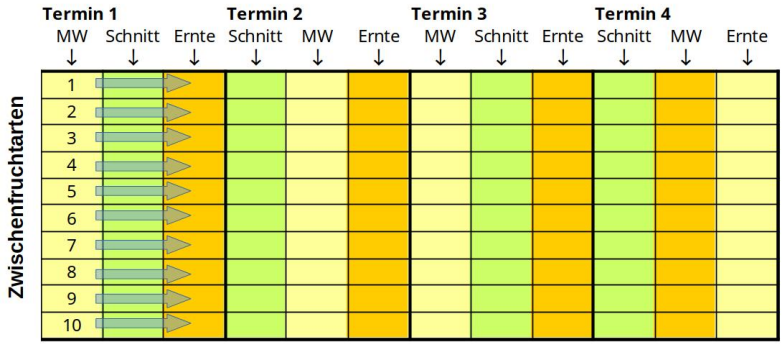


Abbildung 1.2: Aufbau des Feldversuchs im AP 2. 1, ein Wiederholungsblock. Die Pfeile geben die Bearbeitungsrichtung bzw. die Richtung der Einsaat der Zwischenfrüchte an. Liste der Akzessionen s. o. MW=Messerwalze

Die (fixen) Faktoren waren

1. Die Zwischenfruchtart als Großparzelle (Streifen)
2. der Mulchtermin (4 Termine) ebenfalls als Großparzelle (Streifen)
3. Das Mulchverfahren (Messerwalze, Mulchen nach Schnitt, Ernte) als Kleinparzelle innerhalb der Mulchtermine
4. Nach jedem Mulchen wurde die Bodenbedeckung mehrmals im Abstand von ca. 1 Woche gemessen. Als zusätzlicher Faktor wurde daher die nach dem Mulchen verstrichene Zeit in die Analyse einbezogen.

Datenerhebungen Die *Biomasse* der Zwischenfrüchte wurde durch manuelle Beerntung einer Fläche von jeweils 1 m^2, getrennt für Leguminosen und Unkräuter, ermittelt. Der *Stickstoffgehalt* in der Trockenmasse wurde an gemahlenen Proben durch Elementaranalyse (Variomax CNS, Elemantar Analysesysteme, Langenselbold, Deutschland) bestimmt. Die *Rohproteingehalte* wurden aus den Stickstoffgehalten durch Multiplikation mit

dem Faktor 6, 3 geschätzt. Die *Bodenbedeckung* wurde mehrfach durch digitale Bildauswertung nach Baresel et al. (2017) durchgeführt.

Datenanalyse Die statistischen Auswertungen wurden mit R Version 3. 4. 3 durchgeführt. (R Core Team, 2020). Lineare gemischte Modelle wurden mit dem R-Paket *"Lme4"* (Bates et al., 2015); der multiple Mittelwertvergleich wurde anschließend auf Basis der Signifikanz der paarweisen Vergleiche der adjustierten Mittelwerte mit den Paketen *ëmmeans"* (Lenth et al., 2019) und *"lmerTest"* (Kuznetsova et al., 2015) durchgeführt.

Für die Darstellung der linearen Modelle wird eine vereinfachte Notation in Anlehnung an Piepho et al. (2003) verwendet: Kategoriale Faktoren werden groß, numerische Variablen klein geschrieben. Variable Faktoren werden in Klammern geschrieben, fixe Faktoren ohne Klammern. Wechselwirkungen werden durch einen Doppelpunkt dargestellt, das Sternchen ("*") kennzeichnet Faktorkombinationen, bei denen sowohl die Haupteffekte als auch alle Wechselwirkungen in die Analyse einbezogen wurden.

Folgende *gemischte lineare Modelle* wurden verwendet:

1. Die Effekte die Biomasse, den Stickstoffgehalt, die Stickstoffaufnahme in die oberirdische Biomasse sowie das C/N-Verhältnis wurden mit folgedem Modell analysiert:

$$ZF * TM + ZF : TM + (REP) \tag{1.1}$$

   wobei ZF für die Zwischenfrucht, TM für den Schnitttermin und REP für den Wiederholungsblock steht.

2. Die Bodenbedeckung der Leguminosen nach dem Mulchen wurde mit folgendem Modell analysiert:

$$ZF * MT * TM * dn + (RP) + (RP : TM) \tag{1.2}$$

   wobei ZF für die Zwischenfrucht, TM für den Schnittermin, dn für die Zeit nach dem Schnittermin in Tagen und REP für den Wiederholungsblock steht.

AP 2. 2 Nutzungszeitpunkt und Art und Einsaatmethode für Mais

Der Versuch wurde auf der ökologisch bewirtschafteten Versuchsstation Neu- Eichenberg der Universität Kassel mit 4 Wiederholungen in den Jahren 2019 und 2020 angelegt und lief jeweils über 2 Jahre. Im ersten Jahr wurde Mais als Sommerung nach überwinternden Zwischenfrüchen angebaut, im zweiten Jahr Wintererbsen, Winterweizen im Reinanbau und Winterweizen im Mischanbau mit Wintererbsen. Bei den überwinternden Zwischenfrüchten handelte es sich um Zottelwicke, Inkarnatklee, sowie einer Mischung bestehend aus Zottelwicke und Ölrettich. Das Mulchen und die Einsaat der Hauptkultur erfolgte zu zwei Terminen im Mai (je zu Beginn und zum Ende der Blüte der Zwischenfrüchte). Je auf einer Teilfläche wurde gemulcht oder das geschnittene Material abgefahren. Die Einsaat erfolgte entweder in Direktsaat (d. h. gänzlich ohne Bodenbearbeitung), oder nach Einsatz der Flachfräse. Auf einer weiteren Teilfläche blieben die Zwischenfrüchte stehen, um die Dynamik des Krankheitsbefalls bis zur Vollreife zu untersuchen (siehe AP3).

Erfasst wurden dieselben Parameter wie in AP 2. 1., zusätzlich aber auch die Stickstoffdynamik im System Boden-Pflanze, sowie die Maiserträge und die Entwicklung der Unkrautpopulationen sowie die Erträge der Folgefrucht Weizen/ Erbse. Der Versuch war außerdem die Grundlage für die AP 3. 1 und 3. 2.

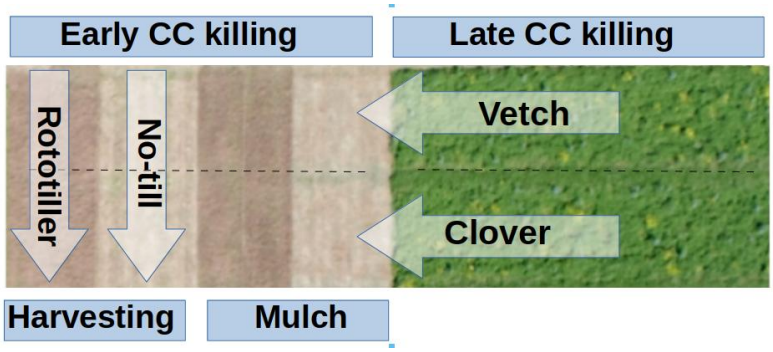


Abbildung 1.3: Aufbau des Feldversuchs, ein Wiederholungsblock. Luftbild vom 25. 05. 2020, nach der ersten und vor der zweiten Maisaussaat. Auf der linken Teilfläche wurde bereits Mais gesät, auf der rechten Teilfläche sind noch die Zwischenfrüchte zu sehen. Die Pfeile zeigen die Bearbeitungsrichtung bzw. die Einsaatrichtung an.

Auch diese Versuche wurden als Streifenanlage angelegt (s. Abb. 1.3). Die (fixen) Faktoren waren:

1. der Mulchtermin (2 Termine)
2. die Mulchmethode (Mulchen vs. Ernte, jeweils mit Direktsaat und bei oberflächlicher Bearbeitung mit der Flachfräse)
3. Die verwendete Zwischenfrucht (2 Arten und eine Mischung). Da der beigemische Ölrettich sich im ersten Jahr nur spärlich, im zweiten Jahr überhaupt nicht etablierte, beschränken sich die Analysen auf Inkarnatklee und Wicke.
4. im zweiten Jahr wurden die Parzellen noch einmal aufgeteilt um die Wirkung auf die Nachfrüchte Wintererbse, Winterweizen und Winterweizen und Wintererbse im Gemengeanbau zu prüfen.

Datenerhebungen Folgende Daten wurden in den Beständen der Zwischenfrüchte erfasst

1. Aufgang und Auswinterung
2. Biomasse der Zwischenfrüchte bei Schnitt oder Umbruch. Unkräuter im Herbst (Oktober), zu Vegetationsbeginn im Frühjahr und zum Zeitpunkt des Schnitts bzw. Mulchens (alle Versuche).
3. Die N-min-Gehalte im Boden wurden in AP 2. 2 vor der Aussaat der Zwischenfrüchte, zum Zeitpunkt der Aussaat sowie nach der Ernte der Sommerungen gemessen.
4. Die N-Gehalte in der Biomasse wurden in allen Versuchen zum Schnitt der Zwischenfrüchte bestimmt.

5. Die "Particulate Organic Matter"(POM) wurde in den Versuchen des AP 2. 2 zum Zeitpunkt der Aussaat und nach der Ernte der Sommerungen durch Fraktionierung mit Natriumpolywolframat als Maß für die leicht umsetzbare organische Substanz im Boden bestimmt (Christensen, 2001).

Bei Mais wurden außerdem erfasst:

1. Der Unkrautbesatz
2. Der Aufgang und Verlauf der Entwicklungsstadien
3. Der Ertrag und der Stickstoffgehalt im Erntegut.

Bei den Erbsen im zweiten Jahr wurden neben den Phytopathologischen Erhebungen (s. AP 3) die Kornerträge erfasst.

Datenanalyse Die verwendete Software war die gleiche wie in AP 2. 1.

Biomasse, Stickstoffgehalt, Stickstoffaufnahe in die oberirdische Biomasse sowie der Krankheitsbefall der Leguminosen wurden mit folgendem Modell analysiert:

$$ZF + TM + ZF : TM + (REP) \tag{1.3}$$

wobei ZF für die Zwischenfrucht, TM für den Schnittermin und REP für den Wiederholungsblock steht (Notation s. Beschreibung des AP 2. 1.).

Biomasse, Stickstoffgehalt, Stickstoffaufnahe in die oberirdische Biomasse des Mais, Die Erträge des nachgebauten Weizens, der Erbse sowie der Weizen-Erbsen-Mischultur sowie der Krankheitsbefall der nachgebauten Erbsen wurden mit folgendem Modell analysiert:

$$\begin{aligned} &ZF * TM * BM * BB + (YEAR) + (YEAR : REP) \\ &+(YEAR : REP + TM) + (YEAR : REP : TM : BM) \end{aligned} \tag{1.4}$$

wobei ZF für die Zwischenfrucht, TM für den Mais-Einsaattermin, BM für die Verwendung der Biomasse (Ernte bzw. Gründungung oder Mulch), BB für den Einsatz der Fräse (Direktsaat bzw. flaches Fräsen) und REP für den Wiederholungsblock steht.

1.1.7 AP 3 Phytopathologie

In diesem AP wurde der Einfluss der Zwischenfrüchte und ihre Anfälligkeit gegenüber bodenbürtigen Krankheitserregern und der Einfluss auf die Gesundheit der Folgefrüchte untersucht. Ein besonderes Augenmerk galt *Fusarium spp.* , die Mykotoxine produzieren, da dies ein Risiko auch im Tierfutterbereich sein kann und diese auch die Getreide befallen können. Die Pflanzen aus dem Feldversuch in AP2. 2 wurden beprobt, um folgende Fragen zu klären:

1. Welche Pathogene spielen bei den untersuchten Leguminosenarten zu welchem vegetativen Zeitpunkt eine Rolle?
2. Wirkt sich der Befall mit diesen Pathogenen auf den Befall des Maises sowie den darauf folgenden Erbsen als Nachfrüchte aus?

3. Wie wirken sich die Anbaustrategien, insbesondere die Bodenbearbeitung auf die Pathogene und die Mykotoxinproduzenten aus und beeinflusst die Anbaustrategie (Zwischenfruchtart, Umbruchmethode) das Überleben der bodenbürtigen Pathogene und den Befall nachgebauter Kulturen?

4. Ebenfalls wurden potentiell interessante Zwischenfrüchte, die in AP1 identifiziert wurden auf Anfälligkeit gegenüber wichtigen bodenbürtigen Pathogenen getestet.

AP 3. 1: Verlauf des Krankheitsbefalls der einzelnen Kulturen

Krankheitsbonituren An den *Zwischenfrüchten* wurde eine mehrfache quantitative und qualitative Erfassung des Krankheitsbefalls unmittelbar vor und nach dem Winter und zum Zeitpunkt der Unterdrückung vorgenommen. Jeweils 20 Pflanzen pro Parzelle wurden zufällig entnommen und visuell auf Krankheitsbefall bonitiert wie von (Pflughoeft et al., 2012) und (Šišić et al., 2018) beschrieben. Analog wurde mit den Wintererbsen im Zweiten Versuchsjahr verfahren, hier allerdings nur zu Ende des Blühstadiums.

Kulturbasierte Identifikation der Pathogenpopulationen Die Pathogene, von denen die Kulturen befallen waren, wurden jeweils am Ende der Blüte (Beim Mais während der Milchreife) mit kulturbasierten Methoden (Šišić et al., 2018) identifiziert. Die ID repräsentativer Isolate wurde durch Sequenzierung und phylogenetische Einordnung bestätigt. Die Pathogenisolierung und -identifizierung wurde nach folgendem Protokoll durchgeführt: Maisstängel und Leguminosenwurzeln wurden 2 Minuten lang in 3%igem NaOCl oberflächensterilisiert, an der Luft in der sterilbank getrocknet. Von jedem Stängel wurden drei ca. 1 cm große Stücke auf COONs-Agar ausgebracht. Die Platten wurden 15 Tage lang unter 12-stündigen Zyklen von blauem Fluoreszenzlicht und Dunkelheit bebrütet, und die auswachsenden Fusarium-ähnlichen Kolonien wurden wie oben beschrieben subkultiviert. Bei Maiskörnern wurden 30 Körner nach dem Zufallsprinzip aus dem Boden, der Mitte und der Spitze jeder Ähre ausgewählt. Diese Proben wurden 2 Minuten lang mit 0, 5%igem Natriumhypochlorit oberflächensterilisiert, ausgiebig mit sterilem Wasser gespült und 10 bis 15 Tage lang auf feuchtem Filterpapier bebrütet. Die Proben wurden täglich untersucht, und die auswachsenden Fusarium-ähnlichen Kolonien wurden auf halbfestem PDA- und SNA-Agar subkultiviert. Die Fusarienkolonien wurden gemäß Leslie and Summerell (2008) und Boerema (2004) bis zur Art identifiziert.

Der Schweregrad der Wurzelfäulnis-Symptome an Leguminosenpflanzen wurde anhand einer Bewertungsskala von 1 (gesunde Pflanze) bis 9 (abgestorbene Pflanze) bewertet (Pflughoeft et al., 2012). Die morphologische Identität von 25 repräsentativen Kolonien wurde molekularbiologisch durch Sequenzierung der Tef1-alpha-Genregion bestätigt. Genomische DNA wurde aus Kulturen isoliert, die aktiv auf ½ PDA-Agarplatten wuchsen (Šišić et al., 2018).

Quantitative Echtzeit-PCR (qRTPCR) wurde direkt in DNA-Extrakten aus Maisstängeln durchgeführt. Dabei wurden artspezifische primer für *F. graminearum, F. avenaceum, F. proliferatum* und *F. culmorum* nach den Protokollen von Sonia et al. (2018) verwendet.

AP 3. 2: Auswirkungen des Anbausystems auf das Infektionspotential des Bodens

Die Auswirkungen des Anbausystems auf das Infektionspotential des Bodens am Ende der Feldversuche wurde in Gewächshausversuchen mit Hilfe der hochempfindlichen In-

dikatorfrucht Erbse untersucht. Der Versuch wurde im Gewächshaus mit 500-ml-Töpfen durchgeführt, die mit Erde gefüllt waren, die nach der Maisernte in Versuch 2. 2 (2021) gesammelt wurde.

Jede Behandlung bestand aus fünf Wiederholungen in einem vollständig randomisierten Design, wobei vier Samen pro Topf mit der Erbsensorte Fresnel gepflanzt wurden. Mit Sand gefüllte Töpfe dienten als Kontrolle. Die Töpfe wurden im Gewächshaus bei einer Tagestemperatur von 19 ℃ und einer Nachttemperatur von 16 ℃ und einer Photoperiode von 16 Stunden Licht pro Tag gehalten. Die Pflanzen wurden nach 4 Wochen geerntet und der Pflanzenaufgang, der Schweregrad der Wurzelfäule (Pflughoeft et al., 2012) und die Biomasseparameter bewertet.

AP 3. 3: Untersuchungen zur Krankheitsresistenz der Zwischenfrüchte

Vielversprechend erscheinende Akzessionen aus den Feldversuchen im AP1 wurden unter Gewächshausbedingungen mit den am Standort etablierten Methoden auf Resistenz gegenüber wichtigen Leguminosenpathogenen getestet. (Baćanović-Šišić et al., 2018; Šišić et al., 2018). Eine Serie von Experimenten wurde zunächst mit 62 Leguminosen-Akzessionen in natürlich befallenem Feldboden (kranker Boden) durchgeführt. Die Versuche wurden im Gewächshaus unter kontrollierten Bedingungen wie oben beschrieben durchgeführt. Vor der Aussaat wurden die Samen aller Leguminosenarten auf sterilem Filterpapier vorgekeimt (48 h), und anschließend wurden zwei Pflanzen in 300-ml-Töpfe gepflanzt. Jede Behandlung bestand aus vier Wiederholungen, die in einem vollständig randomisierten Design angeordnet waren. Das Umpflanzen von vorgekeimtem Saatgut stellt jedoch eine Belastung für die Pflanzen dar, die viele der getesteten Akzessionen nicht überlebten. Von 59 vorgekeimten und in den Boden eingepflanzten Akzessionen wiesen daher nur 37 ausreichend ausgewachsene Pflanzen auf und wurden für die Analyse belassen. Dabei handelte es sich um insgesamt 37 Arten und Akzessionen, die zu sieben Leguminosengattungen gehören, nämlich Pisum (n=2), Lathyrus (n=9) und Vicia (n=20) zwei Trifolium- und Medicago-Akzessionen und eine Akzession von Melilotus und Trigonella foenum-graecum. Die Zwei Erbsensorten, die resistente EFB 33 und die anfällige Manchuria KWS, wurden als Kontrollen einbezogen. Die Messung der Biomasse und die Bewertung der Krankheiten wurden wie oben beschrieben durchgeführt.

1.1.8 AP 4: Zusammenführung, Verbreitung und Anwendung der Ergebnisse

Neben der übergreifenden Analyse der Projektergebnisse waren die Ziele dieses AP der Wissenstransfer in die Praxis (Aufbereitung und Verbreitung der Projektergebnisse) und der Wissensaustausch zwischen Wissenschaft und Praxis während der Projektlaufzeit. Die Übertragbarkeit der erwarteten Projektergebnisse auf andere Regionen oder Strukturen auch über die Projektlaufzeit hinaus ist Gegenstand des Verwertungsplans. Bei der Analyse der Ergebnisse über die Versuche hinweg werden auch die Wirkung der Zwischenfrüchte auf die Folgekultur und auf den Boden, sowie Einschränkungen ihres Anbaus durch bodenbürtige Krankheiten berücksichtigt.

Die Ergebnisse wurden und werden sowohl in wissenschaftlichen Zeitschriften als auch in populären Medien zugänglich gemacht. Dazu gehört neben Praktikerzeitschriften u. a.

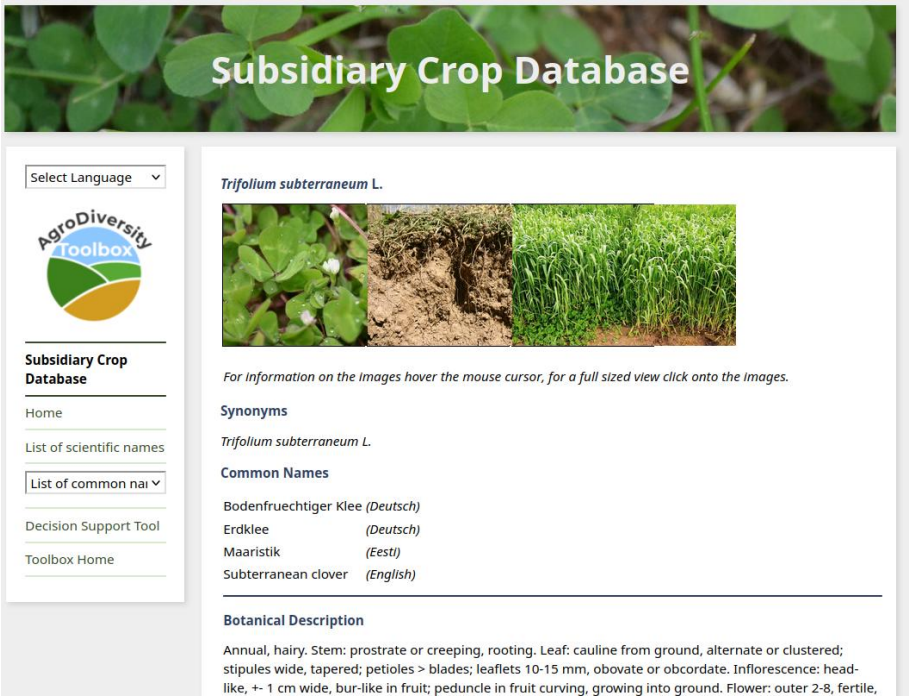


Abbildung 1.4: Die “*Agrodiversity toolbox*”, Screenshot

das Online-Tool, das im Rahmen des EU- Projekts "REMIX"[1] aufgebaut wurde („Toolbox for Agricultural Diversification“[2]. Neben Informationen für Praktiker enthält dieses auch eine Datenbank für Evaluierungsdaten pflanzengenetischer Ressourcen, die von den Antragstellern im Rahmen des EU-Projekts ÖSCAR"[3] bereits aufgebaut wurde. Diese Datenbank wurde mit den Daten von ZIL erweitert (Abb. 1.4).

Praxisrelevante Ergebnisse wurden in 2-seitigen Merkblättern kompakt dargestellt. Hierfür wurde die Vorlage verwendet, die von der GS-EPS zur Verfügung gestellt wird.

1.2 Ergebnisse

1.2.1 AP 1 Evaluierung genetischer Ressourcen

AP 1. 1 Parzellenversuche in Neu-Eichenberg

Die wichtigsten Ergebnisse der Versuche sind in den Tabellen 1.2 und 1.3 nach Arten zusammengefasst. Die Ergebnisse des Zusatzversuchs zur Saatgutproduktion sind auf Abb. 1.5 dargestellt.

Die detaillierten Mess- und Boniturdaten zu den einzelnen Akzessionen werden dem IBV der BLE für nationale und internationale Inventare und Berichte zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus werden die Ergebnisse in die „Zwischenfruchtdatenbank“ der „Agrodiver-

[1] https://www. remix-intercrops. eu/
[2] www. agrodiversity. eu
[3] https://cordis. europa. eu/project/id/289277/reporting

Tabelle 1.2: Ergebnisse des Screening-Versuchs in Neu-Eichenberg, 2020. BB: Bodenbedeckung mit Leguminosen zu Vegetationsende (in %); UK: Bodenbedeckung mit Unkräutern zu Vegetationsende (in %); BM: Biomasse zur Blüte (Bonitur 1-9); Bl: Blühbeginn (Jahrestage); AF: Neigung zu Körner- oder Hülsenausfall (Skala 1-9); F NEB: Auswinterung in Neu-Eichenberg (%); F VH: Auswinterung in Viehhausen (%).

Art	BB	UK		BM	BL	AF	F NEB	F VH
Lathyrus aphaca	25,6 abc	57,2	12	8,0 ijkl	172,0	5	10	0
Lathyrus chloranthus	10,8 abc	37,5 ab		6,3 efg	186,0	5	0	0
Lathyrus clymenum	19,3 abc	40,0 ab		8,1 ijkl	173,0	4	43	20
Lathyrus hierosolymitatus	5,0 abc	70,0 ab		5,7 def	173,0	-	0	0
Lathyrus hirsutus	5,0 abc	6,7 a		5,7 cde	186,0	5	0	0
Lathyrus nissolia	8,3 abc	68,3 ab		7,3 ghij	173,0	-	0	0
Lathyrus ochrus	22,2 bc	35,3 a		3,1 a	165,0	3	74	35
Medicago arabica	9,2 ab	77,5 b		3,0 ab	173,5	8	0	0
Medicago minima	11,7 abc	66,7 ab		3,0 ab	173,0	8	0	0
Medicago orbicularis	14,2 abc	62,5 ab		4,0 bc	173,0	8	0	0
Pisum sativum (Ökotyp)	23,2 abc	28,3 ab		9,0 ki	172,0	3	0	0
Pisum sativum cv. EFB33	24,2 abc	30,8 ab		8,8 jki	174,0	3	0	0
Scorpiurus muricatus	13,3 abc	71,7 ab		8,0 hijkl	171,0	8	0	0
Trifolium incarnatum	30,0 abc	45,0 ab		8,0 hijkl	173,0	-	0	0
Trifolium incarnatum cv. Linkarus	30,0 abc	50,0 ab		8,0 hijkl	173,0	-	0	0
Trifolium incarnatum cv. Opolska	27,5 abc	42,5 ab		7,0 fghi	173,0	-	0	0
Trifolium michelanium	33,3 abc	45,0 ab		6,3 efgh	172,0	-	0	0
Trifolium pratense	16,7 abc	63,3 ab		-	175,0	-	0	0
Trifolium subterraneum	31,7 abc	45,8 ab		6,0 defg	171,0	-	0	0
Vicia aintabensis	8,3 abc	70,0 ab		-	-	-	0	0
Vicia articulata	4,2 a	72,5 ab		-	-	-	0	0
Vicia Benghalensis	19,6 c	22,2 a		7,9 hijkl	171,0	5	10	0
Vicia Benghalensisi	33,3 abc	48,3 ab		7,7 hijkl	171,0	5	0	0
Vicia disperma	43,3 bc	36,7 a		7,0 fghi	173,0	9	0	0
Vicia ervilia	10,0 abc	68,3 ab		4,7 cd	174,0	3	0	0
Vicia faba	20,8 abc	32,5 ab		8,3 ijkl	173,0	2	0	0
Vicia hybrida	10,0 abc	80,0 ab		8,0 ijkl	174,0	-	0	0
Vicia Johannis	11,7 abc	66,7 ab		-	173,0	-	0	0
Vicia Michauxii	5,0 abc	68,3 ab		-	174,0	-	0	0
Vicia monantha	10,0 abc	76,7 ab		-	173,0	-	0	0
Vicia narbonensis	20,8 abc	31,7 ab		5,2 cde	171,0	4	0	0
Vicia Pannoinica	20,0 abc	35,0 ab		9,0 kl	170,0	6	0	0
Vicia peregrina	18,3 abc	61,7 ab		-	173,0	-	0	0
Vicia sativa	27,4 c	35,0 a		8,7 ki	173,0	6	0	0
Vicia sativa cv. Berninova	25,8 bc	23,3 ab		9,0 kl	172,0	6	0	0
Vicia villosa	32,5 abc	51,7 ab		8,0 ijkl	179,0	3	0	0
Vicia Villosa	30,6 abc	50,0 ab		8,0 ijkl	179,0	3	0	0
Vicia Villosa cv. Villana	33,3 abc	50,0 ab		7,7 hijkl	176,0	3	0	0

Tabelle 1.3: Ergebnisse des Screening-Versuchs in Neu-Eichenberg, 2021. BB: Bodenbedeckung mit Leguminosen zu Vegetationsende (in %); UK: Bodenbedeckung mit Unkräutern zu Vegetationsende (in %); BM: Biomasse zur Blüte (Bonitur 1-9); Bl: Blühbeginn (Jahrestage); AF: Neigung zu Körner- oder Hülsenausfall (Skala 1-9); F NEB: Auswinterung in Neu-Eichenberg (%); F VH: Auswinterung in Viehhausen (%)

	BB	UK	BM	BL	SA	F NEB	F VH
Lathyrus Aphaca	32,6 bc	6,0 bc	6,2 ab	178,2 ab	49,6 ab	0	0
Lathyrus chloranthus	3,7 ab	6,3 abc	5,6 ab	190,9 b	90,5 abcd	0	0
Lathyrus clymenum	36,1 c	4,4 abc	7,7 b	179,1 ab	163,3 de	9,5	4,1
Lathyrus hirsutus	19,1 abc	5,6 abc	6,0 ab	193,4 b	89,5 abcd	0	0
Lathyrus ochrus	9,9 a	6,7 c	4,4 a	169,0 a	10,2 a	9,5	8,5
Medicago arabica	14,8 abc	5,4 abc	3,1 a	183,0 ab	26,0 abc	0	0
Medicago orbicularis	4,8 ab	4,8 abc	3,1 a	186,0 ab	26,0 abc	0	0
Pisum sativum	20,3 abc	2,2 a	8,6 b	174,7 ab	251,2 g	0	0
Trifolium incarnatum	6,4 ab	2,4 abc	7,1 ab	180,0 ab	-	0	0
Trifolium michelanum	2,4 a	4,8 abc	6,1 ab	175,0 ab	-	0	0
Trifolium pratense	3,0 ab	6,3 abc	5,1 ab	185,9 ab	-	0	0
Trifolium subterraneum	20,0 abc	4,8 abc	6,7 ab	175,0 ab	-	0	0
Vicia benghalensis	19,8 abc	2,6 ab	7,9 b	182,7 ab	148,1 de	0	0
Vicia pannonica	22,3 abc	2,8 a	7,7 b	176,7 ab	127,8 cd	0	0
Vicia sativa	15,7 ab	3,0 a	7,7 b	181,3 b	149,8 de	0	0
Vicia villosa	30,0 bc	2,6 a	7,6 b	179,6 ab	113,4 bcd	0	0
Spät	9,5 a	4,2	6,2	180,6	100,2	0,5	-
Früh	23,1 b	4,6	6,3	180,7	107,3	1,4	-

sity Toolbox“[4], die vom Berichterstatter in Vorgängerprojekten entwickelt wurde, eingepflegt.

Die *Vorwinterentwicklung* war insbesondere bei den Gattungen *Vicia, Lathyrus* sowie bei den Erbsen und bem Inkarnatklee ausreichend, um im Herbst eine weitgehende Bodenbedeckung zu gewährleisten. Dies war jedoch nur bei den frühen Aussaatterminen der Fall, bei den späteren blieb der Boden im Winter weitgehend unbedeckt. Dies wurde jedoch im Frühjahr aufgeholt, so dass sich die gebildeten Biomassen nicht wesentlich unterschieden.

Da beide Winter relativ mild waren, kam es zu keinen nennenswerten Auswinterungen. Am frostempfindlichsten war *Lathyrus aphaca*, die in beiden Jahren geschädigt wurde, wenn auch keine Totalausfälle zu verzeichnen waren. Diese Art ist daher für deutsche Verhältnisse eher ungeeignet. Auch *Lathyrus clymenum* ist frostempfindlich, wenn auch weniger als *L. ochrus*. *L. aphaca* weist eine gute Frosthärte auf, aber eine der Herkünfte aus wärmeren Regionen erlitt im Jahr 2020 Frostschäden.

Die *Biomasse* war bei den *Vicia*- und *Lathyrus*-Arten sowie bei den Erbsen am höchsten. Eine mediterrane Erbsenakzession war hinsichtlich der Biomasse der Kontrolle gleichwertig. Die Spätsaat führte zu keiner signifikanten Verringerung der Biomasse.

Besonders empfindlich gegen Verunkrautung waren die *Medicago* und Teilweise auch die *Trifolium* -arten, sowie einige der *Vicia*-arten, die nur im ersten Jahr geprüft wurden (Da diese Arten bereits im Vorgängerprojekt OSCAR[5] geprüft wurden, konnten sie

[4] http://vm193-134. its. uni-kassel. de/toolbox/SC_DB_home. php
[5] https://cordis. europa. eu/project/id/289277/reporting/

schon nach dem ersten Jahr ausgesondert werden). Trotz des zum Teil sehr hohen Unkrautdrucks am Versuchsstandort konnten sich die *Lathyrus* und einige der *Vicia*-arten gut durchsetzen. Insbesondere kleinwüchsige Unkräuter wie Vogelmiere oder Ackerehrenpreis waren im Herbst und frühen Frühjahr reichlich vorhanden, wurden aber im Anschluss von den Leguminosen verdängt. Ausdauernde Unkräuer wie die Ackerkratzdistel, Quecken oder Ampfer waren am Versuchsstandort nur geringfügig vertreten.

Als besonders verunkrautungsempfindlich erwiesen sich die *Medicago*- und teilweise auch die *Trifolium*-Arten sowie einige der *Vicia*-Arten, die nur im ersten Jahr geprüft wurden (da diese Arten bereits im Vorgängerprojekt OSCAR geprüft wurden, konnten sie bereits nach dem ersten Jahr ausgeschieden werden). Trotz des teilweise sehr hohen Unkrautdrucks auf der Versuchsfläche konnten sich die *Lathyrus* und einige der *Vicia*-Arten gut durchsetzen. Vor allem kleinwüchsige Unkräuter wie Vogelmiere oder Acker-Ehrenpreis waren im Herbst und zeitigen Frühjahr reichlich vorhanden, wurden dann aber von den Leguminosen verdrängt. Ausdauernde Unkräuter wie Ackerkratzdistel, Quecke oder Ampfer waren auf dem Versuchsstandort nur wenig vertreten.

Hinsichtlich des *Blühzeitpunktes* unterschieden sich die meisten der untersuchten Akzessionen nicht wesentlich; am frühesten blühten *T. subterraneum* und *L. ochrus*, am spätesten *Lathyrus hirsutus* und *Lathyrus chlorantus*.

Die Saatgutproduktion war bei den *Vicia*- und *Lathyrus*-Arten zufriedenstellend, während insbesondere die *Medicago*-Arten zu Hülsenverlusten neigen. Die Saatgutproduktion von *Erdklee* erfordert eine spezielle Technik und ist in unseren Breiten schwierig.

Potential einer Ernte und Nutzung des Aufwuchses der Winterzwischenfrüchte Die Ausbeute an extrahierbarem Protein lag bei Material, dass vor der Blüte geerntet wurde im Schnitt bei ca. 19%, beim Material, dass nach der Blüte geerntet wurde bei ca. 10% (Tab. 1.4 und 1.5. Es konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Ausbeute bei den einzelnen Arten festgestellt werden. Die Proteine wurden mit der hier verwendeten einfachen Schneckenpresse nicht vollständig extrahiert, etwa 30% verblieben im Pressrückstand, etwas mehr bei Material, dass vor der Blüte geerntet wurde. Durch Verbesserung der Extraktionsverfahren könnte die Proteinausbeute erhöht werden. In unseren Versuchen wurden bei den Leguminosen 40-60 dt Trockenmasse geerntet, was bei dieser Ausbeute 4 - 6 dt/ha reinem extrahierbaren Protein entspricht. Die Proteinerträge von Körnerleguminosen liegen bei Proteingehalten von 20 - 15% und Erträgen von 30-40 dt/ha bei 6 - 10 dt/ha, allerdings bei geringerer biologischer Wertigkeit der Proteine. Da durch die Nutzung von Zwischenfrüchten ja nur eine Lücke genutzt wird und neben den Zwischenfrüchten eine vollwertige Hauptfrucht angebaut werden kann, ist eine derartige Nutzung im Hinblick auf die derzeit bestehende Proteinlücke in der Tierernährung ser interessant, es müssenaber noch verschiedene technologische und logistische Probleme gelöst werden.

1.2.2 AP 2 Leguminosen im Anbausystem

AP 2. 1 Feldversuche zur Phänologie und zu den Nutzungszeitpunkten

Überwinterung, Phänologie, Frühentwicklung *Lathyrus ochrus* zeichnete sich durch eine besonders schnelle Etablierung aus, ebenso wie der Erdklee. Bei *Lathyrus aphaca* und *T. michelaum* war die Jugendentwicklung eher langsam. In beiden Jahren waren

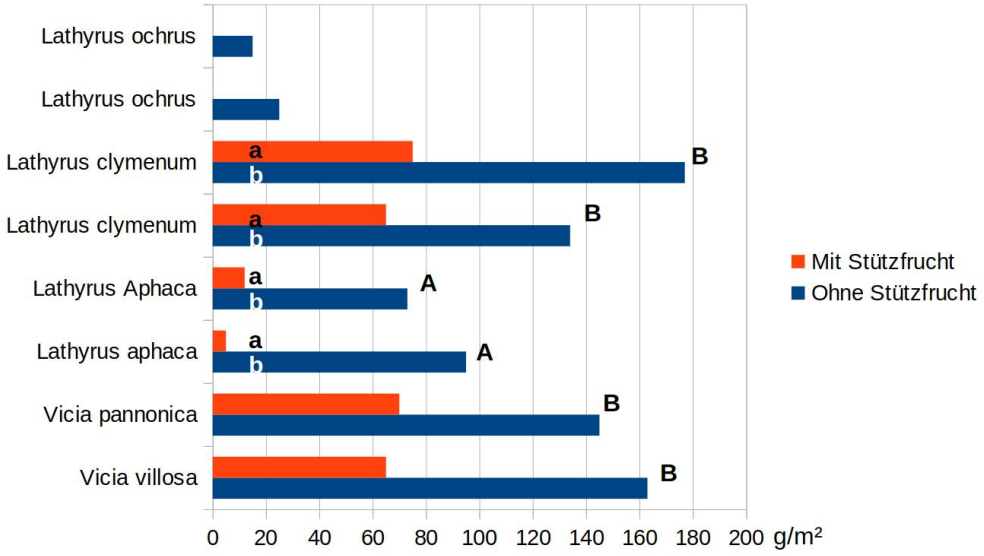


Abbildung 1.5: Ergebnisse des Zusatzversuches zur Saatgutproduktion. Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0, 05) zwischen den Zwischenfruchtarten, Kleinbuchstaben Unterschiede zwischen dem Anbau mit und ohne Stützfrucht.

Tabelle 1.4: Effekte der Pflanzenart (A) und des Entwicklungsstadiums (E) auf die Proteinausbeute (PA) und Auf den Anteil der Extrahierbaren Proteinen (EP) am Gesamtproteingehalt. Ergebnisse der Varianzanalysen, F- und P-Werte. FG=Freiheitsgrade

		Ausb.		**Extr. Prot.**	
	FG	*F*	*P*	**F**	*P*
A	9	0,13	1,00	0,31	0,95
E	1	0,68	0,43	6,39	**0,04**
A x E	7	0,15	0,99	0,20	0,98

Tabelle 1.5: Ausbeute an Rohprotein im Pressaft von Verschiedenen Leguminosenarten, bezogen auf die Gesamt-Trockenmasse und Anteil der Extrahierbaren Proteine am Gesamtprotein in zwei Entwicklungsstadien (Vegetatives Stadium und Ende der Blüte)

	Ausbeute		**Extrahierb. Proteine**	
	Veget.	Blüte	Veget.	Blüte
L,aphaca		8,9		57,0
L,clymenum	16,0	13,9	58,4	67,7
L,ochrus		5,8		42,9
P,sativum	20,9	8,1	74,1	63,7
T,subterraneum	17,9	10,6	66,4	58,6
V,benghalensis	19,5	14,1	65,1	57,0
V,faba	15,7	7,8	63,0	61,6
V,pannonica	20,8	6,9	73,1	44,1
V,sativa	24,3	3,4	78,1	31,0
V,villosa	20,4	9,9	74,0	37,6

die Winter relativ mild, so dass es zu keinen vollständigen Auwinterungen kam Im Jahr 2020 kam es zu einem Spätfrost, der die Bestände von *Lathyrus ochrus* und in geringerem Maße auch von *L. clymenum* schädigte. Die früheste Blüte wurde beim Erdklee (*T. subterraneum*) und bei *Lathyrus ochrus* beobachtet, die späteste bei *Lathyrus aphaca*. Die Unterschiede waren jedoch gering (mit Ausnahme von *L. ochrus*), so dass nicht zu erwarten ist, dass unterschiedliche Blühzeiten einen wesentlichen Einfluss auf den Wiederaustrieb nach Mulchen haben (s. a. die Ergebnisse des AP 1. 1).

Biomassen ud N-Aufnahme Die statistischen Effekte der Zwischenfruchtart und des Schnittzeitpunktes auf die Biomasse, den N-Gehalt, die N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse, das C/N-Verhältnis und die Unkrautbiomasse sind in Tabelle 1.6 dargestellt (Varianzanalyse und Mittelwertvergleich).

Die ANOVA zeigte einen signifikanten Effekt der Art und erwartungsgemäß einen positiven Trend für den Erntezeitpunkt. Die Leguminosenbiomassen lagen je nach Schnittzeitpunkt und Art in beiden Jahren zwischen 30 und 60 dt/ha. Die größten Biomassen wurden von den Wickenarten (*V. villosa* und*V. pannonica*), aber auch vom Inkarnatklee (*T. incarnatum*) gebildet. Die Biomassen von *L. ochrus* und *L. clymenum* waren im Jahr 2020 vergleichsweise niedrig, da die Bestände aufgrund von Frostschäden lückig waren.

Die N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse lag zwischen 120 und 200 kg/ha. Die höchsten N-Aufnahmen wurden mit 180-200 kg/ha bei den Wicken (*V. villosa* und *V. pannonica*) sowie beim Inkarnatklee festgestellt.

Bei *L. ochrus* war die N-Aufnahme gering (im Mittel 80 kg/ha), was zum einen auf die kurze Vegetationsdauer und zum anderen auf Frostschäden an den Beständen zurückzuführen ist. Die als Kulturpflanze bisher unbekannte *Lathyrus aphaca* war sowohl in der Biomassebildung als auch in der N-Aufnahme mit den etablierten Arten Zottelwicke und Ungarische Wicke vergleichbar. *Trifolium michelanum* und Erdklee (*T subterraneum*)

Tabelle 1.6: Leguminosen- und Unkrautbiomassen (TM, g/m²), N-Gehalte (N, %), N-Aufnahmen (NU, g/m²), C/N-Verhältnisse (CN) und Unkrautbiomassen (UK, g/m²) der untersuchten Leguminosen zu 4 Schnittzeitpunkten (T1-T4)

	TM		**N**		**NU**		**CN**		**UK**	
ANOVA	*F*	*p*	*F*	*p*	*F*	*p*	*F*	*p*	*F*	*p*
Art	5,74	0	3,17	0,001	5,92	0	4,30	0	1,30	0,24
Termin	6,91	0,073	1,57	0,361	6,62	0,054	0,81	0,565	1,07	0,48
Art:Termin	1,24	0,208	0,67	0,89	0,98	0,499	0,65	0,907	0,97	0,516
Mittelwerte nach Arten										
L,aphaca	570	bcd	3,08	ab	16,9	abcd	14,02	ab	84,6	a
L,ochrus	296	a	3,13	ab	8,9	a	15,09	abc	118,1	a
P,sativium	516	bcd	3,40	ab	15,9	abcd	14,10	ab	75,6	a
T,incarnatum	627	d	2,86	a	18,2	cd	16,45	bc	66,3	a
T,michelanum	358	ab	3,36	ab	10,8	abc	14,88	abc	72,8	a
T,subterraneum	417	abc	2,69	a	10,4	ab	18,02	c	102,1	a
V,faba	498	abcd	3,34	ab	15,9	abcd	13,94	ab	71,5	a
V,pannonica	613	cd	3,22	ab	19,9	d	14,78	abc	87,7	a
V,villosa	530	bcd	3,67	b	19,4	d	12,54	a	50,1	a
Mittelwerte nach Schnitterminen										
T1	324	a	3,44	1	11,0	1	13,80	1	54,7	a
T2	418	a	3,27	1	13,9	1	14,39	1	69,8	a
T3	620	a	3,04	1	18,3	1	15,75	1	108,8	a
T4	583	a	3,04	1	16,8	1	15,50	1	93,5	a

nahmen deutlich weniger Stickstoff auf als *Vicia* und *Lathyus* -arten.

Die N-Gehalte lagen bei Wicken, Erbsen und Ackerbohnen mit 3 bis 3, 5% deutlich höher als bei Erdklee und Inkarnatklee (2, 7 bis 2, 8%). Die C/N-Verhältnisse lagen zwischen 12, 5 bei der Zottelwicke und 18 beim Erdklee, der sich zu den Schnittzeitpunkten in einem fortgeschritteneren Entwicklungsstadium befand. Mit fortschreitendem Schnitttermin stiegen erwartungsgemäß die Biomasse und die N-Aufnahme an.

Wirksamkeit der Unterdrückung der Zwischenfrüchte Die statistischen Effekte der Zwischenfruchtart, des Mulchzeitpunktes, des Mulchtermins und der Mulchmethode (Walzen vs. Mulchmäher vs. Biomasse ernten) auf die Bodenbedeckung zu verschiedenen Zeitpunkten bzw. der Wiederbegrünung nach dem Mulchen bzw. Mähen sind in Tab. 1.7 und Abb. 1.6 dargestellt (ANOVA und Mittelwertvergleich). Darüber hinaus gab es signifikante Wechselwirkungen zwischen der Art der Zwischenfrüchte und dem Mulchverfahren sowie zwischen dem Zeitpunkt des Mulchens und dem Mulchverfahren.

Alle Hauptfaktoren hatten signifikante Effekte auf den Bodenbedeckungsgrad:

Wie zu erwarten, nahm der Bodendeckungsgrad, der kurz nach dem Mähen bzw. Mulchen nahe Null lag, in den folgenden Wochen wieder zu (Wiederbegrünung), was durch den signifikanten Effekt des Faktors "dn"(Tage nach dem Mulchen) bestätigt wird.

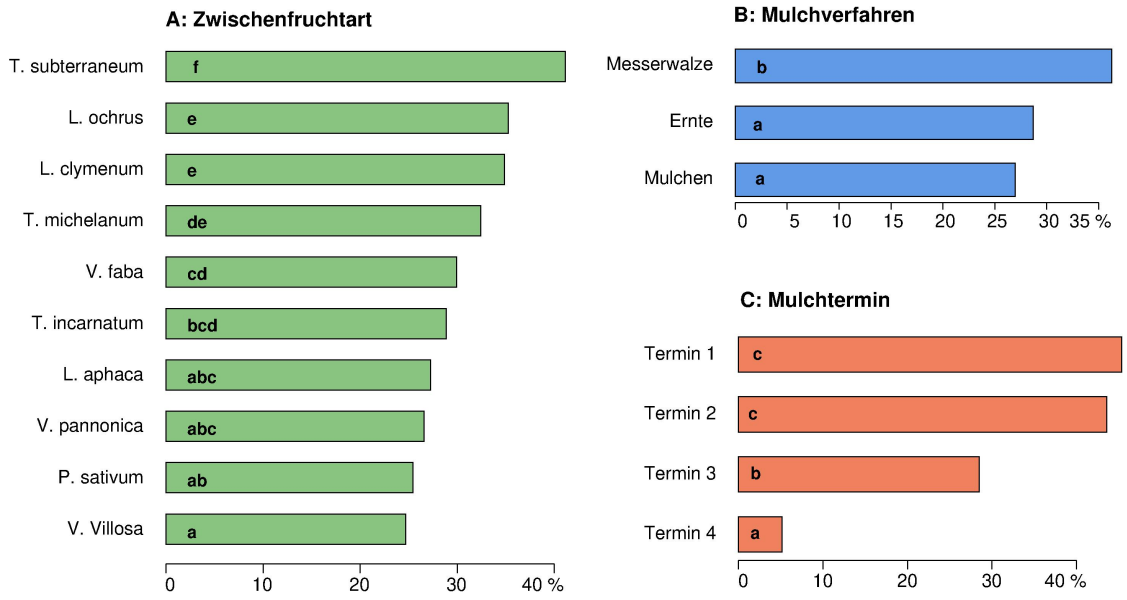
Wie stark bzw. wie schnell diese Zunahme war, hing sowohl von der *Mulchmethode* als auch vom *Zeitpunkt des Mulchens* und von der *Art der Zwischenfrucht* ab. Die stärkste Wiederbegrünung war beim Einsatz der Messerwalze zu verzeichnen, insbesondere bei den früheren Mulchterminen, was darauf zurückzuführen ist, dass die meisten Zwischenfruchtarten in den früheren Entwicklungsstadien leichter nachwachsen. Beim Schnitt war der Aufwuchs im Allgemeinen geringer, als beim Einsatz der Messerwalze und dabei in den Parzellen, in denen das Material abgefahren wurde etwas höher Bei frühem Mulchen erfolgte die Wiederbegrünung schneller als bei spätem Mulchen, wobei diese Abhängigkeit beim Einsatz der Messerwalze stärker ausgeprägt war als beim Mähen. Die Wiederbegrünung hing wesentlich von der Zwischenfruchtart ab: Wicken, Lathyrus und Erbsen waren am leichtesten mechanisch zu unterdrücken, während sich dies bei den Kleearten, insbesondere beim Erdklee, als wesentlich schwieriger erwies.

Unkrautunterdrückung Bei der Beurteilung der Unkrautunterdrückung durch Zwischenfrüchte muss zwischen der Unkrautunterdrückung während der Vegetation und nach dem

Tabelle 1.7: Effekte der Versuchsfaktoren auf die Bodenbedeckung zu verschiedenen Zeitpunkten, AP 2.1; Ergebnisse der Varianzanalyse

	Sum Sq	**Mean Sq**	**NumDF**	**DenDF**	**F value**	**Pr(>F)**
Zwischenfrucht (ZF)	67595	7510,5	9	2544,7	30,7	< 2,2e-16 ***
Mulchverfahren (MV)	42757	21378,6	2	2543,4	87,5	< 2,2e-16 ***
Mulchtermin (MT)	42322	14107,3	3	16,8	57,7	4,724e-09 ***
ZF:MV	4169	231,6	18	2543,4	0,9	0,5198
ZF:MT	30762	1139,3	27	2546,6	4,7	2,765e-14 ***
MV:MT	10588	1764,6	6	2543,4	7,2	1,178e-07 ***
ZF:MV:MT	8656	160,3	54	2543,4	0,7	0,9755

Abbildung 1.6: Adjustierte Mittelwerte der Bodenbedeckung über einen Zeitraum von 28 Tagen, AP 2.1 (s. Tab. 1.7. Effekte der Zwischenfruchtart, des Mulchverfahrens und des Mulchtermins. Buchstaben kennzeichnen Unterschiede zwischen den Behandlungsstufen mit einem p-Wert < 0, 05.



Schnitt oder Mulchen unterschieden werden. Während der Vegetation werden Unkräuter durch Konkurrenz oder Allelopathie unterdrückt. Nach dem Mulchen können Unkräuter je nach Art wieder austreiben oder aus der Samenbank des Bodens nachwachsen, was je nach Leguminosenart und damit Mulchwirkung und/oder Allelopathie unterschiedlich stark ausgeprägt sein kann.

Die Unkrautbiomasse während der Vegetation zu den Schnittzeitpunkten lag zwischen 50 und 130 kg/ha und der Unkrautanteil an der oberirdischen Biomasse zwischen ca. 10 und 20%. Tendenziell niedrigere Unkrautbiomassen wurden bei Zottelwicke und Inkarnatklee und besonders hohe Unkrautanteile bei Erdklee und *Lathyrus ochrus* beobachtet, was im letzteren Fall auf Spätfrostschäden zurückzuführen ist. Eine Abhängigkeit des Unkrautanteils vom Schnittzeitpunkt kann mit unseren Daten nicht nachgewiesen werden, was aber auch auf die starke Variabilität und Abhängigkeit von der Witterung zurückzuführen ist.

Die oben beschriebene Wiederbegrünung nach dem Mulchen war zum Teil auf den Wiederaustrieb der Leguminosen und zum Teil auf den Wiederaustrieb bzw. die Etablierung von Unkräutern aus Samen zurückzuführen. Der Anteil der Unkräuter ist in Abb. 1.7 dargestellt. Ein höherer Unkrautanteil war aufgrund der Frostschäden und der damit verbundenen Lückigkeit der Bestände bei *Lathyrus ochrus* und *L. clymenum* sowie aufgrund des geringeren Wuchses und der damit verbundenen geringeren Konkurrenzkraft auch bei Erdklee zu verzeichnen. Die Unkrautunterdrückung nach dem Mulchen war bei den Wickenarten besonders ausgeprägt, was durch die starke Konkurrenzwirkung vor dem Mulchen, die starke Mulchwirkung sowie durch allelopathische Effekte erklärt werden kann.

In beiden Jahren konnte bestätigt werden, dass die Wirksamkeit des Mulchens stark von

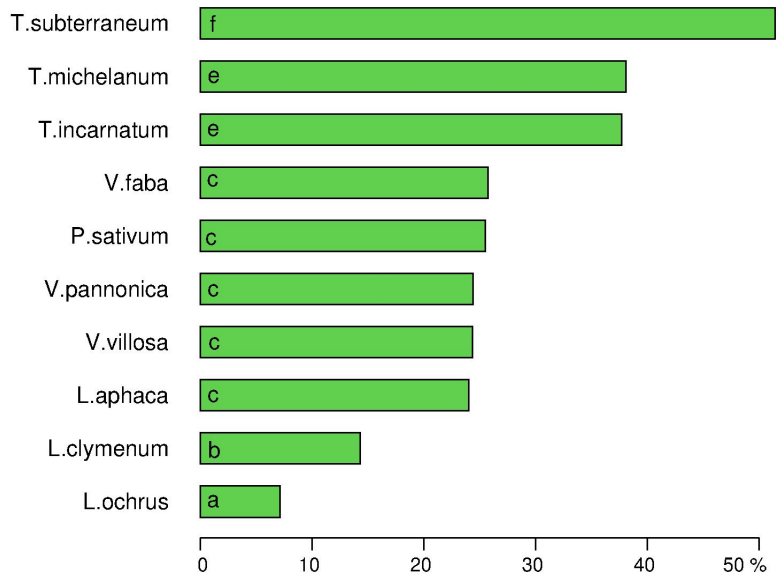


Abbildung 1.7: Anteil der Leguminosen an der Bodenbedeckung 28 Tage nach dem Mulchen, AP 2.1. Adjustierte Mittelwerte über alle Mulchtermine. Die Buchstaben kennzeichnen Unterschiede mit einem p-Wert < 0, 05.

der Zwischenfruchtart, der verwendeten Methode und dem Zeitpunkt abhing. Als am wenigsten wirksam erwies sich die Messerwalze, die, wenn überhaupt, nur bei Grünerbse, Wicken und Ackerbohne zur Anwendung kommen kann, und dies auch nur bei späteren Mulchterminen. Wirksam ist dagegen das Abmähen, wobei es sowohl für den Wiederaufwuchs als auch für die die Etablierung von Unkräutern weniger wichtig ist, ob die Biomasse als Mulch oder Gründünger auf dem Feld verbleibt oder nicht. Bei frühen Mulchen bzw. Mähen war der Wiederaufwuchs erwartungsgemäß stärker als bei späteren Terminen. Frühes Mulchen ist vor allem bei den Vicia- und Lathyrus- Arten möglich, während die Klee-Arten bei frühen Mulchterminen nicht hinreichend kontrolliert werden konnten, was insbesondere beim Erdklee der Fall war. Die geernteten (oder als Mulch verwendeten) Biomassen waren zum 3. Schnitttermin am höchsten. Da auch unterirdisch erhebliche Mengen Stickstoff gebunden werden, könnte die Verwendung als Mulch oder Gründünger wegen der hohen N-Einträge ökologisch problematisch werden. Die Verwendung als Mulch oder Gründünger sollte daher zu einem möglichst frühen Zeitpunkt (Anfang Mai) erfolgen. Bei einer Ernte und anschließender Verwertung der ZF erscheint ein etwas späterer Zeitpunkt, etwa Ende Mai bis Anfang Juni, in Abhängigkeit vom Zeitbedarf der anschließenden Sommerung sinnvoll.

Die oberirdische Biomasse der Zwischenfrüchte lag je nach Art und Schnittermin zwischen 15 und 30 t/ha Frischmasse oder 3 – 7 t/ha Trockenmasse (Abb. **??**). Die N-Gehalte betrugen 2, 6- 4%, die C/N-Verhältnisse lagen zwischen 12 und 16. Um Unkräuter wirksam zu unterdrücken werden von Praktikern Mulchschichten von bis zu 8 cm empfohlen, was einer Mulchmenge von 15t/ha Trockenmasse entspricht. Diese Mengen wurden von den Zwischenfrüchten nicht erreicht. Allerdings ist bei einer Verwendung als In-Situ-Mulch nicht nur die Bodenbedeckung durch den Mulch, sondern in erster Linie die vorherige Unkrautunterdrückung durch die Zwischenfrüchte sowie z. T. auch eine allelopathische Wirkung der Leguminosen (Geddes et al., 2015) wirksam. Da der Boden kaum

bewegt wird, werden Unkrautsamen wenig zur Keimung angeregt, so dass sich insgesamt in den meisten Fällen eine hinreichende Unkrautkontrolle ergab, insbesondere bei den Vicia und Lathyrus –arten (s. a. Abb. 1.8).

Es konnte gezeigt werden, dass die Parzellen bei einigen Zwischenfrüchten, insbesonder *Vicia*- und *Lathyrus*-arten 2 Wochen und mehr weitgehend ohne Bewuchs durch Unkräuter oder Wiederaufwuchs der Zwischenfruchtleguminosen blieben. Dies war auch bei einer Beerntung der Zwischenfrüchte der Fall; die Mulchschicht spielt für die Unkrautkontrolle also nicht die Hauptrolle. Nur im Versuch 2. 2 im Jahr 2021 kam es infolge starker Niederschläge zu einer vermehrten Keimung von Unkräutern, die durch den Mais jedoch soweit unterdrückt werden konnten, so dass zufriedenstellende Erträge erzielt wurden.

AP 2. 2 Nutzungszeitpunkt und Art und Einsaatmethode für Mais

Leguminosenbiomasse, N. Aufnahme and C/N-Verhältnis Die Leguminosentrockenmasse war bei beiden Zwischenfrüchten ähnlich und lag im Mittel beim ersten Schnitt bei 300-600 g/m^2 und beim zweiten Schnitt bei 400-700 g/m^2. Der Unkrautanteil an der geernteten Biomasse war insgesamt gering und lag sowohl beim ersten als auch beim zweiten Schnitt durchweg unter 10%. Unterschiede in der Unkrautunterdrückung zwischen den beiden Zwischenfrüchten konnten nicht nachgewiesen werden, was aber auch auf die starke Streuung zurückzuführen ist (s. Tab. 1.8). Die Leguminosen nahmen im Mittel ca. 120-150 kg/ha Stickstoff in die oberirdische Biomasse auf. Die N-Aufnahme war bei der Zottelwicke um ca. 20% höher als beim Klee und beim zweiten Schnitt nicht signifikant höher als beim ersten.

Maiserträge und N-Aufnahme Die Auswirkungen der Versuchsfaktoren auf die Maiserträge und N-Gehalte sind in Tab. 1.9 dargestellt. Für alle Versuchsfaktoren konnten signifikante Effekte nachgewiesen werden: (a) die Zwischenfruchtart, (b) der Zeitpunkt der Zwischenfruchtnutzung und der Einsaat der Sommerung, (c) die Verwendung des Grünmaterials als Gründünger oder Mulch sowie (d) ein oberflächliches Fräsen vor der Maiseinsaat.

Nach Inkarnatklee als Zwischenfrucht waren die Erträge trotz hoher Gesamt-N-Aufnahme deutlich geringer als nach Wicke (siehe auch Abb. 1.9). Der Grund ist hier vor allem im höheren C/N-Verhältnis zu suchen, verstärkt durch einen teilweise höheren Besatz mit Ungräsern, die das C/N-Verhältnis ebenfalls erhweitern.

Eine späte Aussaat wirkte sich tendenziell negativ auf den Ertrag aus und brachte keine Vorteile hinsichtlich des Aufwuchses, d. h. auch bei früher Aussaat kam es zu keinem nennenswerten Aufwuchs, der die Entwicklung des Maises beeinträchtigt hätte.

Auffällig ist, dass die Nutzung der Biomasse als Mulch oder Gründüngung nur einen vergleichsweise geringen Einfluss auf den Ertrag und die N-Aufnahme hatte. Die N-Aufnahme in die oberirdische Maisbiomasse wurde dadurch nur um ca. 20-25 kg/ha reduziert. Das Schicksal der verbleibendem Menge ist unklar; es konnten keine erhöhten Gehalte an N_{min} zur Zeit der Maisernte festgestellt werden. Insbesondere bei der Verwendung als Mulch, sind N-Verluste in Form von Ammioniak- oder Lachgasemissionen möglich, die im Rahmen dieser Studie nicht bestimmt werden. Lachgas ist ein starkes Treibhausgas und kann von Mulchen aus Grünmaterial in beträchtlichen Mengen abgegeben werden Larsson et al. (1998)

Abbildung 1.8: Unkrautunterdrückung durch Zottelwicke, mit und ohne Beerntung, 1 und zwei Wochen nach dem Schnitt; Direktsaat von Mais in Wickenmulch

Tabelle 1.8: Leguminosentrockenmasse, N-gehalt und C/N-Verhältnis in Abghängigkeit von der Zwischenfruchtart und vom Schnittzeitpunkt, AP 2.2; Ergebnsse der Varianzanalyse und Mittelwertvergleich

				ANOVA				
	TM		**N-Gehalt**		**C/N**		**N-Aufnahme**	
	F	p	F	p	F	p	F	
Zwischenfrucht (ZF)	0,97	0,33	3,54	0,07	9,27	**0,01**	0,00	0,95
Umbruchtermin (TM)	9,58	**0,00**	0,02	0,9	0,05	0,83	7,48	**0,01**
ZF:TM	0,02	0,88	0,53	0,47	3,16	0,09	**0,00**	0,98
				Adjustierte Mittelwerte				
	TM		**N-Gehalt**		**C/N**		**N-Aufnahme**	
Inkarnatklee	490,9	a	2,79	a	16,6	a	138,8	a
Zottelwicke	552,3	a	3,17	a	13,8	b	138,2	b
Früher Schnitt	410,9	a	3,00	a	15,1	a	120,1	a
Später Schnitt	532,2	b	2,97	a	15,3	a	155,9	a

Tabelle 1.9: Auswirkungen der Zwischenfruchtart (CC), des Umbruch/Mulchtermins (TM), der Gründüngung (BM), der flachen Bodenbearbeitung (RT) und ihren Wechselwirkungen auf Maistrockenmasse, Mais-N-Gehalt und oberirdische N-Aufnahme. A: ANOVA-Ergebnisse: F- und p-Werte; B: adjustierte Mittelwerte. Wehselwirkungen sind nicht dargestellt, da nicht nachweisbar.

ANOA	**Trockenmasse**		**N-Gehalt**		**N-Aufnahme**	
	F	p	F	p	F	p
Zwischenfrucht (CC)	7,13	**0,01**	6,88	0,23	1,45	**0,01**
Mulchtermin (TM)	1,61	0,23	0,09	0,09	3,34	0,77
Verwendung d,Biomasse (BM)	0,17	0,69	0,20	0,84	0,84	0,66
Fräse (RT)	7,94	**0,01**	4,48	0,96	0,00	**0,03**
B,Least Squares Means						
Zwischenfrucht						
Klee	1425	a	1,04	1	146	1
Wicke	1819	b	1,07	1	197	2
Umbruch/Mulchtermin						
Früh	1778	a	0,99	1	167	1
Spät	1466	a	1,12	1	176	1
Verwendung der Biomasse						
Ernte	1669	a	1,05	1	164	1
Mulch/GD	1575	a	1,06	1	180	1
Einsaatmethode Mais						
Fräse	1402	a	1,05	1	149	1
Direktsaat	1842	b	1,06	1	194	2

Den größten Effekt auf die Maiserträge hatte die flache, flache Bearbeitung vor der Saat im Vergleich zur Direktsaat.

Die flache Bodenbearbeitung, die einer Flächenkompostierung gleichkommt, wirkte sich im Vergleich zur Direktsaat mit und ohne Einarbeitung von Grünmaterial in allen Fällen positiv auf den Ertrag aus. Mögliche Gründe hierfür sind (a) ein besserer Feldaufgang durch ein besseres Saatbett bei den gefrästen Varianten (b) technische Unzulänglichkeiten bei der Direktsaat auf dem sehr kompakten Boden des Versuchsstandortes (c) eine bessere Mineralisierung der organischen Substanz beim Einsatz der Fräse.

Weizen- und Erbsenerträge und -gesundheit Das hier im Detail untersuchte Anbausystem für Sommerungen muss sinnvoll in eine Gesamtfruchtfolge integriert werden. Besonders problematisch ist die Frage, welche Kultur auf eine Sommerung folgen soll. Grundsätzlich kann dies wieder eine überwinternde Zwischenfrucht oder eine Winterung sein, für die u. a. Wintergetreide oder Körnerleguminosen wie Wintererbse in Frage kommen. Begrenzend wirken bei Wintergetreide die Stickstoffversorgung und bei Körnerleguminosen fruchtfolgehygienische Aspekte. Bei begrenzter Stickstoffversorgung ist auch der Mischanbau von Getreide und Körnerleguminosen interessant (Timaeus et al., 2022), der die Abhängigkeit vom Reststickstoff verringert und den Krankheitsdruck auf die Leguminosen reduziert. Daher wurde der Versuch im Anschluss an den Mais fortgesetzt und die Wirkung auf nachfolgende Wintererbsen, Winterweizen und Erbsen und Weizen im Mischanbau untersucht.

Der Anbau von Wintererbsen führte zu einer relativ engen Abfolge von Leguminosen, die nur für wenige Monate durch die Sommerung unterbrochen wurde. Eine solche Fruchtfolge wird aus Gründen der Fruchtfolgehygiene in der Regel nicht empfohlen. Andererseits zeigen unsere bisherigen Ergebnisse, dass die untersuchten Zwischenfruchtleguminosen bis zum Zeitpunkt der Nutzung nur geringfügig infiziert waren, so dass es nahe liegt, dass sie als Überträger nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Um dies zu überprüfen, wurde mit der Wintererbsensorte “Fresnell” bewusst eine Nachfrucht gewählt, die vergleichsweise empfindlich auf Pilzinfektionen reagiert. Die Erbsenerträge lagen im Jahr 2021 bei guter Bestandesgesundheit im Jahr 2021 bei 2, 3 t/h und im Jahr 2022 bei 4 t/ha, was im Rahmen der im Ökolandbau üblichen Erträge liegt. Inwieweit sich asymptomatische Infektionen ertragsmindernd auswirkten, konnte nicht ermittelt werden.

Die wichtigsten Fusarium-Arten, die bei Weizen Krankheitssymptome hervorrufen oder zur Mykotoxinbelastung des Erntegutes führen können, sind die Arten *F. culmorum* und *F. graminearum*. Beide Arten konnten in den beiden Versuchsjahren in 14-26% der Maisstängel nachgewiesen werden. In den Zwischenfrüchten vor Mais konnte *F. graminearum* gar nicht und *F. culmorum* nur in wenigen Individuen nachgewiesen werden. Die Zwischenfrüchte sind somit nicht an der Übertragung dieser Pilze beteiligt, eine Übertragung durch den Mais ist jedoch möglich. Die Weizenbestände zeigten keine Anzeichen von starkem Fusariumbefall wie z. B. Weißährigkeit.

Die Erträge und die Auswirkungen der Versuchsfaktoren sind in den Tabellen 1.10 und 1.11 dargestellt.

Die Weizenerträge lagen mit 2, 9 t/ha bzw. 3, 7 t/ha im Bereich des bundesdeutschen Durchschnitts, aber unter dem durch die Klima- und Bodenverhältnisse gegebenen Potential. Die *'Land Equivalent Ratio"* (LER) betrug 1, 17 im Jahr 2021 und 1, 04 im Jahr

Abbildung 1.9: Mais nach Inkarnatklee (A) und Zottelwicke (B), 2020

2022 (Tab. 1.10). Die Mischbestände im vorliegenden Versuch waren infolge der Witterungsbedingt späten Einsaat vom Weizen dominiert, der Anteil von Erbsen betrug weniger als 10% Der einzige Versuchsfaktor, für den ein Effekt auf den Ertrag nachgewiesen werden konnte (und auch hier nur begrenzt auf die Erbse), war das Fräsen der Zwischenfrüchte vor der Maisaussaat, das sowohl die Erbsenerträge im Gemenge als auch in Reinkultur erhöhte (Tab. 1.11). Mögliche Gründe dafür sind eine bessere Unterdrückung durch die Einarbeitung organischer Substanz und die damit verbundene Stimulierung der Bodenmikroflora.

In unseren Versuchen konnten trotz der Leguminosenzwischenfrüchte zufriedenstellende Erträge bei Erbsen erzielt werden. Die N-Verfügbarkeit wirkte sich jedoch limitierend auf die Weizenerträge aus. Eine Verbesserung kann durch den Gemengeanbau mit Körnerleguminosen, wie in unserem Fall Erbsen, erreicht werden. Allerdings war der Erbsenanteil im Gemenge relativ gering; eine Weiterentwicklung des Anbausystems sollte daher auf eine Erhöhung des Körnerleguminosenanteils abzielen.

N-Dynamik Einen Überblick über die Dynamik der drei erfassten Stickstofffraktionen im Boden und in der pflanzlichen Biomasse gibt Abb. 1.10. N_{mim} wurde zu allen Terminen bestimmt, die Biomasse zu den Schnittterminen der Zwischenfrüchte und des Maises, POM nur zu Vegetationsbeginn und zu den Schnittterminen der Leguminosen. Die POM-Gehalte unterlagen zumindest im Jahr 2021 einer jahreszeitlichen Dynamik, die durch das Wachstum (und damit den Eintrag organischer Substanz in den Boden) erklärt werden kann. Die N-Menge in POM war größer als der mineralische Stickstoff im Boden. Auffallend ist, dass die Entfernung der oberirdischen Leguminosenbiomasse nur eine vergleichsweise geringe Abnahme der N-Aufnahme durch den Mais zur Folge hatte.

Neben der Biomasse waren zum Zeitpunkt des Umbruchs der Zwischenfrüchte noch 30 - 40 kg/ha mineralischer Stickstoff und 120 - 200 kg/ha Stickstoff in der partikulären

Tabelle 1.10: Erträge von Weizen und Erbsen in Monokultur und in Mischungen (kg/ha)

	2021	**2022**
Weizen Monokultur	2,914	3,728
Erbse Monokoltur	2,252	4,0201
Weizen Mischanbau	2,974	3,323
Erbse Mischanbau	199	612
Mischung gesamt	3,163	0,3939
Land Equivalent Ratio (LER)	1,17	1,g04

Tabelle 1.11: Erträge von Erbsen und Weizen in Monokultur und in Mischungen; Ergebnisse der Varianzanalyse (F- und P-Werte) . Es werden nur die Haupteffekte gezeigt, da keine signifikanten Wechselwirkungen nachgewiesen werden konnten. Der einzige signifikante Effekt war der der Bodenbearbeitung, der in der folgenden Tabelle dargestellt ist (in kg/ha

ANOVA	**Pea**		**Pea in Mix**		**Pea,%**	
	F	P	F	P	F	P
Cover crop	0,89	0,356	0,87	0,354	0,07	0,793
Termination date	4,89	0,064	2,04	0,167	1,71	0,201
Use of Biomass	0,24	0,623	0,23	0,636	2,18	0,151
Rototilling	8,86	**0,004**	5,52	**0,022**	8,11	**0,006**
Effect of Rototilling,yield in kg/ha						
Rototilling	3,295	a	451	a	0,122	a
No rototilling	2,971	b	368	b	0,099	b

organischen Substanz im Boden vorhanden. Das C/N-Verhältnis der POM lag zwischen 14 und 16, die POM ist also gut umsetzbar und kann mittelfristig zur N-Ernährung der Pflanzen beitragen. Die Summe der beiden N-Pools im Boden und in der pflanzlichen Biomasse betrug zum Zeitpunkt des Umbruchs bzw. Mulchens der Zwischenfrucht 250 - 350 kg/ha. Davon wurden ca. 140 kg vom nachfolgenden Mais und weitere 60 - 70 kg vom nachfolgenden Weizen aufgenommen.

(Abb. 1.10).

Im Boden wurden sowohl die N_{min}-Gehalte als auch die “partikuläre organische Substanz” (POM) gemessen. Bei letzterer handelt es sich um die freie Fraktion (Kölbl and Kögel-Knabner, 2004; Kölbl et al., 2005), die nicht in Tonpartikeln (Lehmann and Kleber, 2015) eingeschlossen ist oder Komplexe mit Tonmineralien bildet. Die in unseren Versuchen extrahierte partikuläre organische Substanz hatte ein C/N-Verhältnis von 14-15% und ist damit eine mikrobiell leicht umsetzbare Fraktion, die auch kurzfristig zur Stickstoffversorgung der Kulturen beitragen kann. Die Konzentration an organischem C in den Böden der Versuchsstation Neu-Eichenberg liegt zwischen 1 und 1, 5%. Etwa 5-6 des Gesamtgehalts an organischem C und 4-5% des N im Boden wurden mit POM erfasst. Die POM-Gehalte lagen in ähnlichen Größenordnungen wie bei den Untersuchungen von Kölbl and Kögel-Knabner (2004).

Zum Teil konnte eine deutliche jahreszeitliche Dynamik der POM nachgewiesen werden, die aber nicht allein durch Pflanzenwachstum und mikrobiellen Abbau erklärt werden kann, sondern offensichtlich im Austausch mit den anderen Fraktionen der organischen Substanz steht. Dabei handelt es sich in erster Linie um die stabilere Fraktion der organischen Substanz, die vor allem aus okkludiertem POM (Kölbl and Kögel-Knabner, 2004; Kölbl et al., 2005) sowie der an Tonpartikel gebundenen Fraktion besteht. Diese stabilere Fraktion ist jedoch wesentlich dynamischer, als dies lange Zeit für die stabilere (Humus-) Fraktion im Boden angenommen wurde (Lehmann and Kleber, 2015). Die POM hilft damit zwar, die Dynamik des Stickstoffs im Boden besser zu verstehen, unsere Ergebnissen sprechen aber nicht dafür, dass sie geeignet ist um eine (annähernde) Stickstofbilanz zu erstellen oder N-Fixierungsraten zu schätzen.

1.2.3 AP 3 Phytopathologische Untersuchungen

AP 3. 1: Verlauf des Krankheitsbefalls der Zwischenfrüchte

Ein wesentlicher Grund, der den Anbau von Leguminosen als Zwischenfrucht oder Hauptfrucht einschränkt, ist die Selbstunverträglichkeit und die Rolle vieler Leguminosen als Überträger von Pilzkrankheiten. In unseren Versuchen wurden daher die Krankheitssymptome in allen Folgekulturen erfasst und die Erreger identifiziert.

Krankheitssymptome der Leguminosen An den Leguminosen konnten bis zum Zeitpunkt des Schnitts bzw. des Umbruchs keine Symptome von Blattkrankheiten beobachtet werden. Auch die Kleewurzeln und Wurzelansätze waren zu allen Boniturterminen weitgehend gesund (Boniturnote 1, 2 bei einer Skala von 1 bis 9, also praktisch ohne sichtbare Symptome). Die Wickenwurzeln zeigten zwar erkennbare Wurzel-und Stengelverfärbungen, aber immer noch eine sehr niedrige Symptomschwere (Boniturnote 2-3). Eine Auswirkung auf die Biomasseerträge ist bei dieser Befallsstärke erfahrungsgemäß nicht zu erwarten und konnte auch nicht nachgewiesen werden.

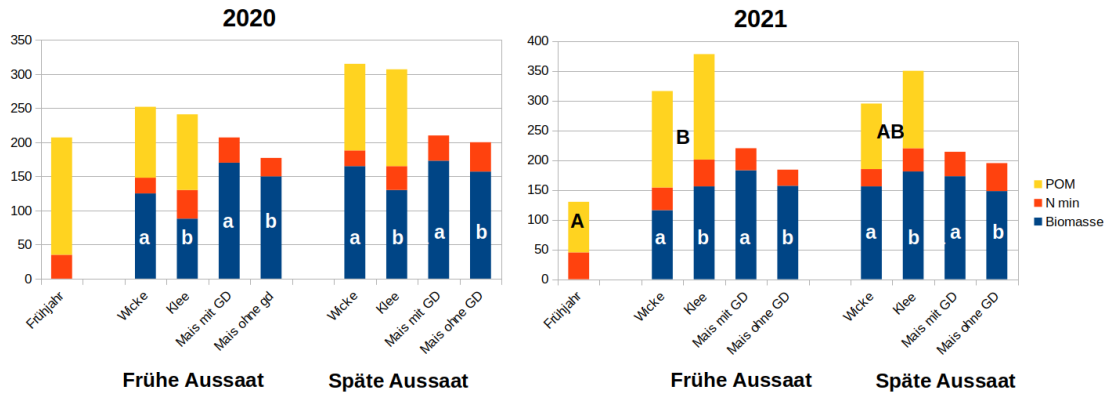


Abbildung 1.10: Übersicht über die Entwicklung der 3 wichtigsten N-Fraktionen: N_{min}, N in der partikulären organischen Substanz und N in der Biomasse. GD=Gründüngung. Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Terminen (Vegetationsbeginn, erster und zweiter Mulch- bzw. Einsaattermin), Kleinbuchstaben zwischen den Zwischenfrüchten (Wicke vs. Klee) bzw. zwischen den Behandlungen (mit und ohne GD).

Tabelle 1.12: Mittlere Schweregrade der Fußkrankheiten bei den Zwischenfrüchten in Abhängigkeit vom Feldversuch (ZIL 1 und ZIL 2) und den Probenahmedaten (AP 3. 1).

	2019/20				**2020/21**			
Pflanzenarten	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	n3
Klee	1,22	1,1	1,0	1,3	1,3	1,0	1,1	3186
Wicke	2,0	3,2	2,8	2,7	1,3	1,8	2,3	1568
Mischung	2,3	3,0	2,3	-	1,4	2,3	-	1103

Identifikation der Pathogene in den Leguminosen Von den insgesamt 5800 Leguminosenpflanzen, die visuell auf den Schweregrad der Wurzelfäule untersucht wurden, wurde eine Teilmenge von 1253 Klee- und Wickenwurzeln zufällig ausgewählt und für die Pathogenisolierung verwendet (381/354 Klee- und 275/243 Wickenwurzeln). Daraus wurden nur 219 Pilzisolate gewonnen, die durch zwei *Didymella*-Arten und sieben *Fusarium*-Arten repräsentiert wurden. Diese eher geringe Wurzelinfektionsrate (ca. 17%) spiegelt das allgemein gesunde Erscheinungsbild der beprobten Pflanzen wider (Tabelle 1.12).

Die meisten der gefundenen Isolate gehörten jedoch zur Art *Didymella pinodella* (ca. 55% der Isolate und ca. 10% der Gesamtbesiedlung der Wurzeln), während die anderen identifizierten Pilzarten nur durch wenige Isolate mit Gesamtbesiedlungsraten der Wurzeln von ca. 2% und weniger vertreten waren.

Nach Ausschluss der Arten mit geringem Vorkommen aus der weiteren Analyse zeigte die ANOVA signifikante Effekte des Versuchsjahres, der Leguminosen-Deckfrucht und des Probenahmedatums auf die Häufigkeit der Isolierung von *D. pinodella*, einschließlich signifikanter Wechselwirkungen zwischen Versuch und Deckfrucht sowie Deckfrucht und Probenahmedatum. Im Allgemeinen trat die Art in Versuch 1 (ca. 16% besiedelte Wurzeln) häufiger auf als in Versuch 2 (ca. 2% besiedelte Wurzeln) und besiedelte Wicken (ca. 15%) häufiger als Kleewurzeln (ca. 6%) (P<0, 0001 für alle Vergleiche) (Tabelle 2). Der Zeitpunkt der Probenahme hatte ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf das Vorkommen dieser Art, wobei bei der ersten Probenahme keine oder nur eine sehr geringe Besiedlungshäufigkeit auftrat und die Besiedlungshäufigkeit mit den folgenden Probenahmeterminen im Laufe der Vegetationsperiode allmählich zunahm (Tabelle 1.13 und Abbildung 1.11).

Fusarium-Arten in Maiskörnern Während des zweijährigen Zeitraums wurden insgesamt 23. 400 Körner analysiert, von denen 230 Fusarium-Isolate 11 verschiedener Fusarium-Arten gewonnen werden konnten. Die Gesamtinzidenzen waren extrem niedrig und lagen je nach Fusariumart zwischen 0, 04 und 0, 16% der infizierten Körner. Von den 230 so gewonnenen Isolaten wurden 35% (81 Isolate) im Jahr 2020 und die restlichen 64% (149 Isolate) Jahr 2021 gefunden. *Fusarium graminearum* und *F. proliferatum* wiesen in beiden Jahren eine ähnliche relative Häufigkeit auf. Diese beiden Arten stellten

Tabelle 1.13: Zusammenfassung der ANOVA-Ergebnisse für die Auswirkungen des Versuchs (ZIL1 und ZIL2), des Probenahmedatums (siehe Tabelle 1) und der Leguminosen-Zwischenfrucht auf die Befallshäufigkeit

Faktor	SQ	FG	F -Wert	P- Wert
Jahr	51152	1	61,0	<0,0001 ***
Schnittzeitpunkt	109477	3	43,5	<0,0001 ***
Zwischenfrucht	26893	1	32,0	<0,0001 ***
Jahr: Schnittzeitpunkt	206	2	0,12	0,88
Jahr: Zwischenfrucht	3689	1	4,40	0,037 *
Schnittzeitpunkt:Zwischenfrucht	13493	3	5,36	0,002 **
Jahr: Schnittzeitpunkt:Zwischenfrucht	5167	4	1,54	0,19

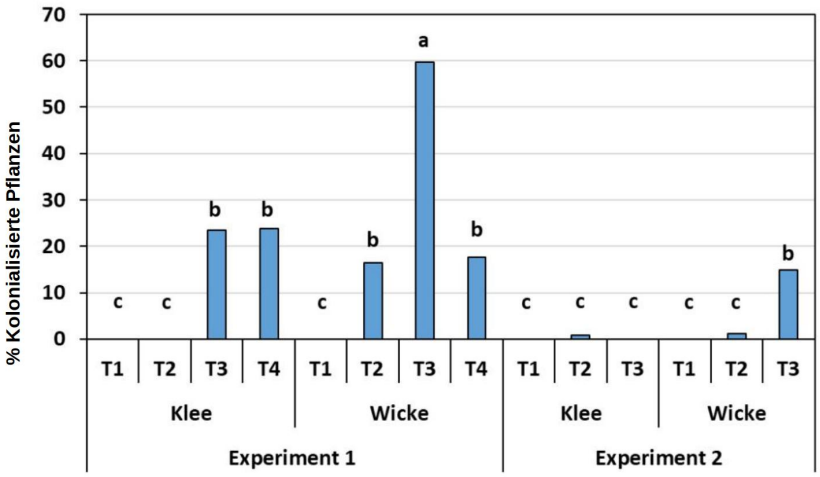


Abbildung 1.11: Auswirkung des Zeitpunkts der Probenahme auf die Häufigkeit der Isolierung von D. pinodella aus 1253 untersuchten Klee- und Wickenwurzeln. Stichprobendatum: (2019/2020; ZIL 1) - T1 = 15. 11. 2019; T 2 = 18. 03. 2020; T3 = 08. 05. 2020; T4 = 19. 06. 2021; Experiment 2 (2020/2021; ZIL 2) - T1 = 26. 11. 2020; T2 = 08. 4. 2021; T3 = 10. 05. 2021.

28% (*F. graminearum*) bzw. 15% (*F. proliferatum*) der Fusariumisolate in Versuch 1 und 22% bzw. 13% der Isolate in Versuch 2. Die Arten *F. culmorum* und *F. crookwalense/F. sambucinum* wurden hauptsächlich im Jahr 2020 nachgewiesen, wobei beide eine relative Häufigkeit von 20% aufwiesen. Das Gegenteil war bei *F. aveanceum* zu beobachten, die in Versuch 2 mit 43% aller Isolate gegenüber nur 7% in Versuch 1 als vorherrschende Fusarium-Art nachgewiesen wurde (Abbildung 1.12). Die übrigen *Fusarium*-Arten waren durch wenige Isolate vertreten, darunter *F. poae* (relative Häufigkeit 8, 7%), *F. equiseti* (3, 5%), *F. tricinctum* (3, 0%), *F. verticillioides* (0, 9%) sowie *F. oxysporum* und *F. redolens* (0, 4%) (Daten nicht gezeigt).

Pathogene an Maisstängeln Über die Jahre wurden insgesamt 742 Isolate von 14 verschiedenen Fusarienarten aus 625 untersuchten Maisstängeln (320 Stängel 2020 und 305 Stängel 2021) gewonnen. Es gab signifikante Variationen in der Isolationshäufigkeit (d. h. dem Prozentsatz kolonisierter Pflanzen) in Abhängigkeit von der Pathogenart und dem Versuchsjahr sowie signifikante Wechselwirkungen zwischen Pathogen und Versuchsjahr und Pathogen und Leguminosen-Zwischenfrucht Abb. 1.13. Dagegen waren die Gesamteffekte der Leguminosen-Zwischenfrucht, des Mulch- oder Schnittzeitpunktes der Leguminosen und der Bodenbearbeitung auf die Häufigkeit der Pathogenisolation nicht signifikant, ebenso wenig wie die Interaktionen Pathogen:Bodenbearbeitung oder Pathogen: Zwischenfrucht.

Am häufigsten wurden *Fusarium proliferatum* (24% kolonisierte Pflanzen), *F. culmorum* (22%), *F. avenaceum* (18%) und *F. graminearum* (17%) gefunden, zwischen denen kein signifikanter Unterschied in der Gesamthäufigkeit der Isolate bestand. Diese vier Arten machten 69% aller gefundenen Isolate aus. Es folgte *F. equiseti* mit weiteren 10% der Isolate und einer Gesamtisolationsrate von 12%. Darüber hinaus wurden die folgenden neun Fusarium-Arten ebenfalls in den beprobten Pflanzen gefunden, jedoch mit Isola-

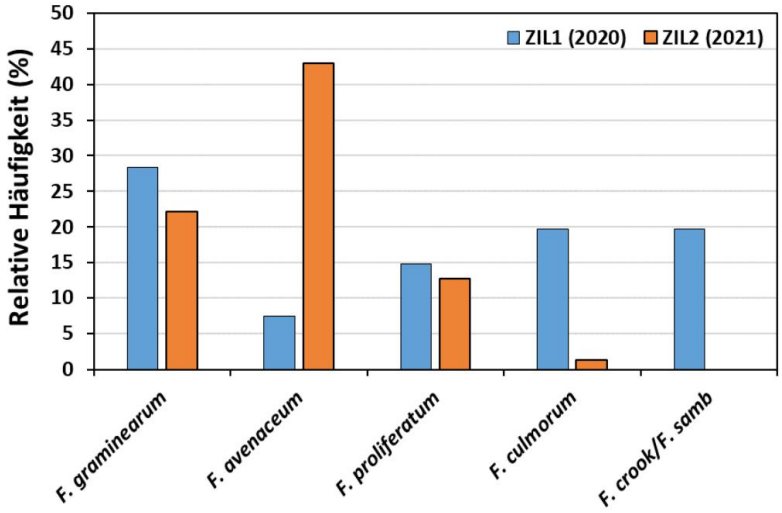


Abbildung 1.12: Relative Abundanz der fünf häufigsten Fusarienarten, die aus Maiskörnern gewonnen wurden in beiden versuchsjahren. Gesamtzahl der analysierten Maiskörner/Gesamtzahl der Fusarienisolate – 2020=14400/81; 2021=9000/149.

tionshäufigkeiten von 9% oder weniger: *F. tricinctum* (9% besiedelte Pflanzen); *F. sambucinum* und *F. crookwellense* (ca. 4% besiedelte Pflanzen); *F. oxysporum*, *F. poae* und *F. sporotrichioides* (ca. 2% besiedelte Pflanzen) und *F. redolens, F. subglutinans* und *F. verticillioides* mit weniger als 1% besiedelter Pflanzen (Abildung 1.13).

Bei der Analyse der Daten für alle Jahre wurde im Gegensatz zu den Maiskörnern in Versuch 1 (Versuchsjahr 2020; 345 Isolate von 320 Stängeln; 345/320) eine höhere Anzahl an Fusarienisolaten gefunden als in Versuch 2 (Versuchsjahr 2021; 244/305). Dies ist hauptsächlich auf die höheren Besiedlungsraten von *F. proliferatum, F. equiseti* und *F. culmorum* in Jahr 2020 im Vergleich zum Jahr 2021 zurückzuführen.

Die Besiedlungsraten von *F. avenaceum* (P=0, 7) und *F. graminearum* (P=0, 2) waren in beiden Versuchsjahren ähnlich. Eine gewisse Variation wurde zwischen den Arten beobachtet, wobei *F. graminearum* (14%) im Jahr 2020 die niedrigste Isolationshäufigkeit aufwies, während *F. proliferatum* (30%) und *F. culmorum* (26%) dominierten. Im Jahr 2021 war die Isolationshäufigkeit von *F. equiseti* besonders niedrig (3%), während die anderen vier Arten in ähnlicher Häufigkeit isoliert wurden (18-21%) (A).

Die signifikanten Wechselwirkungen zwischen Pathogen und Zwischenfrucht (P=0, 04), die durch die ANOVA gezeigt wurden, waren hauptsächlich auf eine höhere Gesamtisolationshäufigkeit von *F. culmorum* in Maispflanzen vor Wicke (P=0, 040) im Vergleich zu Klee und auf den umgekehrten Trend bei *F. avenaceum* (P=0, 036) zurückzuführen. Die anderen drei Fusarium-Arten zeigten eine gewisse Variabilität in der Isolationshäufigkeit in Abhängigkeit von der verwendeten Zwischenfrucht, aber diese Unterschiede waren statistisch nicht signifikant (B).

AP 3. 2: Auswirkungen des Anbausystems auf das Infektionspotential des Bodens

Die Wirkung auf nachfolgende Wintererbsen wurde sowohl in einem Gefäßversuch mit Boden aus dem Feldversuch als auch direkt im Feld untersucht. Die Gefäßversuche

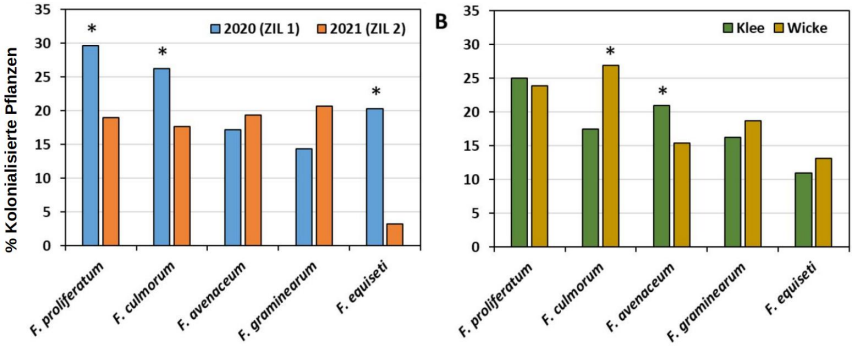


Abbildung 1.13: Auswirkungen des Versuchsjahres (A) und der Leguminosen-Zwischenfrucht (B) auf die Häufigkeit der Isolierung der fünf häufigsten Fusarienarten, die aus Maisstängeln gewonnen wurden. Das Sternchen kennzeichnet einen signifikanten Unterschied (paarweise Vergleiche).

wurden mit unterschiedlich behandelten Böden (Leguminosen-Zwischenfruchtanbau, Bodenbearbeitung und Mulchzeitpunkt) aus den Versuchen durchgeführt. Als Kontrolle diente pathogenfreier Sand. Als Testsorte wurde die besonders krankheitsanfällige Erbsensorte „la Mancha“ verwendet. Der Versuch wurde mit 5 Wiederholungen und vollständiger Randomisierung angelegt. Erfasst wurde der Aufgang, die Infektionsschwere und die Trockenmasse der Pflanzen nach 4 Wochen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1.14 dargestellt.

Ein etwas aber statistisch signifikant höherer, Schweregrad der Krankheitssymptome wurde bei Erbsenpflanzen beobachtet, die nach Wicken (mittlerer Schweregrad 3, 7) angebaut wurden, verglichen mit Klee (mittlerer Schweregrad 3, 0), während der Zeitpunkt des Einfräsens bzw. Mulchens der Zwischenfrucht oder die Bodenbearbeitung keinen signifikanten Einfluss auf diesen Parameter hatten. Die ANOVA (Ergebnisse nicht gezeigt) zeigte keinen Gesamteffekt der Leguminosen-Zwischenfruchtart, des Umbruchzeitpunktes oder der Bodenbearbeitung oder ihrer Wechselwirkungen auf den Erbsenaufgang und das Frisch- oder Trockengewicht der Pflanzen nach vier Wochen Wachstum. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass der Erbsenaufgang bei allen Behandlungen stark reduziert war und je nach Behandlung zwischen 28% und 72% im Vergleich zur Sandkontrolle (90% Gesamtaufgang) betrug. (Abbildung 1.14).

Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Ergebnissen zum Krankheitsverlauf der Zwischenfrüchte, bei denen der Befall mit Didymella und Fusarium spp. durchweg sehr gering war und von den verschiedenen Versuchsfaktoren nicht beeinflusst wurde, was sich auch in den Nachwirkungen widerspiegelt.

Befall der nachfolgenden Körnererbse Die Bedigungen in Gefäßversuchen weichen in vieler Hinsicht von Feldbedingungen ab, Im Feldversuch wurde die Befallsstärke zudem kurz nach der Blüte, also deutlich später als im Gewächshausversuch ermittelt. Hier waren die Erbsen weitgehend gesund: die Symptome an der Sprossbasis und an den Wurzeln bei den Erbsen waren nur schwach ausgeprägt (1 – 3 auf der Bonitursskala). Ein Einfluss der Versuchsfaktoren auf die Ausprägung der Symptome war ebenfalls nicht nachweisbar. Allerdings konnte im Jahr 2021 gezeigt werden, das auf den Kontrollparzellen, auf denen die Leguminosen ihren Wachstumszyklus ungestört beenden konnten

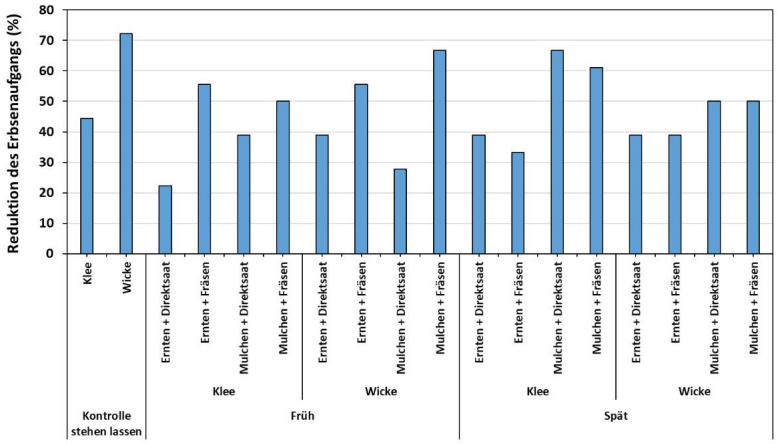


Abbildung 1.14: Aufgang von Erbsenpflanzen im Vergleich zur Sandkontrolle, die in Böden gepflanzt wurden, die dem Versuch im AP 2. 2 nach der Maisernte entnommen wurden. Die gesammelten Böden zeichnen sich durch unterschiedliche Bewirtschaftungsmethoden aus (Leguminosen-Zwischenfrucht, Bodenbearbeitung und Zeitpunkt der Beendigung der Leguminosen-Zwischenfrucht). Die ANOVA zeigte keine Auswirkungen der Bodenbearbeitung (Daten nicht gezeigt).

und auf denen die Fruchtfolge nicht durch den Mais aufgelockert wurde, die Häufigkeit des Auftretens von Symptomen an den Wurzeln deutlich und statistisch signifikant höher war als bei den Schnittvarianten mit anschließendem Nachbau von Mais.

Risiko einer Übertragung von Fruchtfolgekrankheiten durch die Zwischenfrüchte
Im Vergleich zu Mais und Erbsen war die Infektionsrate bei den Zwischenfrüchten sehr gering. Alle Fusarium-Arten, die in den Zwischenfruchtleguminosen nachgewiesen wurden, konnten auch in den Maisstängeln gefunden werden. Allerdings waren die Infektionsraten (und nach den Symptomen zu urteilen auch die Infektionsintensität) so gering, dass die Rolle der Zwischenfruchtleguminosen bei der Übertragung dieser Pilze eher als gering einzuschätzen ist. Trotz relativ hoher Infektionsraten in den Maisstängeln war die Besiedlung der Kolben mit Fusarium spp. sehr gering, so dass in diesen Beständen nicht mit Problemen durch Mykotoxine im Erntegut zu rechnen war. Insgesamt deuten die bisherigen Ergebnisse darauf hin, dass die Fruchtfolge (a) Winterwicke oder Inkarnatklee als Zwischenfrucht, (b) Sommerung (Mais) und (c) Wintererbse durchaus praktikabel ist. Anders als z. B. bei Körnerleguminosen oder mehrjährigem Kleegras berichtet, ist das Risiko einer Übertragung von Fruchtfolgekrankheiten durch früh genutzte Zwischenfrüchte gering, da diese bis zum Nutzungszeitpunkt nur gering befallen sind und in den Zwischenfrüchten und im Mais jeweils unterschiedliche pilzliche Schaderreger dominieren.

Wirkung auf nachfolgende Kulturen

AP 3. 3: Untersuchungen zur Krankheitsresistenz der Zwischenfrüchte

Hierzu wurden zusätzliche Gewächshausversuche durchgeführt, und zusammen mit den früheren Ergebnissen ausgewertet. Die Versuche wurden in einem natürlich befallenem

Feldboden durchgeführt und umfassten einschließlich der beiden Referenzsorten insgesamt 37 Arten und Akzessionen, die zu den Leguminosengattungen *Pisum* (n=2), *Lathyrus* (n=9) und *Vicia* (n=20), zwei *Trifolium*- und *Medicago*-Akzessionen sowie eine Akzession von *Melilotus* und *Trigonella foenum-graecum*. Die Pflanzen wurden entweder in autoklaviertem (Kontrolle) oder in nicht autoklavierten Böden mit hohem Infektionspotential (kranke Böden) geprüft. Als Kontrollen dienten die als sehr anfällig geltende Erbsensorte „La Mancha KWS“ und die weniger anfällige Sorte „EFB 33“. Erstere wurde in unseren Versuchen sehr stark befallen, was auf einen ausreichenden Infektionsdruck im Boden hinweist. Die zweite Erbsenkontrolle (EFB 33) war erwartungsgemäß resistent und zeigte keine Symptome von Wurzelfäule. Nur an drei der 35 geprüften Akzessionen (und bei der Kontrollvariante „La Mancha“) konnten Symptome der Wurzelfäule beobachtet werden, die restlichen waren symptomfrei. Auffällig ist aber, dass bei den meisten, auch symptomfreien Akzessionen, die Biomasse in nicht-sterilisiertem Boden geringer war als in der Kontrolle. Ein Zusammenhang mit dem Auftreten von Symptomen der Wurzelfäule konnte nicht erkannt werden. Diese Daten deuten darauf hin, dass bodenbürtige Krankheitserreger die Produktivität beeinträchtigen können, ohne sichtbare Wurzelfäulnis-Symptome hervorzurufen.

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse der phytopathologischen Untersuchungen die dem Projekt zugrunde liegende Hypothese, dass der Anbau von frühzeitig genutzten einjährigen Leguminosen als Zwischenfrüchte weder nennenswerten Ertragseinbußen noch einen besonders starken Befall mit Pilzkrankheiten an nachfolgenden Kulturen zur Folge hat, anders als das z. B. von Körnerleguminosen oder mehrjährigen Kleearten berichtet wird. Auf diese Weise ist eine Ausweitung des Leguminosenanbaus möglich, mit allen positiven Wirkungen auf die die Bodenfruchtbarkeit und die Erträge.

1.2.4 AP 4: Zusammenführung, Verbreitung und Anwendung der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projekts wurden im Rahmen der Öko-Feldtage 2022 einem breiterem Publikum vorgestellt. Hierzu wurde auf dem Gelände der Feldtage am Gladbacher Hof, Vilmar eine Demanstrationsparzelle angelegt. Für die Öko-Feldtage 2023 in Ditzingen bei Stuttgartwurde ebenfalls eine Demonstrationsparzelle angelegt.

Ein an Praktiker gerichteten Artikel zur Intensivierung des Zwischenfruchtanbaus mit Leguminosen unter Berücksichtigung der Projektergebnisse wurde in der Zeitschrift „Lumbrico“ des Verlags Emminger und Partner einen in der Mai-ausgabe veröffentlicht. (s. Anhang 2)

Auf der 17. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Frick, 2023 wurde in Kooperation mit Dr. Rüdiger Grass (Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe), ein Workshop organisiert, an dem 18 Wissenschaftler, Berater und Praktiker teilnahmen. Thema des Workshops waren die Potentiale einer Ausweitung des Anbaus von zwischenfruchtleguminosen, mit besonderer Berücksichtigung Phytopathologischer Aspekte. Auf dem Workshop wurden zunächst Ergebnisse des Projekts ZIL und des Partnerprojekts “UNSIFRAN” [6] vorgestellt. Die Diskussion fokussierte sich auf die “Leguminosenmüdigkeit”, die in Praxisbetrieben den Leguminosenanbau oft beschränkt, aber nicht immer auftritt. Der Workshop gab einen guten Überblick über die

[6] https://orgprints. org/id/eprint/36488/

derzeitigen praktischen Probleme mit Leguminosenmüdigkeit Deutschland und Nachbarländern; anschließend wurden Forschungsansätze zu Klärung der Ursachen und Vermeidungsstrategien erarbeitet.

Die Ergebnisse, werden auch über die “Agrodiversity Toolbox”, [7] eine vom Berichterstatter in Vorgängerprojekten aufgebauten Wissensdatenbank über Fragen der Biodiversität in der Landwirtschaft, verfügbar gemacht. Neben Informationen für Praktiker enthält diese auch eine Datenbank für Evaluierungsdaten pflanzengenetischer Ressourcen, die von den Antragstellern im Rahmen der EU-Projekte ÖSCAR"[8] und ReMix [9] bereits aufgebaut wurde. Diese Datenbank wurde mit den Ergebnissen von ZIL erweitert. Das umfasst sowohl Texte, in denen die relevantesten Ergebnisse zusammegefasst werden[10] als auch die Einträge in die Zwischenfruchtdatenbank (“Database”), in die vor allem die Ergebnisse des AP 1 einfließen.

Die Ergebnisse des Projekts fließen außerdem in zwei Praxismerkblätter ein, die nach den Vorgaben des BLE erstellt wurden und sowohl über organic e-prints als auch über die “Agrodiversity toolbox” zugänglich gemacht werden.

Die Evaluierungsdaten der geprüften Genbank- Akzessionen werden dem IBV der BLE für nationale und internationale Inventare und Berichte übermittelt.

1.2.5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die bisherigen Ergebnisse stützen die Ausgangshypothese, dass durch den Anbau überwinternder Zwischenfruchtleguminosen Minimalbodenbearbeitungssysteme für den Ökologischen Landbau mit einem hohen Ertragsniveau realisiert werden können. Die Zwischenfrüchte unterdrücken Unkräuter in der Regel hinreichend stark, um eine Direktsaat von Sommerungen ohne Einsatz von Herbiziden zu ermöglichen. Alternativ ist eine oberflächliche Bodenbearbeitung (ca 5 cm) möglich, die im Bedarfsfall eine nachträgliche mechanische Unkrautkontrolle sowie die Einsaat von Untersaaten ermöglicht. Infolge der hohen Stickstoffnachlieferung der Zwischenfrüchte sind auf diese Weise bei Sommerungen auch im Ökologischen Landbau Erträge möglich, die denen des konventionellen Anbaus entsprechen. Eine Flächenkompostierung durch oberflächliche Einarbeitung des Grünmaterials ist unseren Ergebnissen dem Mulchen mit anschließender Direktsaat vorzuziehen. Die oberirdische Biomasse der Zwischenfruchtleguminosen trägt, wenn sie als Mulch oder Gründünger verwendet wird nur begrenzt zur Stickstoffversorgung der Sommerung bei. Eine Ernte und Nutzung der sehr hochwertigen Biomasse ist daher möglich, ohne die Erträge der Sommerung wesentlich zu verringern. Hierdurch kann ein Beitrag geleistet werden, die Proteinlücke in der deutschen Futterproduktion zu verringern, ohne dabei mit anderen Kulturen wie Getreide zu konkurrieren. Die Beerntung kann außerdem dazu beitragen, Nitratauswaschungen oder Lachgasemissionen zu verringern. Bei frühzeitigem Schnitt bzw. Umbruch und einem biologisch aktiven Boden ist unseren bisherigen Ergebnissen zufolge nicht mit einer verstärkten Übertragung von bodenbürtigen Pilzkrankheiten zu rechnen. so dass der Leguminosenanteil in der Fruchtfolge deutlich erhöht

[7] www. agrodiversity. eu

[8] https://cordis. europa. eu/project/id/289277/reporting

[9] www. remix-intercrops. eu

[10] Hier gilt die Einschränkung, dass die Ergebnisse erst in einer internationalen Wissenschaftlichen Zeitschrift veröffentlicht werden müssen, bevor sie in die “Agrodiversity Toolbox” eingepflegt werden können, da Vorveröffentlichungen von den Herausgebern in der Regel abgelehnt werden

werden kann, mit positiven Wirkungen für die N-Versorgung, die Erträge und die Bodenfruchtbarkeit. Der Anbau von Zwischenfruchtleguminosen kann durch Etablierung bisher nicht oder wenig genutzte Arten diversifiziert werden. Insgesamt ergibt sich hierdurch die Möglichkeit, sowohl die Produktivität des Ökologischen Landbaus drastisch zu steigern, als auch zu einer Erhöhung der Organischen Substanz im Boden un zu einer Verbesserung der biologischen Bodeneigenschaften beizutragen. Gerade bei den Sommerungen gibt es viele Möglichkeiten der Diversifizierung, auch im Hinblick auf die Anpassung an den Klimawandel. Interessante Kulturen sind hier z. B. Hanf, Quinoa, Sonnenblume, unter besonders warmen und trockenen Bedingungen auch Sorghumhirse. In Folgeprojekten sollen daher entsprechende Anbausysteme für verschiedene Sommerkulturen weiter entwickelt werden, was u. a. auch die Auswahl passender Winterzwischenfrüchte (z. B. mit früher und Später Aussaat, je nach Erntetermin der Sommerungen) einbezieht. Gleichzeitig sollen Modellfruchtfolgen entwickelt werden, die, bei gleicher Zielsetzungen auch Winterungen einbeziehen. Praxisbetriebe sollen stärker einbezogen werden, einerseits um eine Realisierung der Anbausysteme auf einem höheren Skalenniveau zu ermöglichen, andererseits, um Problemen, der Vermarktung und Logistik Rechnung zu tragen.

Tabelle 1.14: Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises über den Gesamtzeitraum

Ausgaben		
0812	Beschäftigte E12-E15	263.981,01
0817	Beschäftigte E1-E11	96.613,92
0822	Beschäftigungsentgelte	62.956,88
0835	Vergabe von Aufträgen	8.889,27
0843	Sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben	29.467,48
0846	Dienstreisen	1.843,52
Summe Ausgaben		**463.752,08**
Einnahmen		**-463.996,39**
Saldo		**-244,31**

1.3 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises sind in Tab. 1.14 dargestellt. Den Größte Anteil entfällt auf Personalkosten, davon 263. 981 Euro auf wissenschaftliches und jeweils 96.614 und 60.320 Euro auf technisches Personal und studentische Hilfskräfte. Die Reisekosten waren deutlich geringer als erwartet, was auf die COVID-19-Pandemie und die damit verbundene geringere Reisetätigkeit zurückzuführen ist.

1.4 Notwendigkeit und Angemessenheit; Voraussichtlicher Nutzen

Notwendigkeit und Angemessenhaeit der geleisteten Projektarbeit und Voraussichtlicher Nutzen

1.4.1 Notwendigkeit der geleisteten Projektarbeit

Derzeit beschränkt sich der Leguminosenanbau in vielen ökologischen Marktfruchtbetrieben auf einjähriges Kleegras. Das Verfahren geht mit Ertragsausfall einher und ist kostenintensiv. Die Verteilung der N-Fixierung über die Fruchtfolge ist ebenfalls denkbar ungünstig; es kommt zu starken Mineralisierungsschüben, und damit unausgewogener N-Verfügbarkeit. Verstärkt wird die Problematik dadurch, dass für das Kleegras in solchen Betrieben keine Nutzung vorgesehen ist und durch Mulchen die N-Fixierung blockiert wird. Die Folgen sind suboptimale Ernährung der Kulturen auf der einen, Nitratauswaschung auf der anderen Seite. Tiefe, wendende Bodenbearbeitung, insbesondere beim Umbruch der Kleegrasbestände verstärkt dies. Auch bewirkt tief wendende Bodenbearbeitung durch das starke Belüften des Bodens Humusabbau und fördert die Erosion. Obwohl pfluglose Anbausysteme, Minimalbodenbearbeitung oder Direktsaat in Kombination mit einer Intensivierung des Zwischenfruchtanbaus zu den wirkungsvollsten Methoden gehören, den Gehalt an organischer Substanz im Boden zu erhöhen, das Bodenleben zu aktivieren und Erosion zu verhindern, sind diese Methoden im Ökologischen Landbau kaum verbreitet, weil die Bodenbearbeitung für die Unkrautkontrolle trotz vieler positiven Beispiele (Cooper et al., 2016; Mäder and Berner, 2012) oft als unverzichtbar angenommen wird (Peigne et al., 2016)

Ein Lösungsansatz für eine erfolgreiche Reduktion der Bodenbearbeitung ohne Herbizideinsatz besteht darin, den Anbau von Zwischenfrüchten zu intensivieren und diese besser in die Fruchtfolge einzugliedern, um Brachperioden oder Zeiten mit geringer Bodenbedeckung zu vermeiden und damit die Konkurrenzwirkung der Kulturpflanzen auf die Unkräuter zu erhöhen (Schmidt et al., 2018, 2019) Wichtig ist, dass die Zwischenfrüchte möglichst schnell eine geschlossene Decke bilden und mit möglichst geringem Aufwand zu einem geeigneten Zeitpunkt mechanisch abgetötet und gemulcht werden können. Zwischenfrüchte sollten, wenn immer möglich Leguminosen sein, da diese die einzige Stickstoffquelle im Ökologischen Landbau und bei geringem N-Angebot eher in der Lage sind, die Mengen an Biomasse zu bilden, die notwendig sind um erfolgreich Beikräuter zu unterdrücken. Eine Brassica nach Winterweizen wird z. B. ohne zusätzliche N-Düngung nur dünne Bestände bilden und kaum zur Unkrautkontrolle beitragen. Bei geeigneter Wahl und Anbautechnik der Zwischenfrüchte kann die Konkurrenzwirkung sehr viel stärker zur Unkrautkontrolle beitragen als bisher. Zusätzliche Maßnahmen zur Unkrautkontrolle, die das Bodengefüge nicht oder kaum beeinträchtigen sind Mulchen durch abgemähte Zwischenfrüchte und sehr flache Bodenbearbeitung durch Fräsen oder Unterschneiden zum Zeitpunkt der Hauptfruchteinsaaten (Finckh et al., 2018). Gesamtziel des Vorhabens war, die Zwischenfruchtbasierte Minimalbodenbearbeitung in Deutschland weiter zu entwickeln, und den Anbau von Leguminosen als Zwischenfrucht zu intensivieren. Hierzu wurden neue Zwischenfruchtarten für unterschiedliche Erfordernisse bereitgestellt, neue Anbauverfahren entwickelt bzw. getestet, sowie ihre Auswirkungen auf die Ökosystemleistung untersucht.

1.4.2 Bezug des Vorhabens zu förderpolitischen Zielen

Im Projekt wurden Verfahren entwickelt mit denen neue bisher ungenutzte Nischen für den Leguminosenanbau erschlossen werden und die Bodenbearbeitung verringert werden kann. Durch die Einführung neuer Arten in Verbindung mit einer Verbesserung der Anbauverfahren wird die biologische Vielfalt erhöht, die Notwendigkeit der Bodenbearbeitung verringert und der Bodenbedeckungsgrad erhöht und verstetigt. Die Ziele der Eiweißpflanzenstrategie und der Ausschreibung (Bekanntmachung Nr. 20/17/31, FuE-Vorhaben) werden dadurch in vielfältiger Weise unterstützt:

- Auflockerung enger Fruchtfolgen und Erhöhung der Agrobiodiversität
- Lieferung zusätzlicher Trachten für Honig- und Wildbienen
- Positive Humuswirkung, durch Nutzung zusätzlicher Nischen, Verwendung von Leguminosen mit günstigem C/N-Verhältnis und durch die angestrebte Reduzierung der Bodenbearbeitung.
- Positive phytosanitäre Einflüsse im Rahmen der Fruchtfolge
- Erhöhte Drainageleistung und besseres Wasserhaltevermögen der Böden durch Erhöhung der organischen Substanz.
- Verbesserung der Bodenstruktur durch intensivere Durchwurzelung und Lebendverbauung, sowie Zunahme der Regenwurmpopulation
- Erosionsschutz durch verbesserte Bodenbedeckung und Reduktion der Bodenbearbeitung
- Verbesserung des Klimaschutzes durch C-Sequestrierung und verringerten Bedarf an Primärenergie zur Herstellung von Stickstoffdüngern
- Verringerung des Einsatzes vom Herbiziden durch Nutzung Unkraut unterdrückender Zwischenfrüchte und Anwendung von Mulchen.
- Förderung des Bodenlebens und weiterer Faktoren der Bodenfruchtbarkeit.
- Beitrag zur Verbesserung der N-Bilanz und damit Verringerung des Bedarfs an fossiler Energie zur Herstellung von Stickstoffdüngern einerseits und ein Beitrag zur Einhaltung der Vorgaben der Düngeverordnung andererseits.

Die Ergebnisse tragen dazu bei, die Eiweißversorgung aus heimischer Produktion indirekt zu steigern, indem Möglichkeiten erschlossen werden, den Leguminosenanteil in der Fruchtfolge zu erhöhen. Zudem werden in einem Teil der Versuche auch die Möglichkeiten einer direkten Beerntung der Grünmasse zur Nutzung als Futter untersucht, die unter bestimmten Bedingungen eine zusätzliche Option sein kann.

Das Projekt trägt außerdem zur Ausweitung und Optimierung des Anbaus von feinsamigen Leguminosen in Deutschland bei, indem Möglichkeiten unabhängig von marktbedingten Einschränkungen durch die Nutzung von Anbaunischen entwickelt werden. Die Erweiterung des Leguminosenanbaus steht daher nicht in Konkurrenz zu anderen Kulturen. Dazu kommt, dass die Nutzung von Leguminosen als Zwischenfrucht früh im Vegetationszyklus erfolgt, was eine engere Stellung der Leguminosen in der Fruchtfolge

ermöglicht, da viele Pilzkrankheiten erst in späteren Entwicklungsstadien das Vermehrungsstadium erreichen. Hierdurch werden insgesamt die Rahmenbedingungen für den Anbau feinsamiger Leguminosen verbessert.

Die entwickelten Methoden und Leguminosenarten sind sowohl im Ökologischen Anbau als auch in der konventionellen Landwirtschaft anwendbar und geeignet, das Potential der Leguminosen hinsichtlich ihrer Leistungen für das Ökosystem in beiden Systemen erheblich zu verbessern und damit einen Beitrag zur Reduktion der N-Immissionen in Deutschland zu leisten.

Über die konkret in der Eiweißpflanzenstrategie genannten Ziele trägt ZIL zu einer Reihe von internationalen Programmen und Vereinbarungen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit der Anbausysteme und zur Nutzung und Förderung der Biologischen Vielfalt bei. So wird ZIL direkt zu einer nachhaltigen Nutzung pflanzengenetischer Ressourcen für Ernährung und Landwirtschaft beitragen, wie sie im Artikel 6 "Nachhaltige Nutzung pflanzengenetischer Ressourcen"des Internationalen Abkommens über Pflanzengenetische Ressourcen für Ernährung und Landwirtschaft (International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture (ITPGRFA) gefordert wird. Gleichzeitig tragen die geplanten Arbeiten auch unmittelbar zu einigen der im SSecond Global Plan of Action on Plant Genetic Resources (GPA)ïm Kapitel "Nachhaltige Nutzung"benannten Aktivitäten 8, 9, 10 und 11 bei. Zentrale Elemente des Forschungsprogramms stimmen auch mit einer Analyse des Forschungsbedarfs und Empfehlungen für zukünftige Forschung überein, die durch den European Academies Science Advisory Council (EASAC) erarbeitet wurden (EASAC, 2022).

Es besteht demnach eine wachsende Notwendigkeit, Grundlagenwissen und Technologien zu entwickeln, mit denen nachhaltige Produktionssysteme realisiert werden können. Wichtige Teilaspekte hiervon sind eine Reduktion der Bodenbearbeitung, des Einsatzes von Primärenergie sowie eine verbesserte Nutzung und Entwicklung inter- und intraspezifischer Vielfalt in der Landwirtschaft. (EASAC, 2022)

1.5 Voraussichtlicher Nutzen

Wirtschaftlicher Nutzen Ein Großteil der Ergebnisse kann direkt von Praktikern umgesetzt werden. Ökologisch wirtschaftende Betriebe und hier speziell solche ohne Viehhaltung können von den Ergebnissen in besonderem Maße profitieren, da sie dazu beitragen, den Anteil von Kleegrasbrachen in der Rotation zugunsten von Marktfrüchten zu verringern.

Konventionell wirtschaftende Betriebe können durch einen verbesserten Zwischenfruchtanbau unabhängiger von Düngemitteln und Herbiziden werden und ihre Böden verbessern.

Züchter und Saatguthändler profitieren langfristig (d. h. bei breiterer Anwendung der Verfahren) von der zusätzlichen Nachfrage nach Saatgut, insbesondere auch von neuen Arten.

Wissenschaftlich-technischer Nutzen Neu identifizierte Arten und Genotypen stellen die unerlässlichen Vorarbeiten im Rahmen von Pre-breeding dar und ermöglichen in Zukunft die Selektion und Entwicklung von innovativen genetischen Ressourcen und neuartigen technischen Nutzungen. Die neu entwickelten Anbauverfahren und, soweit Saatgut im Handel erhältlich ist, auch die Erkenntnisse zu den Zwischenfruchtarten können von interessierten Praktikern umgesetzt werden, da entweder mit Standardmaschinen gear-

beitet wird oder (wie bei der Messerwalze oder der Flachfräse) Maschinen zu angemessenen Preisen auf dem Markt erhältlich sind.

Bei einigen der neuen Arten, die bisher in Deutschland nicht gehandelt werden, kann Saatgut importiert werden. Da für die meisten Arten die Eintragung ins Sortenregister nicht erforderlich ist, kann hier, bei entsprechender Nachfrage auch kurzfristig ein Angebot hergestelltwerden. Bei den bereits etablierten Arten (Vicia villosa, Vicia sativa) ist ein Anbau ohne Sortenzulassung nicht erlaubt; von diesen Arten werden interessante Akzessionen Züchtungsunternehmen zur Verfügung gestellt und von diesen in ihre Züchtungsprogramme integriert; hier ist der Zeithorizont notwendigerweise mit 8-10 Jahren deutlich länger. Die Evaluierungsdaten der geprüften Genbank- Akzessionen (Einzelstandorte - Einzeljahre) werden dem IBV der BLE für nationale und internationale Inventare und Berichte übermittelt.

Weiterführung der wissenschaftichen Arbeit Im Rahmen des EU-Greenings einerseits, der Eiweißpflanzenstrategie und der gesellschaftlich gewünschten Reduktion des Herbizid und Pestizideinsatzes und der Notwendigkeit der Einsparung von Energie andererseits, müssen Methoden, die dies ermöglichen entwickelt werden. Das Projekt trug zu einer Reduktion der Bodenbearbeitung ohne Herbizideinsatz bei gleichzeitiger Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit bei. Dazu wurden genetische Ressourcen entwickelt, die die Biodiversität erhöhen und durch zusätzliche Ökosystemdienstleistungen wie die Bereitstellung von Blüten und Förderung der biologischen Aktivität des Bodens zur Entwicklung nachhaltiger Systeme beitragen. Im wissenschaftlichen Bereich sind die auf ZIL folgenden Schritte eine Prüfung der neu entwickelten Methoden bzw. identifizierten Arten unter unterschiedlichen Umweltbedingungen und mit weiteren Hauptfrüchten. Um genauere Aussagen über die ökologischen Auswirkungen sowie zu ökonomischen Aspekte machen zu können sind sind systematische Untersuchungen unter Praxisbedingungen erforderlich, wobei wirtschaftliche Aspekte stärker berücksichtigt werden müssenals es in diesem Forschungsvorhaben möglich war.

1.6 Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

1. Die Gewinnung von Proteinen aus grüner Pflanzenbiomasse wird zunehmend als Alternative zum Anbau von Körnerleguminosen gesehen; die Zahl der wissenschaftlichen Publikationen hat deutlich zugenommen (Møller et al., 2021); erste Anlagen, in denen Proteinextrakte großtechnisch hergestellt und vermarktet werden, sind in Betrieb. Auch das Potenzial für den Einsatz in der menschlichen Ernährung wird zunehmend diskutiert und wissenschaftlich untersucht (Terjung[11], pers. Mitt.)

2. In dem ebenfalls von der BLE geförderten Projekt “UNSIFRAN” (https://orgprints.org/id/eprint/36488/), das vom Fachgebiet Grünland und Nachwachsende Rohstoffe der Universität Kassel durchgeführt wurde, konnten weitere Erkenntnisse zum Einsatz überwinternder Zwischenfrüchte auf Leguminosenbasis als Vorfrucht zu Mais in Minimalbodenbearbeitungssystemen gewonnen werden (Schmidt et al., 2022). Der Schwerpunkt lag dabei auf Leguminosenmischungen mit Winterungen und der Nutzung der Biomasse als Gärsubstrat für die Biogaserzeugung.

[11] DIL Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e. V.

3. Eigene Forschungsarbeiten, die seit einiger Zeit im Rahmen anderer Projekte durchgeführt werden, zeigen immer deutlicher, dass der Schlüssel zur Kontrolle von bodenbürtigen Leguminosenkrankheiten nicht in erster Linie in langen Anbaupausen liegt, sondern in der Förderung der Bodenbiologie und der Vielfalt des Boden- und Pflanzenmikrobioms (Šišić et al., 2020, 2022).

1.7 Veröffentlichungen

Infolge der COVID-19-Pandemie war die Teilnahme an Tagungen stark eingeschränkt. Daher wurden nur wenige Tagungsbeiträge eingereicht.

1. Finckh, M. R., and Šišić, A. (2022). Rotations, tillage, organic amendments, endophytes how can we make use of them to enhance legume root health? In "Keynote 8th International Legume Root Diseases workshop August 23th to 26th 2022"(S. Banniza, S. Chatterton, C. Coyne, E. Gaulin, C. Le May, A. Moussart and M. -L. Pilet-Nayel, eds.), pp. 23.

2. Jörg Peter Baresel, Adnan Šišić„ Anji Reddy Pittam, Rainer Wedemeier, Maria Renate Finckh: Möglichkeiten der Intensivierung des Anbaus von Zwischenfruchtleguminosen mit besonderer Berücksichtigung der Fruchtfolgekrankheiten. (Vortrag) Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Frick, März 2023

3. Jörg Peter Baresel, Adnan Šišić, Maria Renate Finckh: Erhöhung des Leguminosenanteils in den´ Fruchtfolgen - agronomische und phytopathologische Aspekte (Workshop), Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Frick, März 2023

4. Maria Renate Finckh, Adnan Šišić, Jörg Peter Baresel: Einfluss des Managements legumer Zwischenfrüchte auf die Wurzelgesundheit von Erbsen (Vortrag) Deutsche Pflanzenschutztagung, 26. - 29 September 2023

5. Maria Renate Finckh, Adnan Šišić, Jan Henrik Schmidt, Jörg Peter Baresel, Stephan M. Junge, Agroecological plant health management reduces legume root diseases as well as potato late blight and potato beetles. Vortrag eingereicht Plant Health 2023, American Phytopathological Society, Denver August 2023

Die folgenden Veröffentlichungen schließen Erkenntnisse und Methodik aus dem ZIL-Projekt ein, basieren aber nicht ausschließlich auf den Projektergebnissen:

1. Šišic, A., Oberhänsli, T., Baćanović-Šišić, J., Hohmann, P., und Finckh, M. R. (2022). A novel real time PCR method for the detection and quantification of Didymella pinodella in symptomatic and asymptomatic plant hosts. Journal of Fungi, 8(1), 41.

2. Šišic, A., Baćanović-Šišić, J., Schmidt, H., und Finckh, M. R. (2022). Farming system effects on root rot pathogen complex and yield of faba bean (vicia faba) in Germany. Frontiers in Plant Science, 13.

3. Finckh, M. R., Baresel, J. P., Junge S. M, Šišić, A., Weedon, O. D., und Schmidt, J. H. (2021). Pflanzengesundheit richtig managen. In "Ökologie und Landbau", Vol. 03/2021, pp. 41-43.

4. Šišic, A., Baćanović-Šišić, J., Schmidt, H., und Finckh, M. R. (2020). Root pathogens occurring on pea (Pisum sativum) and faba bean (Vicia faba) in Germany. In 30th Scientific-Experts Conference of Agriculture and Food Industry: Answers for Forthcoming Challenges in Modern Agriculture (pp. 69-75). Springer International Publishi

Eingereichte und geplante Veröffentlichungen

1. Jörg Peter Baresel, Adnan Šišić, Alborz Saidi, Anji Reddy Pittam, Maria Renate Finckh “Organic minimum tillage systems based on intensification of legume cover cropping; agronomic and phytopathological aspects” (Eingereicht bei: MDPI Agriculture))

2. Jörg Peter Baresel, Adnan Šišić, Anji Reddy Pittam, Maria Renate Finckh “Use as cover crop for organic minimum-tillage systems of established and novel legume cover crop species”.

3. Die Ergebnisse des AP 1 sollen in eine Publikaition einfließen, in der Ergebnisse vorangegangener internationaler Forschungsprogramme (OSCAR, https://cordis. europa. eu/project/id/289277/reporting/de) zusammenfassend dargestelt werden

III. Erfolgskontrollbericht

3.1 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis, Nebenergebnisse und Erfahrungen

Im Rahmen des Projektes wurden Möglichkeiten zur Intensivierung des Anbaus von Winterzwischenfrüchten, zur Verbesserung der Stickstoffversorgung, zur Unkrautregulierung sowie zur Entwicklung von Minimalbodenbearbeitungssystemen untersucht. Ziel war es, den Leguminosenanteil in den Fruchtfolgen zu erhöhen, wobei Aspekte der Fruchtfolgekrankheiten und der sogenannten 'Leguminosenmüdigkeit' besonders berücksichtigt wurden. Die wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse, die erzielten Nebenergebnisse und die wesentlichen Erfahrungen lassen sich wie folgt zusammenfassen: (Details siehe Ergebnisbeschreibung Abschnitt 1.2):

1. Neben den etablierten Zwischenfrüchten gibt es eine Reihe weiterer Leguminosen, die sich für den Anbau eignen, aber bisher kaum genutzt werden oder noch nicht als Kultur etabliert sind. Damit ist eine Diversifizierung im Zwischenfruchtanbau möglich, die sich insbesondere auch positiv auf die Diversität des Boden- und Pflanzenmikrobioms auswirkt. Details sind in Teil II, Abschnitt 1.2.1 beschrieben.

2. Durch den verstärkten Anbau von winterharten Leguminosen als Zwischenfrüchte können auch im ökologischen Landbau, zumindest bei Sommerkulturen wie Mais, Anbausysteme mit minimaler Bodenbearbeitung oder Direktsaat ohne Herbizideinsatz realisiert werden. Dies wirkt sich positiv auf den Humusgehalt des Bodens und die Bodenfruchtbarkeit im Allgemeinen aus. Näheres siehe Teil II, Abschnitt 1.2.2.

3. Der Anbau von Zwischenfruchtleguminosen kann wesentlich dazu beitragen, die N-Versorgung der Anbausysteme des ökologischen Landbaus zu verbessern und damit die Ertragslücke zwischen ökologischen und konventionellen Anbausysteme zu verringern. Bei Mais wurden Erträge erreicht, die denen konventionelller Anbausysteme nicht nachstehen. Gleichzeitig wird eine Grundlage für eine Verbesserung der Versorgung der Böden mit organischer Substanz geschaffen. Details finden sich im Teil II, Abschnitt 1.2.2.

4. Zwischenfrüchte tragen nur unwesentlich zur Übertragung typischer Leguminosenkrankheiten insbesondere *Didymella spp.* und *Fusarium spp.* bei. Die Befallsraten waren durchweg niedrig, Übertragungsketten konnten nicht nachgewiesen werden und die frühzeitige Nutzung der Zwischenfrüchte (in der Regel bis zur Blüte) verhindert bzw. reduziert eine Ausbreitung von pathogenen Pilzen in den Pflanzen, sowie die Bildung von Sporen.

5. Damit kann der Leguminosenanteil in den Fruchtfolgen und damit die N-vesorgung sowie die Zufuhr organischer Substanz in den Boden erhöht werden. Anders als Körnerleguminosen stehen Zwischenfrüchte nicht in Konkurrenz zu anderen Hauptfrüchten, die im Gegenteil von den Zwischenfrüchten profitieren.

6. Eine Beerntung der Zwischenfruchtbestände zur Blüte schränkt die positiven Wirkungen auf die nachfolgenden Kulturen (Stickstoffversorgung und Unkrautunterdrückung) nur geringfügig ein, so eine Nutzug der Leguminosenbiomasse sinnvoll ist, wenn entsprechende Verwendungsmöglichkeiten bestehen. neben einer Verwendung als Futter können die Leguminosenzwischenfrüchte auch als nachwachsende Rohstoffe, so z.B. zur Herstellung von Proteinextrakten genutzt werden.

3.2 Fortgeschriebener Verwertungsplan

3.2.1 Erfindungen, Schutzrechtsanmeldungen, erteilte Schutzrechte

Es wurden und werden Keine Erfindungen/Schutzrechte angestrebt Keine Fortschreibung in den Berichtszeiträumen 2019 und 2020

3.2.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die Wirtschaftlichen Erfolgsaussichten können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Ökologisch wirtschaftende Betriebe und hier speziell solche ohne Viehhaltung können von den Ergebnissen in besonderem Maße profitieren, da sie ermöglichen, den Anteil von Kleegrasbrachen in der Rotation zugunsten von Marktfrüchten zu verringern. (Ab Projektende)

2. Konventionell wirtschaftende Betriebe können durch einen verbesserten Zwischenfruchtanbau unabhängiger von Düngemitteln und Herbiziden werden und ihre Böden verbessern. (Ab Projektende)

3. Züchter und Saatguthändler profitieren langfristig (d.h. bei breiterer Anwendung der Verfahren) von der zusätzlichen Nachfrage nach Saatgut, insbesondere auch von neuen Arten. (Ab Projektende)

3.2.3 Wissenschaftlich-technische Erfolgsaussichten

Die wissenschaftlich-technischen Erfogsaussichten können wie folgt zusammengefasst werden (mit Zeithorizont):

1. Identifikation neuer Arten und Genotypen zur Entwicklung innovativer genetischer Ressourcen und neuartiger Anbautechniken. (Unmittelbar nach Projektende)

2. Die neu entwickelten Anbauverfahren und, soweit Saatgut im Handel erhältlich ist, auch die Erkenntnisse zu den Zwischenfruchtarten können unmittelbar nach Abschluss des Projekts von interessierten Praktikern umgesetzt werden, da entweder mit Standardmaschinen gearbeitet wird oder (wie bei der Messerwalze oder der Flachfräse) Maschinen zu angemessenen Preisen auf dem Markt erhältlich sind. Der Zeithorizont ist hier also sehr kurz. (Unmittelbar nach Projektende)

3. Bei einigen der neuen Arten, die bisher in Deutschland nicht gehandelt werden, kann Saatgut importiert werden. Da für die meisten Arten die Eintragung ins Sortenregister nicht erforderlich ist, kann hier, bei entsprechender Nachfrage auch kurzfristig ein Angebot hergestellt werden. (Unmittelbar nach Projektende)

4. Bei den bereits etablierten Arten (Vicia villosa, Vicia sativa) ist ein Anbau ohne Sortenzulassung nicht erlaubt; von diesen Arten werden interessante Akzessionen Züchtungsunternehmen zur Verfügung gestellt und von diesen in ihre Züchtungsprogramme integriert; hier ist der Zeithorizont notwendigerweise mit 8-10 Jahren deutlich länger (5-10 Jahre nach Projektende)

5. Die Evaluierungsdaten der geprüften Genbankakzessionen werden dem IBV der BLE für nationale und internationale Inventare und Berichte übermittelt. (Unmittelbar nach Projektende)

6. Anlage von Vermehrungsflächen in Zusammenarbeit mit der Universität Pisa in einer für die Saatgutvermehrung kleinkörniger Leguminosen geeigneten Lage. Die Saatgutvermehrung unter Feldbedingungen wurde getestet, Saatgut für die weitere Vermehrung bzw. für die Züchtung wurde produziert und steht zur Verfügung. Die Flächen dienten auch als Demonstration für interessierte Saatzuchtunternehmen. (Unmittelbar nach Projektende)

7. Da die Biomasse bei den Leguminosen, sehr hoch sein kann, die Unkraut unterdrückende Wirkung nicht unbedingt von der Verfügbarkeit von Mulch abhängt und die Stickstoffixierung den Bedarf einer nachfolgenden Sommerung übersteigen kann, wird einer Ernte und Verwertung der Leguminosenbiomasse vermehrt in Betracht gezogen. Von besonderem Interesse ist die Herstellung von Proteinextrakten in sogenannten Bioraffinerien, weil auf diese Weise ein wesentlicher Beitrag zur Verringerung der Abhängigkeit von Proteinimporten geleistet werden kann. Es wurden Kontakte zu Wissenschaftlichen Institutionen sowie zu Industriepartnern angebahnt und es werden zur Zeit auf Europäischer und nationaler Ebene Folgeprojekte bzw. Projektvorschläge erarbeitet, bei denen diese Aspekte eine Rolle spielen.

Für anschließende Projekte ist geplant:

1. Die verwertbarkeit der Biomasse, insbesondere die Herstellung von Proteinextrakten stärker zu berücksichtigen, um die Flächenproduktivität, insbesondere im Bereich der Proteine zu verbessern

2. Mehr Akzessionen einiger Arten, insbesondere *Lathyrus aphaca, Lathyrus ochrus, Lathyrus hirsutus* und einiger weiterer Lathyrus-Arten, sowie *Medicago arabica* zu prüfen, da diese Arten ein hohes Potential haben, und eine beträchtliche Variation innerhalb der Arten besteht.

3. Verstärkt Saatzuchtbetriebe in die Projekte einzubeziehen

4. Verstärkt Artmischungen, basierend auf diesen Arten zu prüfen.

Zur Zeit (Stand Mai 2023) sind für zwei Forschungsvorhaben, die auf den Ergebnissen von ZIL aufbauen, Forschungsgelder beantragt worden: Für folgende Anschlussprojekte wurden Fördermittel beantragt:

1. im Rahmen des Projekts “I_2C_5” werden unter anderem die Züchterischen Voraussetzungen für eine Ausweitung de Mischanbaus verbessert.
2. im Rahmen des EU-Forschungsförderungsprogramms “Horizon Europe” wurde, in Zusammenarbeit mit einem internationalen Konsortium ein Projektantrag eingereicht, dessen Kernziel die Ausweitung des Leguminosenanbaus ist.

Weitere Forschungsvorhaben, die insbesondere auf die Verbesserung der Anbausysteme abzielen, sind in Vorbereitung.

3.3 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Alle Arbeiten haben zu Lösungen geführt.

3.4 Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Die Ausgaben-und Zeitplanung wurde, unter Berücksichtigung der Änderungen, die im Rahmen der Projektaufstockungen mit dem Projektträger vereinbart wurden, eingehalten.

Literaturverzeichnis

Baresel, J. P., Nichols, P., Charrois, A. and Schmidhalter, U. (2018), “Adaptation of ecotypes and cultivars of subterranean clover (trifolium subterraneum l.) to german environmental conditions and its suitability as living mulch”, *Genetic Resources and Crop Evolution* , Vol. 65, Springer, pp. 2057–2068.

Baresel, J. P., Rischbeck, P., Hu, Y., Kipp, S., Barmeier, G., Mistele, B. and Schmidhalter, U. (2017), “Use of a digital camera as alternative method for non-destructive detection of the leaf chlorophyll content and the nitrogen nutrition status in wheat”, *Computers and Electronics in Agriculture* , Vol. 140, Elsevier, pp. 25–33.

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. and Walker, S. (2015), “Fitting linear mixed-effects models using lme4”, Vol. 67, p. 1–48.

Baćanović-Šišić, J., Šišić, A., Schmidt, J. H. and 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* , Vol. 151, pp. 745–755.

Boerema, G. H. (2004), *Phoma identification manual: differentiation of specific and infraspecific taxa in culture*, CABI.

Christensen, B. T. (2001), “Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover”, *European Journal of Soil Science* , Vol. 52, pp. 345–353.

Cooper, J., Baranski, M., Stewart, G., Nobel-de Lange, M., Barberi, P., Fliessbach, A., Peigne, J., Berner, A., Brock, C., Casagrande, M. et al. (2016), “Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil c stocks: a meta-analysis”, *Agronomy for Sustainable Development* , Vol. 36, pp. 1–20.

EASAC (2022), “Regenerative agriculture in europe-a critical analysis of contributions to european union farm to fork and biodiversity strategies”.
URL: *https://easac.eu*

Finckh, M., Junge, S., Schmidt, J. and Weedon, O. (2018), Disease and pest management in organic farming: a case for applied agroecology, *in* ‘Improving’, pp. 291–322.

Geddes, C. M., Cavalieri, A., Daayf, F., Gulden, R. H. et al. (2015), “The allelopathic potential of hairy vetch (vicia villosa roth.) mulch”, *American Journal of Plant Sciences* , Vol. 6, Scientific Research Publishing, p. 2651.

Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., Christensen, R. H. B. et al. (2015), "Package 'lmertest'", *R package version* , Vol. 2, p. 734.

Kölbl, A. and Kögel-Knabner, I. (2004), "Content and composition of free and occluded particulate organic matter in a differently textured arable cambisol as revealed by solid-state 13c nmr spectroscopy", *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* , Vol. 167, Wiley Online Library, pp. 45–53.

Kölbl, A., Leifeld, J. and Kögel-Knabner, I. (2005), "A comparison of two methods for the isolation of free and occluded particulate organic matter", *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* , Vol. 168, Wiley Online Library, pp. 660–667.

Larsson, L., Ferm, M., Kasimir-Klemedtsson, A. and Klemedtsson, L. (1998), "Ammonia and nitrous oxide emissions from grass and alfalfa mulches", *Nutrient cycling in agroecosystems* , Vol. 51, Springer, pp. 41–46.

Lehmann, J. and Kleber, M. (2015), "The contentious nature of soil organic matter", *Nature* , Vol. 528, Nature Publishing Group UK London, pp. 60–68.

Lenth, R., Singmann, H., Love, J., Buerkner, P. and Herve, M. (2019), 'Estimated marginal means, aka least-squares means. r package version 1.3. 2'.

Leslie, J. F. and Summerell, B. A. (2008), *The Fusarium laboratory manual*, John Wiley & Sons.

Møller, A. H., Hammershøj, M., Dos Passos, N. H. M., Tanambell, H., Stødkilde, L., Ambye-Jensen, M., Danielsen, M., Jensen, S. K. and Dalsgaard, T. K. (2021), "Biorefinery of green biomass–how to extract and evaluate high quality leaf protein for food?", *Journal of Agricultural and Food Chemistry* , Vol. 69, ACS Publications, pp. 14341–14357.

Mäder, P. and Berner, A. (2012), "Development of reduced tillage systems in organic farming in europe", *Renewable Agriculture and Food Systems* , Vol. 27, pp. 7–11.

Peigne, J., Casagrande, M., Payet, V., David, C., Sans, F. X., Blanco-Moreno, J. M., Cooper, J., Gascoyne, K., Antichi, D., Barberi, P. et al. (2016), "How organic farmers practice conservation agriculture in europe", *Renewable Agriculture and Food Systems* , Vol. 31, pp. 72–85.

Pflughoeft, O., Merker, C., von Tiedemann, A. and Schaefer, B. C. (2012), "Incidence and importance of fungal infection in field peas (pisum sativum l.) in germany", *Gesunde Pflanzen* , Vol. 64, Springer, pp. 39–48.

Piepho, H.-P., Büchse, A. and Emrich, K. (2003), "A hitchhikers guide to mixed models for randomized experiments", *Journal of Agronomy and Crop Science* , Vol. 189, pp. 310–322.

R Core Team (2020), *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, Vienna, Austria.

Schlatter, D., Kinkel, L., Thomashow, L., Weller, D. and Paulitz, T. (2017), "Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome", *Phytopathology* , Vol. 107, Am Phytopath Society, pp. 1284–1297.

Schmidt, F., Böhm, H., Piepho, H.-P., Urbatzka, P., Wachendorf, M. and Grass, R. (2022), "Management effects on the performance of double cropping systems–results from a multi-site experiment", *Agronomy* , Vol. 12, p. 2104.

Schmidt, J. H., Junge, S. and Finckh, M. R. (2019), "Cover crops and compost prevent weed seed bank buildup in herbicide-free wheat–potato rotations under conservation tillage", *Ecology and Evolution* , Vol. 9, pp. 2715–2724.

Schmidt, J., Weedon, O. and Finckh, M. (2018), Management histories of wheat composite cross populations (ccps) drive yield in two tillage systems., Kassel University Press, Witzenhausen, Germany, pp. 48–50.

Šišić, A., Baćanović-Šišić, J., Schmidt, H. and Finckh, M. R. (2020), Root pathogens occurring on pea (pisum sativum) and faba bean (vicia faba) in germany, *in* '30th Scientific-Experts Conference of Agriculture and Food Industry: Answers for Forthcoming Challenges in Modern Agriculture', Springer, pp. 69–75.

Šišić, A., Baćanović-Šišić, J., Schmidt, H. and Finckh, M. R. (2022), "Farming system effects on root rot pathogen complex and yield of faba bean (vicia faba) in germany", *Frontiers in Plant Science* , Vol. 13, Frontiers Media SA.

Sonia, E., Dorothée, S., Sandrine, G., Corinne, C., Christian, L. and Valérie, L. (2018), "Optimized real time qpcr assays for detection and quantification of fusarium and microdochium species involved in wheat head blight as defined by miqe guidelines", *BioRxiv* , Cold Spring Harbor Laboratory, p. 272534.

Timaeus, J., Weedon, O. D. and Finckh, M. R. (2022), "Harnessing the potential of wheat-pea species mixtures: evaluation of multifunctional performance and wheat diversity", *Frontiers in Plant Science* , Vol. 13, Frontiers, p. 683.

van Bruggen, A. H., Gamliel, A. and Finckh, M. R. (2016), "Plant disease management in organic farming systems", *Pest Management Science* , Vol. 72, Wiley Online Library, pp. 30–44.

Vodegel, S., Sternowsky, S., Rinder, R., ATB, V. S. and FAL, P. W. (2008), "Entwicklung, Erprobung und Demonstration neuer Logistikkonzepte für Biobrennstoffe", *Nachwachsende Rohstoffe* , p. 250.

Wachendorf, M., Fricke, T., Graß, R. and Stülpnagel, R. (2007), "Ein neues Konzept für die bioenergetische Nutzung von Grünlandbiomasse", *Wrage N., Isselstein J.: Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau* , Vol. 8, pp. 165–168.

Šišić, A., Baćanović-Šišić, J., Karlovsky, P., Wittwer, R., Walder, F., Campiglia, E., Radicetti, E., Friberg, H., Baresel, J. P. and Finckh, M. R. (2018), "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* , Vol. 13, p. e0191969.