Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Bachelor - Studiengang Agrarwirtschaft

Prof. Dr. sc. agr. Bernhard Seggewiß

Dipl.-Ing. agr. Bernd Schulze

Bachelorarbeit

„Ein Praxisversuch zum Vergleich verschiedener Zwischenfruchtanbauverfahren“

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2021-0156-9

von

Christoph Abel

Neubrandenburg

März 2021

Kurzzusammenfassung

Der Anbau von Zwischenfrüchten rückt wieder zunehmend in den Fokus. Die produktionsorientierte Landwirtschaft der vergangenen Jahrzehnte zehrt auch an vergänglichen Ressourcen. Die für die Existenz entscheidende ist dabei die Fruchtbarkeit der eigenen Böden. Deswegen wird nicht nur seitens der Politik ein neuer Weg eingeschlagen, sondern es macht sich auch eine Absicht unter den Landwirten breit, die darauf ausgerichtet ist, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und wieder herzustellen.

Diese Forschung zielt darauf ab, im Rahmen eines Praxisversuches einen Vergleich zwischen verschiedenen Zwischenfruchtanbauverfahren zu ziehen. Anhand der Betrachtung der Entwicklung der Zwischenfrucht, Stickstoffdynamik und ausgewählter Parameter der Bodenfruchtbarkeit sollen die Wirkungen der Anbauverfahren nachvollzogen werden.

Für diesen Vergleich wurden Parzellen angelegt, auf denen die Zwischenfrucht mit den verschiedenen Anbauverfahren ausgesät wurde. Es wurden die Anbauverfahren einer Vorerntesaat, einer Direktsaat, eines vorweg gelockerten und eines mit einer Scheibenegge flach bearbeiteten Bodens gegenübergestellt. Um außerdem die explizite Wirkung einer Zwischenfrucht nachvollziehen zu können, wurde zudem eine sich selbstbegrünende Brache angelegt.

Die Ergebnisse zeigten, dass sich im Rahmen des Praxisversuches die Entwicklung der Frischmasse und Wuchshöhe unterschiedlich verhalten. Dies wurde auf den Aussaatzeitpunkt und die Bedingungen während des Feldaufgangs zurückgeführt. Hier nehmen die Anbauverfahren ebenfalls Einfluss, die auch die endgültige Bildung der Trockenmasse mitbestimmen. Der Gesamtstickstoffgehalt und die Trockenmasse stehen wiederum im Zusammenhang mit dem N_{min}-Gehalt im Frühjahr. Somit bedingen die Zwischenfruchtanbauvarianten auch den Stickstofftransfer in das nächste Anbaujahr. Mit der Art und Weise des Eingriffs in den Boden werden die ausgewählten Parameter der Bodenfruchtbarkeit nicht nur positiv, sondern teilweise auch negativ beeinflusst.

Dies zeigt, dass die Wahl der Zwischenfruchtanbauverfahren berücksichtigt und hinterfragt werden sollte. Auf dieser Grundlage ist es empfehlenswert im Rahmen weiterführender Forschung die Eignung auf weiteren Standorten zu untersuchen und die Wahl geeigneter Zwischenfruchtkomponenten zu berücksichtigen.

Abstract

The cultivation of cover crops is increasingly coming into focus again. The production-oriented agriculture of the past decades also drains perishable resources. The crucial factor for existence is the fertility of one's own soil. Therefore, not only is a new path being taken by politicians, but there is also coming up the intention by farmers, which is aligned on maintain and renew the fertility of soil.

This research aims to compare different cultvation methods of cover crops in a field trial. The effects of the cultivation methods are to be understood by looking at the development of the cover crop, nitrogen dynamics and selected parameters of soil fertility.

For this comparison, plots were established on which the cover crop was sown using the different cultivation methods. The cultivation methods of a pre-harvested, a no-till, a pre-loosened and with a disc harrow shallowly cultivated soil were compared. In order to be able to understand the explicit effect of an cover crop, a self-greening fallow was also established.

The results showed that the development of the fresh mass and growth height behave differently in the context of the practical experiment. This was derived to the time of sowing and the conditions during the field rise. The cultivation methods also have an influence here, which also determine the final yield of the dry matter. The total-nitrogen-content and dry matter are in turn related to the N_{min}-content in spring. Thus the cultivation methods of cover crops also cause the transfer of nitrogen to the next crop year. The hight of disturbends of the soil influences the selected parameters of soil fertility not only positively, but also partially negatively.

This shows that the choice of the cultivation methods of cover crops should be considered and questioned. On this basis, it is recommended to investigate the suitability on further locations and to consider the choice of suitable components of cover crops within the framework of further research.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ..... **V**
Tabellenverzeichnis ..... **VI**
Abkürzungsverzeichnis ..... **VII**
1. Einleitung **1**
1.1. Problemstellung 2
1.2. Ziel der Arbeit 2
2. Literatur Stand der Forschung **3**
2.1. Mineralisation des Stickstoffs im Boden 3
2.2. Zwischenfruchtanbau 4
2.3. Einfluss auf die Biodiversität 5
2.4. Einfluss auf den Boden 6
2.5. Einfluss auf die Ertragsstabilität 8
3. Material und Methoden **10**
3.1. Standortzonierung 10
3.2. Feldhistorie und Bestandsetablierung 10
3.3. Artenbeschreibung 11
3.3.1 Weißer Senf/Gelbsenf 11
3.3.2. Phacelia 12
3.3.3. Ramtillkraut 13
3.4. Versuchsaufbau 13
3.5. Erhebungen im Bestand 14
3.5.1. pH-Wert und Bodenart 14
3.5.2. Trockenmasse und Entwicklung der Frischmasse und Wuchshöhe 15
3.5.3. N_{min} und Gesamt-N 16
3.5.4. Ausgewählte Parameter der Bodenfruchtbarkeit 17
3.6. Statistische Berechnungen 17
4. Ergebnisse **18**
4.1. pH-Wert und Bodenart 18
4.2. N_{min} und Gesamt-N 18
4.3. Trockenmasse und Entwicklung der Wuchshöhe und Frischmasse 20
4.4. Ausgewählte Parameter der Bodenfruchtbarkeit 25
5. Diskussion **28**
6. Zusammenfassung **32**
7. Literaturverzeichnis **34**
8. Anhang **36**
Eidesstattliche Erklärung **48**

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stickstoffverlust je nach Zwischenfruchtkultur (verändert nach, AREP, Thibie, Durchschnitt 1991-2003) 7
Abbildung 2: Weizenertragsentwicklung je nach Bewirtschaftungstechnik (verändert nach, AREP, Thibie, 1990-2003) 9
Abbildung 3: Abblühender Weißer Senf/Gelbsenf der Versuchsparzelle „ZF Scheibenegge“ (eigene Aufnahme, 20.10.2019) 11
Abbildung 4: Blühende Phacelia der Versuchsparzelle „ZF Vorerntesaat“ (eigene Aufnahme, 06.10.2019) 12
Abbildung 5: Ramtillkraut in der Parzelle „ZF Vorerntesaat“ (eigene Aufnahme, 10.09.2019) 13
Abbildung 6: Biomassekarte der Vorfrucht Winterweizen (Aufnahme Isaria-Stickstoffsensor am 10.05.2019) mit Lage des Versuches im Feld „Hirschkrug“: 1=ZF Vorerntesaat, 2=ZF Direktsaat, 3=ZF Lockern, 4=ZF Scheibenegge und 5=Brache (eigene Darstellung) 13
Abbildung 7: Entwicklungsverlauf der Frischmasse und Wuchshöhe der Parzelle „ZF Vorerntesaat“ im Zeitraum vom 21.06.2019 (Aussaat) bis 22.11.2019 (eigene Darstellung) 20
Abbildung 8: Entwicklungsverlauf der Frischmasse und Wuchshöhe der Parzelle „ZF Direktsaat“ im Zeitraum vom 10.08.2019 (Aussaat) bis 10.12.2019 (eigene Darstellung) 21
Abbildung 9: Entwicklungsverlauf der Frischmasse und Wuchshöhe der Parzelle „ZF Lockern“ im Zeitraum vom 10.08.2019 (Aussaat) bis 10.12.2019 (eigene Darstellung) 23
Abbildung 10: Entwicklungsverlauf der Frischmasse und Wuchshöhe der Parzelle „ZF Scheibenegge“ im Zeitraum vom 10.08.2019 (Aussaat) bis 10.12.2019 (eigene Darstellung) 24
Abbildung 11: Durchschnittliche Trockenmassen der einzelnen Zwischenfruchtanbauvarianten nach Probenahme des 09. Aprils 2020 (eigene Darstellung) 24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Pflanzenarten und -mischungen des Sommer- und Winterzwischenfruchtanbaues (verändert nach, Entrup et al.) 5
Tabelle 2: Gesamtstickstoffgehalte der abgestorbenen Zwischenfruchtreste (18.04.2020) und N_{min}-Gehalte im Herbst (13.10.2019) und Frühjahr (18.04.2020) (eigene Darstellung) ..18
Tabelle 3: Ergebnisse zu den Bewertungen der ausgewählten Parameter der Bodenfruchtbarkeit nach dem Erhebungsschema von Senger et al., 2015 (eigene Darstellung).....25

Abkürzungsverzeichnis

NH_4^+	Ammonium
NO_3^-	Nitrat
C/N-Verhältnis	Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis
N	Stickstoff
N_{min}	mineralischer Stickstoff
kg N/ha	Kilogramm Stickstoff je Hektar

1. Einleitung

Die Vergesellschaftung unterschiedlichster Pflanzenarten, die den Boden sowohl an der Oberfläche als auch im Erdreich in unterschiedlichen Etagen beleben, um dadurch die Kraft des Bodens zu erhalten, ist vermutlich einer der ältesten Ideen überhaupt. Wenn vielleicht auch nicht bewusst, diente die Naturbegrünung schon im Rahmen frühester Landbauformen der Steigerung des Nutzpflanzenertrages. Während der Brachezeiten fand die Bodenerholung auf den vom monokulturellen Nutzpflanzenanbau erschöpften Böden statt, als die Menschen ihre Kulturen auf neu erschlossenen Rodungsflächen anbauten. Hier siedelten sich eine Vielzahl von Grünpflanzen an, die dank des Wurzelwerks und der ständigen Bodenbedeckung zu einer neuen Bodengare führten. Nach einiger Zeit konnten wieder ertragreiche Kulturpflanzen bestellt werden. Die Brachezeiten wurden mit der späteren Dreifelderwirtschaft der fränkischen Landordnung in eine Fruchtfolge integriert, die die Bodenerholung zwischen Winterung und Sommerung vorsah. Im 19. Jahrhundert verstand man den Begriff der „Gründüngung“ als Maßnahme, um dem Boden humusbildende Substanzen zuzuführen und die Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen zu optimieren. Im Laufe der Zeit stellten sich einige Pflanzen dafür als besonders geeignet heraus. Besonders Leguminosen, mit denen Schultz-Lupitz Ende des 19. Jahrhunderts ärmste Sandböden fruchtbar machte, sind solche bodenaufbauenden Pflanzen. Die gezielte Aussaat einer Zwischenfrucht, also die Gründüngung zwischen zwei Hauptfrüchten, konnte erst mit zunehmender Mechanisierung umgesetzt werden. Daran war in der Arbeitsspitze der Getreideernte wegen der geringen Schlagkraft nicht zu denken, als man noch Tiere für die Zugkraft benötigte. Erst mit der Einführung des Schleppers konnte man die Wachstumszeit zwischen zwei Hauptkulturen nutzen, um die Vorteile einer Zwischenfrucht optimal auszuschöpfen (Hampl, 1996, S. 8 ff.).

Ab Mitte des 20. Jahrhunderts verlor die Artenvielfalt wegen drastischer Veränderungen in der Landwirtschaft an Bedeutung. Die Abwanderung von Arbeitskräften, ökonomische Anpassungsprozesse und veränderte Betriebsstrukturen waren solche Veränderungen, die zu vereinfachten Fruchtfolgen führten. Futterrüben und Leguminosen wurden durch den Ackerfutterbau mit Gräsern und dem zunehmenden Anbau von Körner- und Silomais ersetzt. Der Verlust von Futterzwischenfrüchte waren Folgen der EU-Agrarreform von 1992. Frühreifende Feldfrüchte wie Wintergerste verschwanden von vielen Feldern, was den Anbau von Sommerzwischenfrüchten erschwerte. Erst mit Beginn der 2000er Jahre setzt man sich wieder mit dem Anbau von Sommer- und Winterzwischenfrüchten sowie Untersaaten auseinander. Um den Anbau voranzutreiben und die Biodiversität zu fördern, wurde der Prozess im Rahmen des „Greenings“ (Instrument der GAP 2015) nochmals bekräftigt. Rund 20 Prozent aller Ackerflächen werden deutschlandweit mit Zwischenfrüchten bestellt (Stand 2016) (Entrup, et al., 2018, S. 5 f.).

1.1. Problemstellung

Nicht nur weltweit, sondern auch hierzulande in Mecklenburg-Vorpommern sind klimatische Änderungen zu verzeichnen. Wenn es auch im Mittel der Jahre eine Zunahme an Niederschlägen gegeben hat (+9% seit 1882), kam es dennoch zu einem Anstieg der Jahresmitteltemperatur (+1,3°C seit 1881). Ein Trend dafür ist erkennbar und wie es die letzten Jahre gezeigt haben – auch spürbar. Das Jahr 2017 war sehr nass und das Jahr 2018 sehr trocken (Borsche, et al., 2018, S. 22 ff.).

Besonders in solchen Jahren werden Bodenerosion durch Wind und Wasser, Traktion der Böden, Nährstoffauswaschung und Ertragsstabilität der Böden ein Thema. Zwischenfrüchte haben viele Vorteile und können durch ihren direkten Einfluss Lösungswege für die genannten Probleme bieten.

Herausforderungen sind oftmals die Bedingungen zur Zwischenfruchtaussaat. Wenn es in den letzten Wochen vor der Ernte kaum geregnet hat und Niederschläge ausbleiben, ist der Wasservorrat im Boden so erschöpft, dass man kaum noch ausreichende Feldaufgänge erzielen könnte. Die für den Standort geeignete Auswahl der Komponenten ist dann umso wichtiger. Wenn auch noch auf einen späteren Zeitpunkt der Aussaat ausgewichen wird, könnte die verbleibende Vegetationszeit nicht mehr ausreichen, um die wesentlichen Funktionen der Zwischenfrüchte (Bodenbedeckung, Nitratbindung, Erosionsschutz etc.) zu nutzen. Da auch die Saatgut- und Maschinenkosten sowie die Arbeitszeit hoch ausfallen können, wird oftmals der Zwischenfruchtanbau aus betriebswirtschaftlicher Sicht hinterfragt.

1.2. Ziel der Arbeit

Diese Arbeit zielt darauf ab, im Rahmen eines Praxisversuches einen Vergleich zwischen verschiedenen Zwischenfruchtanbauverfahren zu ziehen. Hierbei stehen vor allem die Entwicklung der Zwischenfrucht, die Stickstoffdynamik und ausgewählte Parameter der Bodenfruchtbarkeit im Fokus. Durch den heutigen Wissensstand und den Erkenntnissen aus dem Praxisversuch soll die Relevanz dieses Themas verdeutlicht werden und ein Beitrag zum Bodenschutz stattfinden. Denn wie damals schon erkannt, aber mit wahrscheinlich größter Relevanz für heute, gilt:

„Es gibt ja in der ganzen Natur keinen wichtigeren, keinen der Betrachtung würdigeren Gegenstand [als den Boden].“ (Fallou, 1862)

2. Literatur und Stand der Forschung

2.1. Mineralisation des Stickstoffs im Boden

Die Fraktion des Stickstoffs, der organisch gebunden ist, nimmt den größeren Teil der im Ackerboden vorliegenden Stickstoffformen ein. Dieser wiederum lässt sich in die stabile und labile Fraktion untergliedern. Die schwer abbaubaren Huminstoffe stellen dabei die stabile Fraktion dar. Diese sind heterozyklisch gebunden und können nicht durch mikrobielle Prozesse abgebaut werden. Die Hauptfunktion der schwer abbaubaren Huminstoffe ist die Erhaltung der Bodenstruktur. Das in der organischen Substanz generell vorliegende Amino-N kann jedoch pflanzenverfügbar werden. Es stellt die labile Fraktion dar und unterliegt dem Einfluss der Mineralisation. Die Mineralisation ist dabei der mikrobielle Prozess, der die organische Substanz in pflanzenverfügbare Formen (z.B. Ammonium (NH_4^+) und Nitrat (NO_3^-)) überführt. Beginnend mit der Hydrolase werden Makromoleküle wie Proteine in Grundbausteine (Aminosäuren oder Aminozucker) zerlegt. Sogenannte Ammonifikanten (Bakterien) bauen die Bausteine in einem weiteren Schritt zu dem Produkt Ammonium (NH_4^+) ab. Wie hierzulande ist der Prozess der Mineralisation nach der Ammonifikation nicht zu Ende. Durch die Nitrifikation wird Ammonium durch nitrifizierende Bakterien zu Nitrat überführt. Diese Organismen verarbeiten Elektronen, die sie für Syntheseprozesse aus der Oxidation von Stickstoff benötigen. In jenem zweistufigen Prozess oxidieren Nitritbildner Ammonium zu Nitrit und Nitratbildner Nitrit zu Nitrat. Im Ganzen ist die Rate der Mineralisation von drei Faktoren bestimmt – Temperatur, Wassergehalt des Bodens und pH-Wert (Schubert, 2006, S. 117 f.).

Über das Jahr hinweg sind das Frühjahr und der Herbst nicht nur Phasen mit günstigen Voraussetzungen für das Pflanzenwachstum, sondern auch für die Mineralisation. Mit steigenden Temperaturen erhöhen sich die Temperature

n des über den Winter mit Wasser aufgefüllten und noch kalten Bodens. Mit steigender Erwärmung nimmt auch die Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffs zu. Dies kommt in diesem Fall dem Wachstum der Winter- und Sommerkulturen zugute. Mit zunehmender Inanspruchnahme des Wasserhaushalts neigt sich die Mineralisation trotz warmer und sauerstoffgesättigter Bodenzustände dem Ende. Mit den im Herbst ergiebigen Niederschlägen, welche auf den noch warmen und sauerstoffangereicherten Boden fallen, zieht der Prozess der Mineralisation wieder stark an. Dies wird durch die Bodenbearbeitung zusätzlich gefördert, weil je nach Intensität der Boden mit mehr oder weniger Sauerstoff versetzt wird. Neben der Bodenbearbeitung wird die Mineralisation auch durch Bewässerung gefördert. Als Hilfsmittel für geringe Mineralisationsraten kann der Landwirt auch exogene organische oder mineralische Düngemittel ausbringen. In einem Anbaujahr stimmen die Zeitpunkte des Nährstoffbedarfes einer Kultur nicht immer gleichzeitig mit dem Angebot

überein. Das ist vor allem im Frühjahr und Sommer der Fall. Grund dafür ist der Nährstoffverlust im Herbst und Winter, der mit Beginn der Wachstumsphase durch Düngergaben ergänzt werden muss. Hinzu kommt der durch intensive Bodenbearbeitung und künstliche Bewässerung verursachte Verlust an organischer Substanz. Beide Szenarien können beispielsweise zu einem Stickstoffaustrag führen, der dann der Ertragsbildung fehlt und vielleicht sogar andernorts die Umwelt belastet. Dem kann durch reduzierte Düngerapplikation entgegengewirkt werden, wodurch sich die Stickstoffüberschüsse am Kulturende effizient reduzieren lassen. Der Verlust durch Mineralisation, der durch die Bodenbearbeitung und Bewässerung künstlich verstärkt wird, kann dadurch aber nicht berücksichtigt werden. Eine stickstoffzehrende Zwischenfrucht, die nach der Ernte angelegt wird, könnte in dieser Zeit den Stickstoffüberschuss aufnehmen. Nämlich auch sie bindet für die Biomassebildung mineralischen Nitratstickstoff und stellt ihn für die Folgekultur in Form von organischer Substanz wieder zur Verfügung. Somit kann überschüssigen Nährstoffausträgen Einhalt geboten werden (Thomas & Archambeaud, 2018, S. 15 ff.).

2.2. Zwischenfruchtanbau

Ein erfolgreicher Zwischenfruchtanbau ist an standörtliche und produktionstechnische Mindestvoraussetzungen gebunden. Wenn die Vorfrucht früh räumt, können die Zwischenfrüchte die längere Zeit für das Wachstum nutzen. Die Zeitspanne in den Sommermonaten ist die produktivste, da hohe Temperaturen hohe Zuwachsraten garantieren. 50 Tage mit 9°C als Tagesmitteltemperatur werden im Allgemeinen als Untergrenze angesehen, damit die Vorteile einer Zwischenfrucht zu Nutzen kommen. Untersaaten oder Vorerntesaaten, die vor der Ernte etabliert wurden, treiben mit Räumen der Deckfrucht zügig wieder aus und können somit kürzesten Restvegetationszeiten trotzen. Stoppelsaaten sollten direkt nach dem Drusch ausgesät werden. Um die Restfeuchte des Bodens zu nutzen, sollte die Aussaat parallel zum Drusch erfolgen. Trotz alledem ist Sorgfalt geboten, damit eine ausreichende Tiefenlage und vollständige Bedeckung der Samen gewährleistet ist. Dies ist vor allem von Relevanz, wenn der Boden aufgrund einer trockenen Wetterlage und geringer Restfeuchte auszutrocknen droht. Innerhalb einer fünfzigtägigen Wachstumsphase benötigt ein geschlossener Zwischenfruchtbestand ca. 150 bis 200 mm Wasser. Eine ausreichende Restfeuchte und dementsprechende Niederschläge in den Monaten August und September sind Voraussetzung für die Versorgung eines solchen Bestandes. Weitere Voraussetzungen für das Gelingen einer Zwischenfrucht sind hohe Bestandsdichten und eine ausreichende Stickstoffversorgung (Baeumer, 1992, S. 368 f.).

Zwischenfrüchte, die ihre Hauptwachstumsphase nach Abernten der Hauptkultur bis zur Vegetationsruhe im Spätherbst haben und vor Winter abgeerntet oder im Spätherbst/Winter absterben, zählen zu den **Sommerzwischenfrüchten**. Auch winterharte Pflanzenarten zählen zu ihnen, wenn sie vor dem Winter genutzt werden und anschließend zum Schutz des Bodens bis in das nächste Jahr stehen bleiben. Jene Kulturen, die über den Spätherbst/Winter nicht absterben und für ihre Ertragsbildung 40 bis 60 Tage vor Winter oder auch 50 bis 70 Tage nach Winter benötigen, zählen zu den **Winterzwischenfrüchten**. Je nach Voraussetzung erfolgt die Aussaat zwischen Mitte August und Ende September. Eine Ernte findet in den meisten Fällen im Folgejahr zwischen dritter April- und dritter Maidekade statt. Ihr Anbau ist risikoarm, da die Winterfeuchtigkeit in der Regel hoch ausfällt. Je länger die Zwischenfrucht in das Frühjahr hineinwächst, desto stärker zehrt sie von den Wasservorräten des Bodens, wodurch sich die Etablierung der Folgekultur erschweren kann. Gängige Pflanzen des Sommer- und Winterzwischenfruchtanbaues werden im Folgenden unter der Tabelle 1 aufgelistet (Entrup, et al., 2018, S. 11 f.).

Tabelle 1: Pflanzenarten und -mischungen des Sommer- und Winterzwischenfruchtanbaues (verändert nach, Entrup et al.)

Pflanzenarten des Sommerzwischenfruchtanbaues			
Futterkohl	Einjähriges Weidelgras	Perserklee	Futtererbsen
Stoppelrüben	Welsches Weidelgras	Alexandrinerklee	Sommerwicken
Sommer-/Winterraps	Sonnenblumen	Inkarnatklee	Ackerbohnen
Sommer-/Winterrübsen	Phacelia	Erdklee	Blaue Lupine
Ölrettich	Buchweizen	Gelbklee	Gelbe Lupine
Senfarten	Ramtillkraut	Serradella	Weiße Lupine
	Rauhafer		
Pflanzenarten und -mischungen des Winterzwischenfruchtanbaues			
Welsches Weidelgras			
Winterroggen			
Wintertriticale			
Winterraps			
Winterrübsen			
Inkarnatklee			
Winterwicken			
Landsberger Gemenge (Welsches Weidelgras, Winterwicke, Inkarnatklee)			
Wickroggen (Winterwicke, Winterroggen)			

2.3. Einfluss auf die Biodiversität

Die Landwirtschaft ist ein Ökosystem, welches die Artenvielfalt benötigt, um die Stabilität der Lebensgemeinschaft erhalten zu können. Ist dies nicht gewährleistet, machen sich immer mehr Krankheiten bei Pflanze und Tier bemerkbar. Ebenso kann auch einseitiges Unkrautaufkommen eine Folge sein. Vor allem die Zwischenfrüchte, die als Gründung auf dem Feld verbleiben, bieten die Möglichkeit die Biodiversität eines Anbausystem zu fördern. Von Vorteil sind dabei Mischungen mit zahlreichen Komponenten, da sich die Pflanzenarten untereinander begünstigen und auf verschiedene Klimabedingungen reagieren können (Hampl, 1996, S. 25).

Bei dem sogenannten Biomax-Konzept werden mindestens vier Arten vermischt. Desto mehr Komponenten enthalten sind, desto einfacher und erfolgreicher ist der Anbau. Eine solche Pflanzenmischung zielt darauf ab, so viele miteinander verträgliche Arten wie möglich zu vergesellschaften. Man orientiert sich dabei an dem System der Forstwirtschaft. Auch hier besiedeln verschiedenste Arten die Oberfläche oberirdisch und die Wurzelräume unterirdisch. Die einstige Oberfläche wird zum Raum, in dem sich verschiedene Arten je nach Bedingungen übereinander anordnen und zusammenleben (Thomas & Archambeaud, 2018, S. 102 ff.).

Artenreiche Zwischenfrüchte schaffen attraktive Lebensräume für Nützlinge, die wiederum den Landwirten im Kampf gegen Kulturschädlinge beistehen. Besonders wichtig ist jedoch den Boden dicht, tief und fein zu durchwurzeln, sodass die Wurzelvielfalt die umfangreiche Vielfalt des Bodenlebens füttert. Für die Zwischenfruchtmischungen sollten ausschließlich Pflanzen verwendet werden, die nicht im Anbausystem als Nutzpflanzen vorkommen und entsprechend der Standortgunst ausgewählt werden. Nur so kann man die Auswirkungen der Monokultur einschränken, welche als größter Eingriff in das natürliche Ökosystem gilt (Hampl, 1996, S. 25).

Zudem bieten Zwischenfrüchte eine Unkrautunterdrückung. Unkräuter werden vollkommen unterdrückt oder wachsen als Beikräuter mit. Diese nehmen innerhalb der Zwischenfrucht einen bescheidenden Platz in der Vielfalt ein und kommen nicht im zahllosen Ausmaß vor. Sie können die Folge nicht hundertprozentig geeigneter Mischungen oder fehlerhafter Anbaumaßnahmen sein. Sie weisen als Zeigerpflanzen oft auf Probleme wie fehlende Bodenbedeckung oder starke Bodenverdichtungen hin. Diese Pflanzen sind oft durch gezielte Bodenlockerung in Kombination mit lebendig verbauenden und wurzelstarken Zwischenfruchtmischungen zu beseitigen, sodass der Herbizideinsatz ausbleiben kann (Hampl, 1996, S. 31).

2.4. Einfluss auf den Boden

Bodenschutz findet durch die Vegetation statt. Sie ist die Schnittstelle zwischen Boden und Atmosphäre, welche neben dem Schutz der Biologie auch physikalische und chemische Schutzfunktionen übernimmt. Dank ihr wird beispielsweise der Abpralleffekt reduziert, der vor allem durch Starkregen hervorgerufen wird. Somit wird ein Verschlämmen der Oberfläche verhindert, sodass es nicht zu wasserundurchlässigen Krusten und Bodenabtrag kommt. Die Pflanzendecke sorgt auch für gedämpfte Temperaturschwankungen bei starker Sonneneinstrahlung und bietet einen Verdunstungsschutz. Auf unbedeckten Böden würden die Temperaturen stark ausreißen, wodurch nicht nur die Pflanzen, sondern auch das

Bodenleben in Mitleidenschaft geriete. Ebenso ist die lebende Pflanzendecke Schnittstelle zwischen mineralischem Milieu (Wasser, Muttergestein), dem oberirdischen Leben und der Atmosphäre. Die chemische Fruchtbarkeit wird durch Wiederverwertung mineralischer Nährstoffe und Synthese der Humusmoleküle erhalten, welche die Bodenstruktur stabilisieren. Stichwort ist die „dynamische Bodenstrukturierung“, welche hauptsächlich durch Wurzelbiomasse, aber auch durch Lebewesen hervorgerufen wird. Das Aufbrechen des Bodens und der gleichzeitige Zusammenhalt sind das Resultat. Innerhalb der Rhizosphäre geht die Pflanze mit unzähligen Organismen eine Beziehung ein, die die Zellen der Pflanze versorgen und auch selbst davon profitieren. Ein Beispiel für eine solche Symbiose ist die Vergesellschaftung der Wurzeln mit Pilzhyphen der Mykorrhiza. Die Mykorrhiza versorgt die Pflanze mit Nährsalzen und Wasser und erhält Zucker durch die Pflanze. Die Pilze geben wiederum ein Protein namens Glomalin ab, welches wie ein Klebstoff wirkt und zusätzlich feinste Partikel zu stabilen Aggregaten verbindet. Humusaufbau findet also nicht nur durch Produkte der Photosynthese, sondern auch durch Produkte der Pilze statt (Thomas & Archambeaud, 2018, S. 48 ff.).

Ein weiterer Einfluss des Zwischenfruchtanbaues auf den Boden ist der Auswaschungsschutz. Durch die Festlegung von Nährstoffüberhängen in Biomasse nach der Ernte der Hauptkultur wird aktiver Umweltschutz betrieben. Dabei ist vor allem die Bedeutung der Pflanzendecke als Nitratsenke von Relevanz. Kann der Stickstoff, der sich in der obersten Bodenschicht angereichert hat, nicht durch eine Zwischenfrucht oder Folgekultur aufgenommen werden, droht er durch zunehmende Niederschläge in Form von Sickerwasser ausgewaschen zu werden. Der Herbst wird durch eine stark ausgeprägte Mineralisation begleitet. Die für den Herbst zunehmend feuchten Verhältnisse und der noch warme Boden fördern die biologische Aktivität, wodurch der in organische Substanz festgelegte Stickstoff freigesetzt wird. Durch Arbeitsgänge wie die intensive Bodenbearbeitung kommt es zu einer Lockerung und Belüftung des Oberbodens. Die Mineralisation wird durch den Sauerstoffeintrag zusätzlich angetrieben und hat eine verstärkte Stickstofffreisetzung zur Folge. Die Abb. 1 zeigt den Einfluss der Zwischenfrucht auf den jährlichen Stickstoffverlust. In dem Langzeitversuch, der sich von 1990 bis 2003 erstreckte, wurden verschiedene Verfahren gegenübergestellt (nackter Boden + klassische Düngung, nackter Boden + um

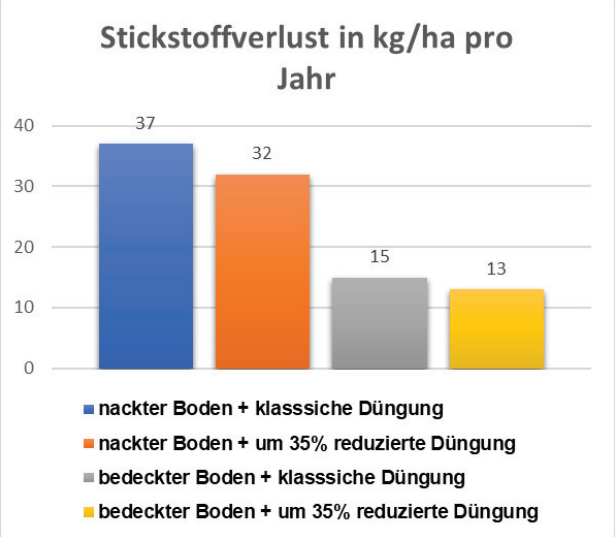


Abbildung 1: Stickstoffverlust je nach Zwischenkultur (verändert nach, AREP, Thibie, Durchschnitt 1991-2003)

35% reduzierte Düngung, bedeckter Boden + klassische Düngung und bedeckter Boden + um 35% reduzierte Düngung). Im Schnitt der Jahre kam es auf dem nackten Boden mit klassischer Düngung zu einem Stickstoffverlust von 37 kg/ha. Vor allem die Leguminose (Erbse), die als Hauptkultur angebaut wurde, wies durch ihre weichen und stickstoffhaltigen Ernterückstände (enger Kohlenstoff (C)/Stickstoff (N)-Verhältnis = schnelle Mineralisation) hohe Verluste bei unbedecktem Boden auf. Die Stickstoffauswaschung wurde in beiden Varianten durch den Zwischenfruchtanbau vermindert. Dabei konnte die Auswaschung vor dem Anbau einer Hauptkultur als Winterung um 50% und vor dem Anbau einer Sommerung um bis zu 80% reduziert werden. Die Art des Zwischenfruchtanbaues ist dabei maßgebend (Thomas & Archambeaud, 2018, S. 20 &. 27 f.).

2.5. Einfluss auf die Ertragsstabilität

Aufgelockerte und weite Fruchtfolgen haben phytosanitäre Effekte, die unter anderem auch auf den Zwischenfruchtanbau zurückzuführen sind. Denn Zwischenfrüchte sind ein Hauptwerkzeug, um jene Fruchtfolgen zu lockern und daher mit verantwortlich, dass Nutzpflanzen sich gesund entwickeln. Jene Krankheiten, die es auch im natürlichen System gibt, werden von den Gegenkräften der Lebewesen abgewehrt. Dabei fallen die Individuen zum Opfer, welche geschwächt sind. Durch die Vergesellschaftung verschiedenster Pflanzenarten, wie sie auch in einer Zwischenfruchtmischung vorkommen, können Symbiosen bzw. positive Allelopathien jene Gegenkräfte verstärken und somit ein Ausbrechen der Krankheit verhindern. Jene Krankheiten, die jedoch als Pandemie auftreten und alle Individuen einer Art befallen, sind Ursache einer ökologischen Unstabilität. Eine solche Unstabilität wird in den meisten Fällen durch monokulturellen Nutzpflanzenanbau verursacht, welcher die so wichtige Biodiversität vermindert. Zur Verhinderung dieser Fälle ist der Zwischenfruchtanbau unumgänglich. Sollte dennoch weiterhin keine Verbesserung festzustellen sein, muss die Fruchtfolge nochmals erweitert werden und der zeitliche Abstand der betroffenen Hauptkultur größer gewählt werden (Hampl, 1996, S. 32).

Die Vorteile des Zwischenfruchtanbaues rühren hauptsächlich von der Förderung des Bodenlebens durch Wurzeln und der eingespeicherten Sonnenenergie. Mit einer breiten Auswahl an Zwischenfruchtkomponenten lässt sich eine breite Spate an Lebewesen und Mikroorganismen ernähren. Ist der Boden zudem noch durch eine ständige Bodenbedeckung geschützt, sodass Erosion vermindert und die Krümelstruktur aufgebaut wird, kommt es zum Bodenaufbau – Humusbildung. Der Humus ist die Grundlage für stabiles und ertragreiches Pflanzenwachstum. Außerdem verbessert sich die Mobilisierung der Nährstoffe und auch der Nährstoffumsatz allgemein, da beispielsweise Leguminosen den Luftstickstoff in den Boden

einlagern und er somit für andere Pflanzen zugänglich wird. Desto effizienter das Anbausystem letztendlich wird, desto mehr kann der Zwischenfruchtanbau zum kostensparenden Faktor werden. Durch seine positiven Einflüsse auf das Pflanzenwachstum lassen sich immer mehr Dünge- und Pflanzenschutzmittel einsparen. Deshalb sind die Kosten des Zwischenfruchtanbaus eine Investition in die Zukunft und die nächste Generation (Hampl, 1996, S. 35 f.).

Die von (Hampl, 1996) angenommene Theorie, dass mit zunehmendem Verzicht auf leichtlösliche Düngemittel der Ertragseffekt durch die Gründüngung zunimmt, bestätigt sich durch den bereits zuvor erwähnten Langzeitversuch von 1990 bis 2003 aus Thibie. Die Abb. 2 zeigt, dass in den ersten beiden Jahren der Weizenertrag zurückgegangen ist. Dies wurde jedoch auf die Möglichkeit zurückgeführt, dass der Boden zum einen erst Stickstoff und Mineralien zum Humusaufbau verwendet und zum anderen könnte das Management des Zwischenfruchtanbaues wegen mangelnder Erfahrung nicht optimal gewesen sein. Nach einer Umstellungsphase von nur drei Jahren wurden die ersten Mehrerträge festgestellt. Durch die vorteilhafte Nährstoffmobilisierung zeigte die selbstregulierende Bodenfruchtbarkeit seine Wirkung. In der dritten Phase kam es zur nochmaligen Steigerung, sodass die Variante „Bedeckter Boden + um 35% reduzierte Düngung“ ein gleiches Ertragsniveau wie die Variante „Nackter Boden + klassische Düngung“ erreichte. Die im Laufe des Kapitels beschriebenen Wirkungen des Zwischenfruchtanbaus werden dazu geführt haben, dass das Ökosystem Landwirtschaft optimiert und verbessert wurde (Thomas & Archambeaud, 2018, S. 21).

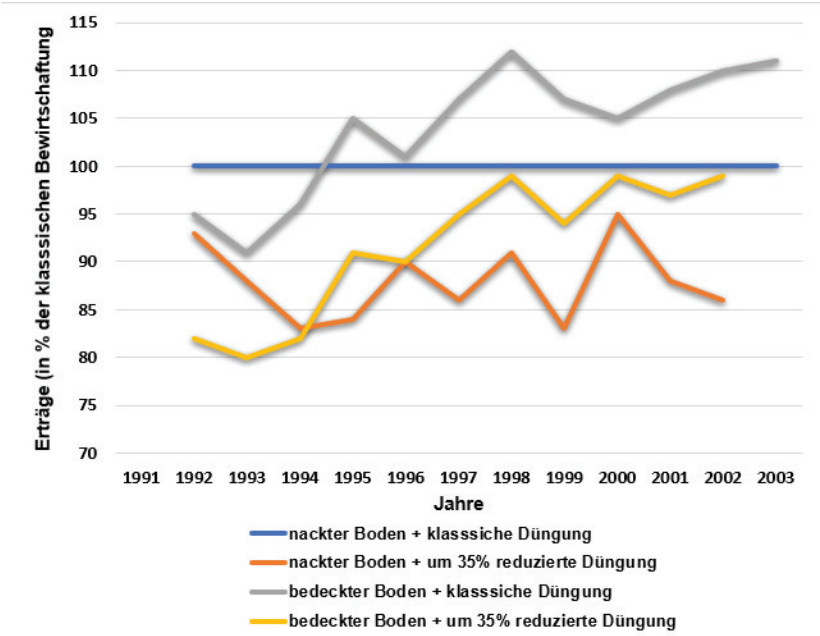


Abbildung 2: Weizenertragsentwicklung je nach Bewirtschaftungstechnik (verändert nach, AREP, Thibie, 1990-2003)

3. Material und Methoden

3.1. Standortzonierung

Die folgenden Beschreibungen, die der Standortzonierung dienen, liegen eigenen Erhebungen und folgenden Quellen zugrunde: Dem (Deutscher Wetterdienst) und WMS-Layer des Geoportals MV (MV Geologische Karten), (Mecklenburg-Vorpommern, MV Bodengeologie, o.D.) und (MV Hydrogeologie).

Die Fläche des Versuches liegt in der Gemarkung der Gemeinde Dersenow und grenzt an die Bundesstraße 5 in der Nähe des Ortsteils Hirschkrug. Mit der Lage im Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe nicht weit der Wetterstation Boizenburg herrscht auch hier eine mittlere Jahrestemperatur von 9 °C und ein Jahresniederschlag von 660 mm (1981-2010). Nach der glazialen Entstehung findet man in der ebenen bis flachwelligen Landschaft überwiegend eine Parabraunerde-Pseudogley der Grundmoräne mit Grundwassereinfluss vor. Aufgrund dieser Standortgunst weisen die Böden hohe Feldkapazitäten auf und sind somit auch für den Anbau anspruchsvoller Kulturen wie beispielsweise Weizen, Gerste und Raps geeignet. Der Grundwasserflurabstand liegt zwischen drei und fünf Metern, wobei es zu einer Grundwasserneubildung von 100 bis 150 Litern pro Jahr kommt. Durch die geschützte Lage eines Waldstückes im Norden und eines im Süd-Westen und des wenig kupierten Geländes ist die Gefährdung durch Wind- und Wassererosion sehr gering.

3.2. Feldhistorie und Bestandsetablierung

Mit der Übernahme der Bewirtschaftung im Jahre 2001 des jetzigen Eigentümers kam es nach jährlichem Einsatze des Pfluges zum erstmaligen und endgültigen Verzicht. Fortan wurde in den ersten beiden Jahren auf ca. 20 cm einmalig gegrubbert und seit 2003 einmal jährlich ein Bearbeitungsgang mit der Scheibenegge auf ca. 12 cm zur Aussaat durchgeführt. Im gleichen Zuge wurde die Fruchtfolge erweitert, in der sich folgende Feldfrüchte mit durchschnittlichen Erträgen eingliedern: Sommerhafer (54 dt/ha), Wintergerste (60 dt/ha), Winterraps (40 dt/ha) und Winterweizen (65 dt/ha). Im Laufe der Jahre wurde die Fruchtfolge mit Silomais (54 dt/ha) ergänzt und erstmalig im Jahre 2019 des Feldversuches auf eine Zwischenfrucht gesetzt. Nach den Folgen der extremen trockenen Verhältnisse im Jahr 2018 litten die Wasservorräte der Böden im Jahr 2019 weiter. Vereinzelte Niederschläge im Juni bis September kamen der Etablierung und Entwicklung der Zwischenfrucht zugute. Die Vorfrucht Winterweizen wurde am 24.Juli mit einem durchschnittlichen Ertrag von 64 dt/ha geerntet, wobei die Zwischenfruchtaussaat der Vorerntesaat bereits vier Wochen zuvor erfolgte und die der anderen Anbauverfahren am 10. August.

3.3. Artenbeschreibung

Die folgenden Inhalte, die der Artenbeschreibung der einzelnen Komponenten der Zwischenfruchtmischung (Weißer Senf/Gelbsenf, Phacelia und Ramtillkraut) dienen, liegen der Quellen (Thomas & Archambeaud) und (Hampl) zugrunde.

3.3.1 Weißer Senf/Gelbsenf

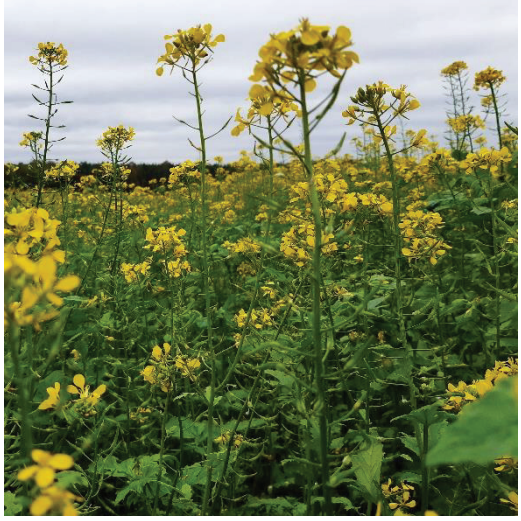


Abbildung 3: Abblühender Weißer Senf/Gelbsenf der Versuchsparzelle „ZF Scheibenegge“ (eigene Aufnahme, 20.10.2019)

Die in Abb. 3 abgelichtete Pflanzenart „Weißer Senf“ (lat. Sinapis alba) oder in der Praxis wegen seiner gelben Blüten oft genannte „Gelbsenf“ ist mediterraner Herkunft (Nordafrika, Nahost, Südeuropa). Der Gelbsenf ist eine einjährige Krautpflanze, die in der Regel über Winter gut abfriert. Innerhalb weniger Wochen bedeckt er den Boden sehr schnell, bildet viel oberirdische Biomasse. Wege seiner mittleren bis hohen Wuchsform eignet er sich für die oberen Etagen einer Zwischenfruchtmischung. Mit seinen zahlreichen Blüten bietet er Nahrung für zahlreiche bestäubende Insekten. Im lockeren Boden bildet sich eine Pfahlwurzel mit Seitenwurzeln, die mit Feinwurzeln bestückt ist. Auf verdichteten Böden bildet er jedoch kaum Wurzelmasse. Trotz alledem eignet er sich aufgrund der Spätsaatverträglichkeit als Bodenbedeckung vor Winter nach späträumenden Hauptkulturen. Bei Frühsaaten oder trockenen Bedingungen wechselt er schnell von der vegetativen in die generative Wachstumsphase und droht durch Aussamen die Folgekultur zu verunreinigen. Bleibt der Senf bis in das nächste Frühjahr stehen, so verzögern die schnell verholzten und hellen Pflanzenrückstände die Bodenerwärmung. Wenn er nicht in Kombination mit Leguminosen angebaut wurde, geht die Zersetzung der verholzten Pflanzenrückstände nur schwer voran (weites C (Kohlenstoff)/ N (Stickstoff) – Verhältnis) und kann daher Stickstoffmangel in der Folgekultur verursachen. Dies könnte durch eine frühere Bekämpfung des Senfs umgangen werden. Vorteilhaft sind die günstigen Saatgutkosten und die ausreichende Bodenbedeckung bei geringer Saatstärke (10 kg/ha). Zudem ist die Pflanze unempfindlich gegen Schnecken. In einer Mischung sollte dem Gelbsenf ein geringer Anteil zugesprochen werden (max. 1 bis 2 kg/ha), damit er nicht die anderen Komponenten mit seiner starken Konkurrenz unterdrückt. Dies beugt auch dem frühen Einsatz des Schossens und der Samenbildung vor. Mechanisch lässt sich der Senf durch Mulchen und Mähen gut bekämpfen.

Mit ausreichender Entwicklung ist auch ein Walzen oder Abfrieren möglich. Spätsaaten und langsame Entwicklung fördern die Überwinterung, sodass er im Frühjahr weiterzuwachsen droht. In Reinsaaten sollten 8 bis 10 kg/ha auf 0,5 bis 2 cm ausgesät werden.

3.3.2. Phacelia

Abbildung 4: Blühende Phacelia der Versuchsparzelle „ZF Vorerntesaat" (eigene Aufnahme, 06.10.2019)

Die hellblau bis lilafarben blühende Phacelia (lat. Phacelia tanacetifolia), die in Abb. 4 abgelichtet ist, entstammt dem Norden Mexikos, Südkalifornien, Arizona und Nevada. Zudem kann sie überall in Europa wachsen. Die rainfarnblättrige Pflanze gehört zu den Wasserblattgewächsen (Hydrophyllaceae) und kann Wuchshöhen bis 70 cm erreichen. Alle Pflanzenteile sind behaart und ihre Blüte bildet eine ährenförmige Traube, die sehr gerne von bestäubenden Insekten angeflogen wird. Aufgrund ihrer mediterranen Herkunft ist sie relativ anspruchslos und gedeiht auf allen Böden. Sie überlebt Trockenheit und leichte Fröste. Die Pfahlwurzeln weisen nur einen geringen Ansatz an Seiten- und Feinwurzeln auf. Ähnlich wie der Gelbsenf hat auch die Phacelia eine Konkurrenzwirkung und sollte daher in Mischungen mit 1 bis 1,5 kg/ha ausgesät werden. Aufgrund ihrer schnellen Reife zwischen drei und vier Monaten kann es zur Selbstaussaat kommen, sodass sie im Bestand der Folgekultur weiter bestehen könnte. Es ist von großem Vorteil, dass sich die Pflanze von den sonstigen Kulturpflanzen unterscheidet und somit eine phytosanitäre Wirkung hat. Durch die dunklen bis schwarzen Rückstände kann sich der Boden im nächsten Frühjahr schneller erwärmen, was der Keimung der Folgekultur zugutekommt. Dies ist vor allem für Mulch- und Direktsaatbetriebe relevant, weil die mangelnde Bodenerwärmung vor allem zum Maisanbau immer wieder ein Thema auf solchen Flächen ist. Phacelia kann jeder Mischung beigegeben werden, da sie sich an anderen Pflanzen stützt, sehr gut Lücken füllt und sich oberirdisch in die mittleren und oberen Etagen eingliedert. Nach Spätsaaten und langsamer Entwicklung kann auch die Phacelia überwintern. Mechanisch lässt sie sich vor allem durch das Walzen bekämpfen. Sie ist eine früh- und spätsaatverträgliche Zwischenfruchtkomponente, die in Reinsaaten mit 6 bis 10 kg/ha ausgesät wird. Hier sind die Saatgutkosten jedoch hoch, weshalb der Anbau in einer Mischung kostengünstiger ist.

3.3.3. Ramtillkraut

Abbildung 5: Ramtillkraut in der Parzelle „ZF Vorerntesaat“ (eigene Aufnahme, 10.09.2019)

Das in Abb. 5 zu sehende einjährige und sehr frostempfindliche Ramtillkraut (lat. Guizotia abyssinica) ist ein wahrer Biomassebildner. Aufgrund der Frostempfindlichkeit sollte diese Zwischenfrucht eher früh ausgesät werden, damit sie Biomasse bildet und erfolgreich Durchwuchs und Unkräuter unterdrücken kann. Unter passenden Bedingungen kann das Ramtillkraut 2 m Wuchshöhe erreichen. Wegen der frostempfindlichen Eigenschaft und der Anfälligkeit gegenüber Schneckenfraß, wird es auch in Begleitsaat im Rapsanbau verwendet. Indem das Ramtillkraut schnell Biomasse bildet, bevor andere Komponenten den Boden bedecken, nimmt es in Sommerzwischenfruchtmischungen einen guten Platz ein. Auch wenn das Saatgut nicht immer leicht zu beschaffen ist, bietet es viele Vorteile. Der leichte Anbau führt vor allem auf warmen und stickstoffreichen Böden zu einer schleunigen Bodenbedeckung und Bodenerschließung. Auf kalkhaltigen Böden wächst diese Pflanzenart jedoch eher spärlich. Trotz alledem bleibt die Gefahr des Schossens gering und die Parzellen bleiben aufgrund allelopathischer Wirkung der Pflanzenrückstände bis zum Frühjahr unkrautfrei, obwohl das Ramtillkraut in der Regel schon früh im Herbst abfriert. In Reinsaaten werden Saatstärken von 8 bis 12 kg/ha empfohlen.

3.4. Versuchsaufbau

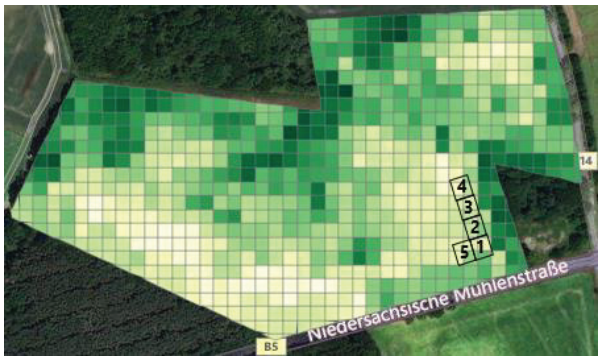


Abbildung 6: Biomassekarte der Vorfrucht Winterweizen (Aufnahme Isaria-Stickstoffsensor am 10.05.2019) mit Lage des Versuches im Feld „Hirschkrug“: 1=ZF Vorerntesaat, 2=ZF Direktsaat, 3=ZF Lockern, 4=ZF Scheibenegge und 5=Brache (eigene Darstellung)

Für die Gegenüberstellung der verschiedenen Zwischenfruchtanbauverfahren wurden einzelne Parzellen angelegt (siehe Anhang 1-4), deren Anordnung man der Abb.6 entnehmen kann. Jene Parzellen wurden nach den Maßen 24 m x 24 m abgesteckt. Die hinterlegte Biomassekarte der Vorfrucht Winterweizen soll verdeutlichen, dass die einzelnen Standorte keine erheblichen Unterschiede zueinander aufweisen. Die Parzelle „ZF Vorerntesaat“ wurde vor der

Ernte mittels manuellen Einwerfens angelegt, da für den Versuch keine Maschine zur Verfügung stand. Die Aussaat erfolgte bereits vier Wochen vor der Weizenernte. Zum Zeitpunkt der Ernte musste ein Hochschnitt durchgeführt werden, da die Zwischenfrucht im Weizen bereits gekeimt war. Auf allen Parzellen wurde das Stroh gehäckselt und verblieb auf der Fläche. Am 02. August erfolgte auf der Parzelle „ZF Scheibenegge“ die Bodenbearbeitung mittels X-förmiger Scheibenegge (Discover XL – Kuhn) auf ca. 12 cm Arbeitstiefe. Dabei wurden die Erntereste säuberlich eingearbeitet und Altverunkrautung entwurzelt und verschüttet. Ebenfalls wurde die Parzelle „ZF Brache“ mit der Scheibenegge bearbeitet. Hier wurde ein flacher Stoppelsturz durchgeführt. Danach wurde die Parzelle sich selbst überlassen, sodass sie sich im Zeitverlauf selbst begrünte. Am Tage darauf wurde die Parzelle „ZF-Lockern“ mit dem Tiefenlockerer (Simba DTX 300 – Great Plains) auf ca. 34 cm gelockert. Die breiten Flügelschare heben den Boden an und brechen mögliche Verdichtungen. Ein kombiniertes Element einer Kurzscheibenegge zerkleinert und vermischt dabei die Ernterückstände nahe der Oberfläche (ca. 4 cm). Darauf erfolgte am 10. August die Aussaat der bearbeiteten Flächen und die der Parzelle „ZF Direktsaat“. Zur Aussaat stand eine mulch- und direktsaatfähige Drillmaschine (Tandem Flex – Auf der Landwehr) zur Verfügung. Mit ihren 250 kg Schardruck wurde die Zwischenfruchtmischung (ATR Special-Mix) bestehend aus Gelbsenf (50%), Phacelia (25%) und Ramtillkraut (25%) auf 1,5 bis 2 cm ausgesät. Auf allen Parzellen wurde eine empfohlene Saatstärke von 25 kg/ha gewählt.

3.5. Erhebungen im Bestand

3.5.1. pH-Wert und Bodenart

Im Rahmen der Erhebungen wurden unter anderem auf jeder einzelnen Parzelle ein Bodenprofil ausgehoben. Für jede Parzelle wurden am 31.12.2019 Mischproben der einzelnen Bodenhorizonte (0 – 30 cm, 30 – 60 cm und 60 – 90 cm) gezogen und bis zur Beprobung kühl und trocken gelagert. Im Folgenden wurde die Bodenart mittels Fingerprobe bestimmt und der pH-Wert im Labor mittels Messelektrode gemessen. Jene Erhebungen sollen der Einordnung und Beschreibung des Standorts dienen.

Die Korngrößenverteilung des mineralischen Anteils des Feinbodens setzt sich aus den kleinsten Bestandteilen (< 2 mm) zusammen. Zu ihnen gehört der Sand, der Schluff und der Ton. Durch die Ermittlung der Verhältnisse lässt sich die Bodenart / Textur bestimmen, von der sich gewisse Bodeneigenschaften ableiten lassen. Sie gibt beispielsweise Auskunft über die Nährstoffverfügbarkeit. Die Teilchen der Sande und Schluffe haben eine geringere

Oberfläche als der Ton. Eine große Oberfläche bietet eine hohe Freisetzungsrate an Nährstoffen (Schubert, 2006, S. 157 f.).

Die Beurteilung des Bodens mittels Fingerprobe wurde auf Grundlage der Methode D 2.1 im Methodenbuch der VDLUFA, Band I, 2. Teillieferung 1997 mit Ergänzungen durch die Arbeitsvorschrift des LTZ Augustenberg durchgeführt. Diese Methode ist für feldfeuchte bzw. angefeuchtete Mineralböden aller Art mit Humusgehalten bis vier Prozent geeignet. Dabei wird der Boden durch Formen und Reiben vorwiegend zwischen Daumen und Zeigefinger untersucht. Anhand eines schematischen Vorgangs kommt man schließlich zu einem Ergebnis – die Bodenart. Die Prüfung auf Körnigkeit, Mehligkeit, Bindigkeit und Klebrigkeit spielt dabei eine entscheidende Rolle. Ein Saugpapier und eine Tropfflasche sind wichtige Hilfsmittel. Der Boden muss angefeuchtet werden, damit die Ergebnisse nicht verfälscht werden. Zu nasser Boden kann mit dem Saugpapier getrocknet werden (Deller & Schmidt, 2010).

Der pH-Wert dient der Bemessung des Säuregerades. Anhand dessen lässt sich die Versauerung des Bodens nachweisen. Der pH-Wert ist die Maßzahl für die Wasserstoffionenkonzentration in der Bodenlösung. Mittels Messelektrode wird in wässrigen Lösungen gemessen. Damit der Boden überhaupt gemessen werden kann, werden 10 g Boden mit 25 ml destillierten Wassers oder verdünnter Kalziumchloridlösung vermengt. Die Verdünnung beeinflusst den Messwert kaum, da das Verfahren standardisiert ist und der pH-Wert als 10er-Logarithmus gemessen wird (Stahr, et al., 2008, S. 55).

3.5.2. Trockenmasse und Entwicklung der Wuchshöhe und Frischmasse

Um die Ertragsleistung (Trockenmasse) der einzelnen Zwischenfruchtanbauverfahren nachvollziehen zu können, wurden nach Abfrieren der Zwischenfrucht Mischproben erstellt, wobei oberirdische Pflanzenrückstände von viermal einen Quadratmeter pro Parzelle geerntet wurden (09.04.2020). Jene Proben wurden im Labor nach einer Trocknungszeit von 48 Stunden bei 105 °C in Crispac-Beuteln zurückgewogen.

Die Entwicklung der Wuchshöhe und Frischmasse wurde über die gesamte Vegetationsperiode der einzelnen Zwischenfruchtanbauverfahren begleitet. Hierzu wurden die Parzellen ab der Aussaat in vierwöchigen Abständen beprobt. Für die Ermittlung der mittleren Wuchshöhe wurden die einzelnen Parzellen N-förmig abgegangen und an zehn Punkten in der Parzelle mit einem Zollstock vermessen. Aus den einzelnen Messungen wurde dann ein arithmetisches Mittel gebildet. Für die Frischmasseentwicklung wurden ebenfalls pro Parzelle viermal ein Quadratmeter beprobt. Dazu wurde der einzelne Quadratmeter abgesteckt und die sich darauf befindende Biomasse oberirdisch mit einer Gartenschere abgeschnitten. Die

Frischmasse wurde vor Ort mit einer Waage festgehalten, sodass die Einzeldaten zu einem arithmetischen Mittel zusammengefasst werden konnten. Die Erhebung jener Parameter soll die Produktionsleistungen der einzelnen Zwischenfruchtanbauverfahren vergleichbar machen.

3.5.3. N_{min} und Gesamt-N

Für die Prognose des N-Düngebedarfs der Kulturen wurde in den siebziger Jahren von Wehrmann und Mitarbeitern die N_{min}-Methode eingeführt. Um die Dynamik des Stickstoffs im Boden darzustellen, der für die Ernährung des Pflanzenwachstum entscheidend ist, wird der Gehalt des mineralisierten Stickstoffs (N_{min} = NO_3^- - N + NH_4^+ - N) untersucht. Zu Beginn der Vegetationsperiode werden mittels Bohrstock Bodenproben bis 90 cm Tiefe entnommen. Dabei werden die Schichten 0 – 30 cm, 30 – 60 cm und 60 – 90 cm einzeln beprobt. Nach der Probeentnahme müssen die Proben bis zur Untersuchung gekühlt werden, damit die organische Fraktion des Stickstoffs nicht weiter mineralisiert und die Ergebnisse verfälscht. Mittels 0,025 molare Masse Calciumchlorid-Lösung wird N_{min} extrahiert und photometrisch gemessen (Schubert, 2006, S. 178).

Im Rahmen der Erhebungen sollte mittels N_{min}-Methode der Einfluss der Zwischenfrucht auf die Stickstoffdynamik untersucht werden. Dafür wurden zunächst im Hebst (13.10.19) und dann nochmal im Frühjahr (18.04.20) vor Bestellung der Folgekultur Bodenproben entnommen. Jede Parzelle wurde wie oben beschrieben für sich einzeln beprobt, indem eine Mischprobe aus zehn Einstichen erzeugt wurde. Um die Faktoreinflüsse auf ein einheitliches Niveau zu bringen, erfolgte die Probeentnahme jeder einzelnen Parzelle im N-förmigen Muster. Im gleichen Zuge wurden im Frühjahr die Pflanzenrückstände der abgefrorenen Zwischenfrucht geerntet. Anhand zahlreicher Proben wurde eine Mischprobe von ca. 500 g zusammengestellt und mittels Verbrennungsmethode nach Dumas auf den Gesamtstickstoffgehalt untersucht. Auch hier erfolgte die Probeentnahme im N-förmigen Muster.

Hierfür diente die im Methodenbuch 3 der VDLUFA beschriebene Verbrennungsmethode nach Dumas. Üblicherweise wird das Verfahren zur Bestimmung des Rohproteingehaltes in Futtermitteln angewandt. Jedoch wird zunächst durch das Verfahren der Gesamtstickstoffgehalt ermittelt. Dabei werden die Proben in einem Trägergasstrom unter Sauerstoffzugabe bei etwa 1000 °C verbrannt. Der molekulare Stickstoff wird mit einem Wärmeleitfähigkeitsdetektor detektiert, nachdem gebildete Stickoxide reduziert und andere Verbrennungsprodukte durch selektive Absorption entfernt wurden (VDLUFA, 2004).

Für beide Parameter wurden die Proben eingeschickt und nach Auftrag durch die LMS VDLUFA Rostock untersucht. Durch die Gegenüberstellung der Parameter soll man nachvollziehen können, was nach der Ernte der Zwischenfrucht an Stickstoff zur Verfügung

stand und wie viel Stickstoff die einzelnen Varianten über die Wachstumsphase aufgenommen haben. Daraus ließe sich schließen, inwiefern die Gefahr der Auswaschung vermindert wurde und ob der Stickstoffüberhang aus dem Vorjahr für die Folgekultur gesichert werden konnte.

3.5.4. Ausgewählte Parameter der Bodenfruchtbarkeit

Um die unter dem Punkt „2. Stand der Forschung“ beschriebenen Wirkungen der Zwischenfrucht auf den Boden und seine Struktur nachzuvollziehen, sollen Erhebungen ausgewählter Parameter der Bodenfruchtbarkeit durchgeführt werden. Hierzu wurden die Bodenprofile jeder einzelnen Parzelle ausgehoben (siehe Anhang 5-9). Die Bodenprofilansprachen fanden zwischen dem 08. November und 10. Dezember statt. Grund für diese Zeitspanne waren ergiebige Niederschläge, die die ausgehobenen Bodenprofile zwischenzeitig mit Wasser füllten. Vor der Bodenansprache wurde die Profilwand neu abgetragen. Für die praxistaugliche Bodenansprache draußen im Feld diente der Erhebungsbogen „Einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker“ (Senger, et al., 2015), welche im Kooperationsprojekt der Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e.V. (GKB) und dem Thünen-Institut für Agrartechnologie entstanden ist (siehe Anhang 10). In diesem Zusammenhang werden sechs Parameter untersucht: Struktur der Oberfläche, Durchwurzelung des Bodens, Makroporen/Bioporen, Gefüge/Verfestigung, organische Reststoffe und Farbe/Geruch. Positive Verhältnisse können mit „+“ und „+ +“, neutrale mit „0“ und negative mit „-“ und „- -“ bewertet werden. Für die richtige Bewertung dienen Beschreibungen und Bilder auf Vorder- und Rückseite des Erhebungsbogens. Als Werkzeuge wurden Spaten, Zollstock, Hacke und Messer verwendet.

3.6. Statistische Berechnungen

Jegliche Erhebungen die unter dem Punkt „3.5. Erhebungen im Bestand“ beschrieben sind, wurden im Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel in Tabellenform zusammengefasst. Außerdem wurden mit Excel alle Graphen und Berechnungen erstellt, die unter dem Punkt „4. Ergebnisse“ dargestellt und ausgewertet werden.

4. Ergebnisse

4.1. pH-Wert und Bodenart

Aufgrund der ermittelten pH-Werte (siehe Anhang 11), die in den drei unterschiedlichen Bodenhorizonten jeder einzelnen Parzelle erhoben wurden, liegen aufgrund der vorliegenden Bodenarten und pH-Wert-Messungen laut der VDLUFA-Tabelle der (LMS Agrarberatung GmbH, 2018) pH-Wert-Klassen von B bis C vor. Die Werte weisen hinsichtlich der Anbauvarianten keine signifikanten Unterschiede auf. Grund für die vorliegenden Abweichungen können Einflüsse der Standorte sein. Die mittels Fingerprobe bestimmten Bodenarten (siehe Anhang 12) weisen in den Anbauvarianten keine erheblichen Unterschiede auf. Auch innerhalb der Bodenhorizonte ähnelt sich die Textur. Somit sind in den Horizonten von 0 – 30 cm, 30 – 60 cm der lehmige Sand (lS) und in der Tiefe von 60 – 90 cm der sandige Lehm (sL) vertreten.

4.2. N_{min} und Gesamt-N

Folgende unter diesem Punkt aufgeführte Annahmen zur Dynamik des Stickstoffs in Boden und Pflanzen wurden auf Grundlage der bereits besprochenen Nachweise unter den Punkt „2.1. Mineralisation des Stickstoffs im Boden“ getätigt. Die in Tab. 2 aufgeführten Ergebnisse spiegeln die Dynamik des mineralisierten Stickstoffs wider. Zudem sind die Gesamtstickstoffgehalte in den abgestorbenen Zwischenfruchtresten aufgeführt. Die N_{min}-Werte des Herbstes 2019 fallen vermutlich aufgrund der Bearbeitungsintensität der einzelnen Anbauverfahren unterschiedlich aus. Hier hat vor allem die Intensität der Bodenbearbeitung einen entscheidenden Einfluss auf die Mineralisierung des Stickstoffs. Dennoch weisen die N_{min}-Werte keine signifikanten Unterschiede auf.

Tabelle 2: Gesamtstickstoffgehalte der abgestorbenen Zwischenfruchtreste (18.04.2020) und N_{min}-Gehalte im Herbst (13.10.2019) und Frühjahr (18.04.2020) (eigene Darstellung)

	Gesamt-N g/kg TM	Nmin-Herbst	Nmin-Frühjahr
ZF Vorerntesaat	15,6	18	47
ZF Direktsaat	12,8	15	39
ZF Lockern	11,8	18	32
ZF Scheibenegge	12,8	14	30
ZF Brache		20	41

Aufgrund aufgestellter Berechnungen der Korrelation nach Pearson, besteht ein Zusammenhang zwischen Gesamtstickstoffgehalt und N_{min}-Gehalt im Frühjahr. Mit einem aussagekräftigen Korrelationskoeffizienten von 0,873 kann man davon ausgehen, dass bei hohen Gesamtstickstoffgehalten der Zwischenfruchtrückstände im Laufe des Frühjahrs hohe

N_{min}-Gehalte im Boden festzustellen sind. Aufgrund des bis dato generell milden Winters lässt sich vermuten, dass bereits ein Teil der Mineralisation der abgestorbenen Zwischenfruchtreste ober- und unterirdisch stattgefunden hat und weiterhin vonstattengehen wird. Mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,357 wurde ein mäßiger Zusammenhang zwischen Trockenmasse und N_{min}-Gehalt im Frühjahr verzeichnet. Ebenso lässt sich hier die Annahme ableiten, dass mit steigender Trockenmasse der Zwischenfrüchte die N_{min}-Gehalte des nächsten Frühjahrs im Boden höher ausfallen. Verrechnet mit den erhobenen durchschnittlichen Trockenmassen konnten demnach in der „ZF Vorerntesaat" ≈ 32,2 kg N/ha, in der „ZF Direktsaat ≈ 24,2 kg N/ha, in der „ZF Lockern" ≈ 24,1 kg N/ha und in der „ZF Scheibenegge" ≈ 19,5 kg N/ha organisch gebunden und somit in das nächste Jahr transferiert werden. Das bedeutet zugleich, dass diese Mengen an Stickstoff auch vor der Auswaschung in tiefere Bodenschichten geschützt wurden. Eine Ausnahme nimmt hier die „ZF Brache" ein, die trotzdem einen hohen N_{min}-Gehalt im Frühjahr aufweist. Der Dürremonitor des (ufz, Helmholtz - Zentrum für Umweltforschung) weist darauf hin, dass die Wasservorräte aufgrund des sehr trockenen Jahres 2018 nach wie vor stark beansprucht sind. Der SMI (soil moisture index) weist einen Wert zwischen 0,1 und 0,2 auf, was einer moderaten Dürre entspricht. Somit konnten die Bodenhorizonte noch nicht vollständig aufgefüllt und der freigesetzte Stickstoff mit der Bodenlösung noch gar nicht tief ausgewaschen werden. Der organisch gebundene Stickstoff in den Zwischenfruchtresten ist noch nicht vollständig mineralisiert, da noch ausreichend Mulchmaterial an der Oberfläche vorzufinden war. Sehr wahrscheinlich wurde bereits aus den Rückständen der „ZF Vorerntesaat" eine beachtliche Menge Stickstoff freigesetzt. Verglichen mit den anderen Parzellen kann hierfür die verlängerte und höhere Stickstoffaufnahme im Vorjahr durch frühzeitigere Aussaat und die früher eingesetzte Zersetzung durch zeitigeres Absterben der Zwischenfrucht ein Grund sein. Jedoch ist an dieser Stelle zu sagen, dass beide Korrelationen aufgrund der geringfügigen Datengrundlage nicht signifikant nachgewiesen werden können. Im Rahmen dieses Praxisversuches können jene Zusammenhänge Zufall sein.

Nach (Schmidt & Gläser, 2013) konnten in Versuchsanlagen in Sachsen, in denen man sich bereits mit diesem Thema auseinandergesetzt hat, gleiche Zusammenhänge festgestellt werden. Auf sieben unterschiedlichen Standorten wurden verschiedene Zwischenfruchtmischungen und eine Brache verglichen. Generell haben die ertragsreichsten Zwischenfruchtvarianten auch den höchsten Stickstoffgehalt im Spross aufgewiesen. Dies hing vor allem stark von der Zusammensetzung der Zwischenfrucht ab (Anteil an Leguminosen). Die Zwischenfrüchte konnten den N_{min}-Gehalt im Boden vor Vegetationsende stark absenken. Zu Vegetationsanfang des nächsten Jahres wiesen die Parzellen der Zwischenfrüchte höhere N_{min}-Gehalt im Boden auf. Somit wurde im Vergleich der Stickstoff über Winter an der Oberfläche festgehalten und ist nicht wie in der Brache ausgewaschen.

4.3. Trockenmasse und Entwicklung der Wuchshöhe und Frischmasse

Im Folgenden wird näher auf die Entwicklung der Bestände der verschiedenen Zwischenfruchtanbauverfahren eingegangen. Hier ist vor allem die Entwicklung der Frischmasse und Wuchshöhe von Relevanz. Ebenso wird der Entwicklungsverlauf mit während der Erhebungen im Laufe der Vegetationszeit gemachten Beobachtungen ergänzt, welche nochmals in grafischer Form dem Anhang 13-17 zu entnehmen sind sind.

Die Entwicklung der **„ZF-Vorerntesaat“** ist in Abb. 7 dargestellt. Sie basiert wie auch bei den anderen Varianten auf den Erhebungen der Frischmasse und Wuchshöhe, die nach der Aussaat im vierwöchigen Takt stattgefunden haben. Der Abb. 7 kann man ansehen, dass mit steigernder Wuchshöhe der Frischmasseertrag ebenfalls steigt. Verglichen mit den anderen Varianten stiegen diese beiden Parameter im Zeitverlauf eher langsam an.

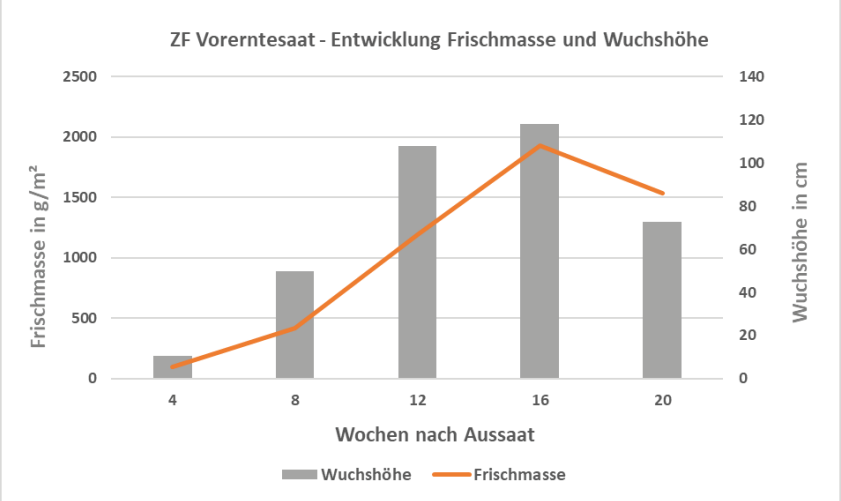


Abbildung 7: Entwicklungsverlauf der Frischmasse und Wuchshöhe der Parzelle „ZF Vorerntesaat“ im Zeitraum vom 21.06.2019 (Aussaat) bis 22.11.2019 (eigene Darstellung)

Wenige Tage nach der Aussaat keimten die ersten Pflanzen. Gegenüber der Phacelia und dem Ramtillkraut (beides Dunkelkeimer) scheint der Gelbsenf (Lichtkeimer) einen Vorteil in der Bestandsetablierung zu haben. Dennoch reichte die geminderte Lichteinstrahlung durch den Weizenbestand dafür aus, dass sich auch Phacelia und wenig Ramtillkraut etablierte. Mit den ersten Messungen der Frischmasse und Wuchshöhe konnte festgestellt werden, dass sich die Werte im Einzelnen stark unterschieden. Grund hierfür schien ein unregelmäßiger Feldaufgang, der von der Lage des Saatgutes (mit Bodenkontakt oder liegend auf Mulch) aber auch von der unterschiedlichen Dichte des Weizenbestandes (unterschiedliche Feuchtigkeitsverhältnisse durch Luftaustausch) abhängen könnte. Besonders in dieser Parzelle wurde festgestellt, dass es keine Konkurrenz durch Ausfallgetreide gab. Lediglich Altverunkrautung war in einem sehr geringen Maße vertreten. Besonders der Gelbsenf ging früh in die generative Phase über, sodass sich die Gefahr eines frühzeitigen Aussamens

ankündigte. Bereits Ende August stand der Gelbsenf in voller Blüte. Am 22. Oktober wurde im Entwicklungsverlauf die höchste Frischmasse und Wuchshöhe (16. Woche) verzeichnet. Die Frischmasse betrug hochgerechnet durchschnittlich 19,2 t/ha und die Wuchshöhe 117,9 cm. Zu diesem Zeitpunkt war der Gelbsenf bereits zu ca. 95 % abgeblüht, wohingegen die Phacelia noch in Blüte stand. Die Sprosse des Gelbsenfs zeigten bereits eine starke Verholzung und die Schoten waren mit Samen besetzt. Mit den ersten kalten Tagen um den 07. Oktober ist das Ramtillkraut bereits bei ca. 0,4 °C in der Nacht abgefroren. Durch die niedrigen Temperaturen (ca. – 3 °C) vom 29. Oktober bis 02. November verzeichneten Phacelia und frühreifer Gelbsenf erste Frostschäden. Die Abreife und Fröste haben dafür gesorgt, dass am 22. November ein erstmaliger Rückgang der Frischmasse und Wuchshöhe verzeichnet wurden. Das Wachstum der Zwischenfrucht war damit beendet. Die Pflanzen lagen vermehrt auf dem Boden und zeigten deutliche Merkmale für eine eingesetzte Rotte. Zudem liefen erste Keimlinge des ausgesamten Gelbsenfs auf. Am 31. Dezember war der Bestand komplett abgefroren. Im März war nahezu keine Verunkrautung festzustellen und der gesamte Boden wurde von Mulch und Moosen bedeckt.

Der Feldaufgang der Zwischenfruchtkomponenten setzte in der „**ZF Direktsaat“** bereits drei Tage nach der Aussaat ein. Erste Gelbsenfkeimlinge waren zu sehen, die nach weniger Zeit durch Phacelia und Ramtillkraut begleitet wurden. Auch in dieser Parzelle war durch den fehlenden Aufgang des Ausfallgetreides keine Konkurrenz zu beobachten. Lediglich eine geringe Altverunkrautung wuchs zunächst über die Zwischenfrucht hinweg. Mit Räumen des Weizens und der späteren Aussaat der Zwischenfrucht, konnten vor allem die Rauke und der Storchschnabel an Vorsprung gewinnen. Verglichen mit der Vorerntesaat stiegen die Werte der Frischmasse und Wuchshöhe, deren Entwicklungsverlauf der Abb. 8 zu entnehmen ist, besonders schnell an. Diese Zuwachsraten fielen vor allem in die sehr warmen Tage um die 30 °C, die durch einige Niederschläge begleitet wurden.

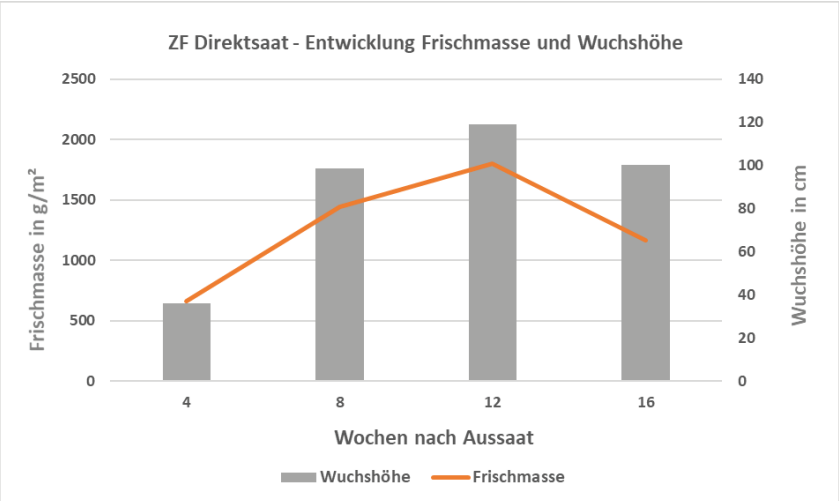


Abbildung 8: Entwicklungsverlauf der Frischmasse und Wuchshöhe der Parzelle „ZF Direktsaat“ im Zeitraum vom 10.08.2019 (Aussaat) bis 10.12.2019 (eigene Darstellung)

Ganz anders als bei der „ZF Direktsaat“ setzte die Blüte des Senfes bezogen auf den zeitlichen Abstand zur Aussaat später ein. Zudem haben sich in dieser Parzelle die Phacelia und das Ramtillkraut viel besser etablieren können. Wobei am 10. Oktober der Gelbsenf bereits wieder abblühte, entwickelte die Phacelia erst ihre Blütenstände. Auch in dieser Parzelle erfror das Ramtillkraut mit den ersten kalten Tagen bei ca. 0,4 °C. Am 28. Oktober blühte die Phacelia, welche verglichen mit denen der Vorerntesaat gedrungener dastanden. Hierfür hat die Konkurrenz des schnellen Überwucherns des Gelbsenfes gesorgt. Nach den frostigen Tagen Anfang November zeichneten der Gelbsenf und die Phacelia leichte Frostschäden. Der nahezu vollständig abgeblühte Gelbsenf ließ die Blütenstände hängen. Ebenso konnten bräunliche Verfärbungen an den Sprossachsen verzeichnet werden, die vermehrt durch weiße Pilzfäden überzogen wurden. Lediglich die Phacelia war nur leicht betroffen. Der Höhepunkt der Frischmasse und Wuchshöhe konnte kurz darauf am 10. November (12. Woche) festgehalten werden. Die durchschnittliche Frischmasse betrug hochgerechnet 18,03 t/ha und die Wuchshöhe 119 cm. Bei den nächsten Messungen zum 10. Dezember wurde ein erster Rückgang der Frischmasse und Wuchshöhe verzeichnet. Mittlerweile ist der Senf deutlich vom Frost gezeichnet, sodass die Blätter abfallen und sich die Pflanzen im Allgemeinen zu Boden legen. Am 31. Dezember waren im Vergleich zu allen anderen Parzellen noch einige grüne Pflanzenteile vorzufinden. Im Laufe des Januars starb die Zwischenfrucht endgültig ab. Auch noch im März wurde nahezu keine Neuverunkrautung beobachtet.

Wie auch in der Vorernte- und Direktsaatparzelle steigt und fällt die Frischmasse in der Parzelle „**ZF Lockern“** mit der Wuchshöhe. Ein ebenso rascher Feldaufgang wurde hier beobachtet. Verglichen mit den anderen Varianten kam es hier gegen Anfang September am ehesten zum Zusammenschluss des Bestandes. Die flache Vermischung der Oberfläche hat dafür gesorgt, dass Ausfallgetreide und Unkraut aufliefen. Somit war hier eine deutliche Konkurrenzwirkung vorhanden. Rein optisch wirkte dieser Bestand bis zum Schluss am höchsten und dichtesten. Um den 22. September setzte die Blüte des Gelbsenfs ein, anhand deren Dichte man die Gleichmäßigkeit des Bestandes erkennen konnte. Gegen Mitte Oktober war der Gelbsenf bereits zu ca. 70 % abgeblüht und die Phacelia hatte noch nicht vollständig Blüteansätze ausgebildet. Auch in der „ZF Lockern“ konnte man nach den frostigen Tagen zu Anfang des Novembers Frostschäden erkennen. Ebenso waren die Sprossachsen des Gelbsenfs von braunen Verfärbungen gezeichnet, die mit weißen Pilzfäden überzogen wurden. Der Abb. 9 ist zum Zeitpunkt des 10. Novembers die höchste Frischmasse und Wuchshöhe (12. Woche) abzulesen. Die durchschnittliche Frischmasse betrug 19,57 t/ha und eine Wuchshöhe von 129,1 cm. Ab Mitte November war die Phacelia in den dichten Beständen kaum wiederzufinden. Sie war zu diesem Zeitpunkt bereits abgefroren. Viel eher war wie auch in allen anderen Parzellen das Ramtillkraut bereits um den 07. Oktober erfroren. Mit der Messung am 10. Dezember wurde ein erstmaliger Rückgang der Frischmasse und

Wuchshöhe festgestellt. Ende Dezember war der Bestand vollständig abgefroren. Eine deutliche Verunkrautung machte sich bemerkbar. Hier waren im März vor allem Vogelmiere und Storchschnabel präsent.

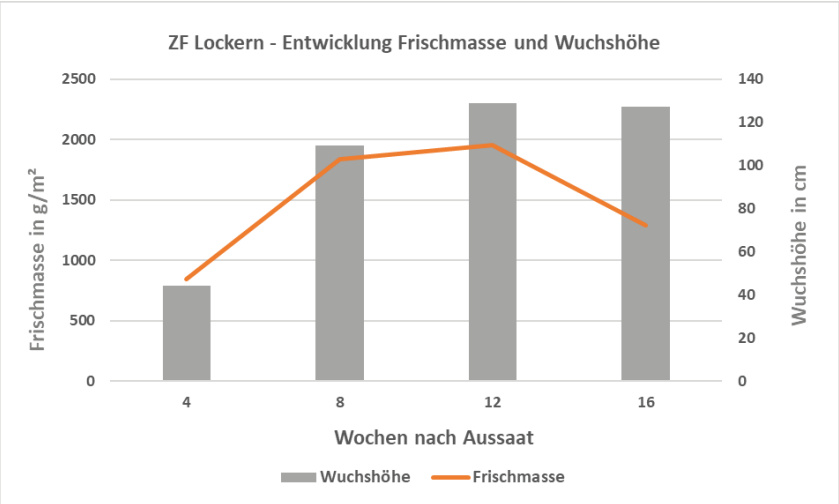


Abbildung 9: Entwicklungsverlauf der Frischmasse und Wuchshöhe der Parzelle „ZF Lockern" im Zeitraum vom 10.08.2019 (Aussaat) bis 10.12.2019 (eigene Darstellung)

Die **„ZF Scheibenegge"**, die zum selben Zeitpunkt wie die „ZF Direktsaat" und „ZF Lockern" ausgesät wurde, hatte einen ebenso zügigen Feldaufgang, der bereits nach drei Tagen sichtbar wurde. Neben der „ZF Lockern" ist auch in dieser Parzelle vermehrt Ausfallgetreide und Unkraut aufgelaufen. Die Reihen der Zwischenfrucht schlossen sich später als die der gelockerten Parzelle. Die Blüte des Gelbsenfs setzte ebenfalls um den 22. September ein. Gegen Mitte Oktober, als das Ramtillkraut bereits erfroren war, ist der Gelbsenf bereits zu ca. 75 % abgeblüht gewesen. Die Phacelia bildete hier im Gegensatz zu der gelockerten Parzelle ihre Blüten viel eher aus. Hier kamen die Bereiche der geringeren Dichte des Gelbsenfs der Phacelia in ihrer Entwicklung zugute. Die kalten Temperaturen zu Beginn des Novembers setzten dem Gelbsenf besonders in dieser Parzelle zu. Hier knickten einige Blütenstände bereits ab. Ebenso wurden verstärkt braune Verfärbungen mit weißen Pilzfäden beobachtet. Die weit entwickelten Phaceliapflanzen waren gegenüber den unterwickelten nicht so sehr vom Frost gezeichnet. Am 10. November wurden auch in dieser Parzelle die höchsten Messungen der Frischmasse und Wuchshöhe verzeichnet. Der Entwicklungsverlauf, der in Abb. 10 nachzuvollziehen ist, zeigt auch hier ein Ansteigen und Fallen mit dem Verlauf der Wuchshöhe. Die durchschnittliche Frischmasse belief sich auf 19 t/ha und die Wuchshöhe auf 123,8 cm. Zum 22. November war ein Großteil der Blütenstände abgeknickt und die älteren Blätter wiesen ein vom Frost zerstörtes Gewebe auf. Am 10. Dezember wurde erstmals ein Rückgang der Frischmasse und Wuchshöhe verzeichnet. Ein Wachstum war zu diesem Zeitpunkt bereits beendet. Mitte Januar war der Bestand vollständig abgefroren. Ebenso wie

in der „ZF Lockern“ fand hier eine deutliche Verunkrautung überwiegend durch Vogelmiere statt.

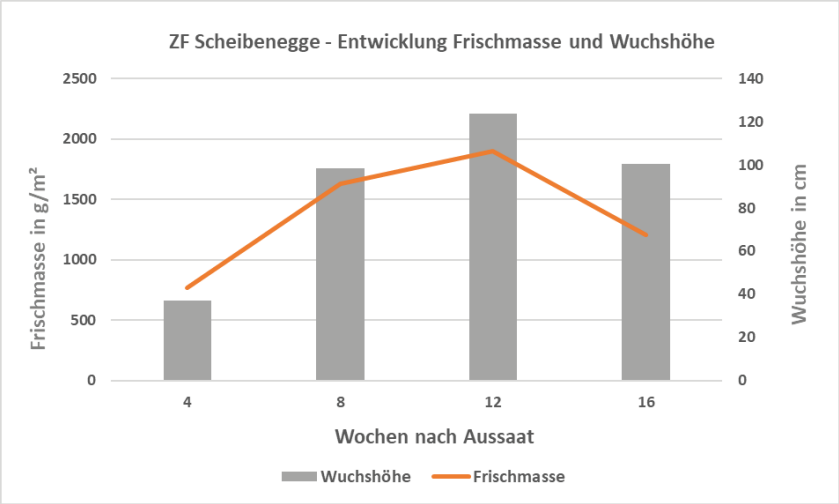


Abbildung 10: Entwicklungsverlauf der Frischmasse und Wuchshöhe der Parzelle „ZF Scheibenegge“ im Zeitraum vom 10.08.2019 (Aussaat) bis 10.12.2019 (eigene Darstellung)

Da die **„ZF Brache“** nach einer einmaligen Bearbeitung mit der Scheibenegge liegen gelassen wurde und keine weiteren Maßnahmen stattgefunden haben, machte sich Ausfallgetreide und Unkraut breit. Somit wurde der Boden im Zeitverlauf durch einen sehr flachen und lückenhaften Bewuchs begrünt. Am 28. Oktober konnten hauptsächlich Ausfallweizen, Ausfallraps der Vorjahre, Vogelmiere, Hirtentäscheln, Stiefmütterchen, Kamille und Rauke festgehalten werden. Hier wies der Ausfallweizen vermehrte krankheitstypische Chlorosen auf den älteren Blättern auf. Im nächsten Jahr war die Brache durch winterharte Verunkrautung und Ausfallweizen die grünste Parzelle. Jedoch hat bis März der Krankheitsdruck auf dem Ausfallweizen zugenommen.

Die Probenahme zur Bestimmung der durchschnittlichen Trockenmasse der Zwischenfruchtanbauverfahren wurde, wie unter dem Punkt „3.5. Erhebungen im Bestand“ bereits beschrieben, Anfang April durchgeführt. Nachdem die Mischproben in einer Zeit von 48 Stunden bei 105 °C in Crispac-Beuteln getrocknet wurden, konnten die Trockenmassen zurückgewogen werden. Die in Abb. 11 aufgeführten durchschnittlichen Trockenmassen eines Quadratmeters ergaben hochgerechnet auf einen Hektar für die einzelnen Parzellen folgende Werte: ZF

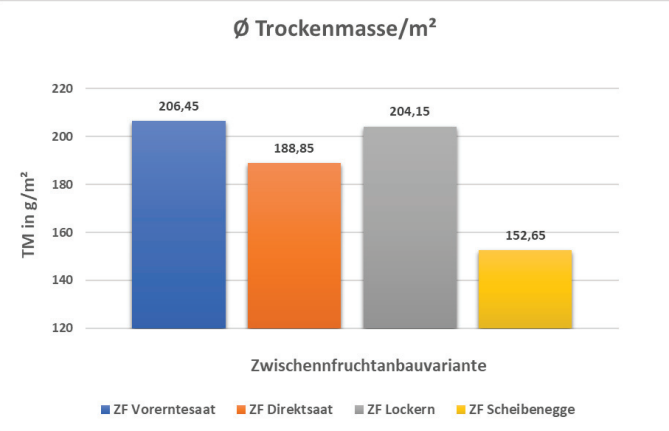


Abbildung 11: Durchschnittliche Trockenmassen der einzelnen Zwischenfruchtanbauvarianten nach Probenahme des 09. Aprils 2020 (eigene Darstellung)

Vorerntesaat = 20,64 dt/ha; ZF Direktsaat = 18,88 dt/ha; ZF Lockern = 20,41 dt/ha und ZF Scheibenegge = 15,26 dt/ha. Allen voran ist jedoch nochmal hinzuzufügen, dass es sich hier wie bei den Frischmassen nicht um signifikante Unterschiede handelt.

4.4. Ausgewählte Parameter der Bodenfruchtbarkeit

Die Tab. 3 fasst die auf Grundlage des Erhebungsbogen (Senger, et al., 2015) für die Bodenansprache erhobenen Ergebnisse jeder einzelnen Parzelle zusammen. Die Parzellen „ZF Vorerntesaat", „ZF Direktsaat" und „ZF Lockern" liegen weit vorne, wobei „ZF Scheibenegge" und „ZF Brache" eher schlecht ausfallen. Was dazu geführt hat, wird im Folgenden anhand der einzelnen Parameter beschrieben.

Tabelle 3: Ergebnisse zu den Bewertungen der ausgewählten Parameter der Bodenfruchtbarkeit nach dem Erhebungsschema von Senger et al., 2015 (eigene Darstellung)

	ZF Vorerntesaat	ZF Direktsaat	ZF Lockern	ZF Scheibenegge	ZF Brache
Struktur der Oberfläche	++	++	+	0	-
Durchwurzelung des Bodens	+	+	++	+	0
Makroporen/Bioporen	++	++	+	+	+
Gefüge und Verfestigung	+	+	++	0	0
Organische Reststoffe	+	+	+	+	+
Farbe und Geruch	+	0	0	+	+
Von 12 möglichen "+" →	8	7	7	4	3

Bezüglich der **Struktur der Oberfläche** sind vor allem der Bedeckungsgrad durch Erntereste, Regenwurmlosung und stabile Aggregate entscheidend. Diese Eigenschaften erfüllen die Vorernte- und Direktsaatparzelle besonders gut, da durch unterlassene Bodenbearbeitung die von den Weizenwurzeln geschaffene Struktur nicht beeinträchtig wurde. Erntereste bedecken den Boden und werden von den Regenwürmern zu kleinen Häufchen zusammengezogen. Diese hinterlassen ihre Losung und fördern gleichzeitig die Bildung neuer stabiler Aggregate. Ähnlich gut steht die gelockerte Parzelle dar, da bei der Bodenbearbeitung lediglich das Element der Kurzscheibenegge den Boden flach durchmischt hat. Eine weniger gute Struktur weisen die letzteren beiden Parzellen auf, die beide mit der Scheibenegge bearbeitet wurden. In der Brache sind erste Anzeichen der Verschlämmung zu erkennen, da hier die Bedeckung sehr gering ist. Die Zwischenfrucht auf der „ZF Scheibenegge" kann dem jedoch noch Einhalt gewähren.

Eine gute **Durchwurzelung des Bodens** ist dann gegeben, wenn über alle Horizonte hinweg Wurzeln aufzufinden sind. Dabei ist die kulturspezifische und gleichmäßige Wurzelverteilung zu beobachten. Besonders die gelockerte Variante weist eine gute Durchwurzelung auf. Ihr folgen die Vorernte- und Direktsaatparzelle. Hier ist die gleichmäßige Wurzelverteilung vermutlich durch ein kompakteres Bodengefüge oder eventueller Verdichtungen leicht eingeschränkt. Ebenso verhält es sich auch mit der „ZF Scheibenegge", die zwar in dem bearbeiteten Horizont eine verstärkte Verteilung der Wurzeln aufweist, aber darüber hinaus

ähnlich wie die Vorernte- und Direktsaatparzelle dasteht. Das Bodenprofil der Brache beinhaltet lediglich die verrottenden Wurzeln der Vorfrucht Winterweizen und vereinzelte intakte Wurzeln des Unkrauts und Ausfallgetreides. Die Durchwurzelung ist hier weniger intensiv.

Die **Makroporen/Bioporen** werden als weiterer Parameter der Bodenfruchtbarkeit angesehen. Dabei sind die vielen Regenwurmgänge und deren Übergänge zwischen den Horizonten, neu angelegte Gänge im Bearbeitungshorizont und Gänge im Unterboden, die mit humosem Material verfüllt sind, von Bedeutung. Die Parzellen der Vorernte- und Direktsaat weisen zahlreiche Regenwurmgänge auf, da durch unterlassene Bodenbearbeitung auch die Gänge nahe der Bodenoberfläche erhalten wurden. Die vielen Häufchen der zusammengezogenen Erntereste weisen auf neu angelegte Regenwurmgänge hin. Nicht allzu viele Gänge können die anderen Parzellen aufweisen. Die alten Gänge im Bearbeitungshorizont wurden mittels Bodenbearbeitung beseitigt und werden wieder durch neue ersetzt. Diese sind vermutlich wegen dem geringen Angebot der an der Oberfläche verbliebenden Ernterückstände nur in kleiner Anzahl nachzuweisen.

Gefüge und Verfestigung sollten porös, locker und fein aggregiert sein. Dies kann man beispielsweise durch die Ausübung von Druck zwischen den Fingern oder durch die Abwurfprobe mit dem Spaten kontrollieren. Hier sollte der Boden in kleine Teile auseinanderfallen. Durch den Messereinstich in die Profilwand kann man zudem Verfestigungen in weiteren Tiefen erspüren. Dank der Lockerungsmaßnahme der Parzelle „ZF Lockern“ wurde das Gefüge mechanisch saniert und wird dank der Wurzeln der Zwischenfrucht gestützt. Mögliche Verdichtungen und Bearbeitungsfehler der Vergangenheit wurden beseitigt. Ein ähnlich gutes Gefüge weisen die Vorernte- und Direktsaatparzelle auf, da die geringen Überfahrten nach der Ernte im Gegensatz zu den Parzellen „ZF Scheibenegge“ und „ZF Brache“ erneute Verdichtungen verhindert haben könnten. Der Unterschied dieser Parzellen war jedoch nicht gravierend.

Organische Reststoffe können durch ungleichmäßige Verteilung in Form von Strohmatten negative Effekte verursachen. Dabei kann Wurzelstau eine Folge konzentrierten Strohs an der Oberfläche oder in Horizonten sein. Die Bewertung dieses Parameters erfolgt auf allen Parzellen gleich, weil die Verteilung der organischen Reststoffe generell den Absichten der einzelnen Anbauverfahren entspricht. Außerdem sind keine vereinzelten konzentrierten Strohansammlungen zu verzeichnen. Die auf der Bodenoberfläche verbliebenen organischen Reststoffe in der Vorernte- und Direktsaatparzelle sind gleichmäßig verteilt und weisen vor allem an der Kontaktseite mit dem Boden Anzeichen von Verrottung auf. Im bearbeiteten Horizont ist die Verteilung der organischen Reststoffe der anderen Parzellen ebenso gleichmäßig. Auch hier sind Anzeichen einer stabilen Rotte zu beobachten.

Die Parameter **Farbe und Geruch** können Hinweise zu Luft- und Wasserhaushalt sowie Humusgehalt des Bodens geben. Hier sollte die Farbe innerhalb der Horizonte gleichmäßig sein und der Boden sollte angenehm erdig riechen. Reduktionszonen könnte man durch blaue und graue Verfärbungen in den Horizonten wahrnehmen. Als möglicher Grund sind hier starke Verdichtungen angegeben. Ebenso kritisch sind üble und faule Gerüche zu berücksichtigen. Durchweg sind die Ergebnisse der einzelnen Parzellen positiv. Die Bodenproben aller Bodenhorizonte weisen einen angenehmen erdigen Geruch auf, der natürlicherweise im Oberboden ausgeprägter als im Unterboden ist. Lediglich die Horizonte ab 60 cm Tiefe der Parzellen „ZF Direktsaat“ und „ZF Lockern“ weisen eine gräuliche Verfärbung auf, die auch durch Rostflecke durchzogen sind. Diese Flecken entstehen nach zeitweiligem Luftmangel und sind vermutlich durch eine standortbedingte Vergleyung des Unterbodens beeinflusst, worauf die Angaben des Punktes „3.1. Standortzonierung“ hindeuten.

5. Diskussion

Die während des Versuchsverlaufs gemachten Erkenntnisse verdeutlichen nochmals, welche Vorteile aber auch Herausforderungen der Zwischenfruchtanbau mit sich bringt. Hierbei geht es vor allem um die Bedingungen zur Aussaat und welche Ziele man mit dem Zwischenfruchtanbau verfolgt. Möglichkeiten wären die Ziele einer einfachen Bodenbedeckung ohne viel Biomasse, ein Transfer der Nährstoffe in das nächste Jahr, eine intensive Förderung der Bodenstruktur, ein Zwischenfruchtbestand für die Futternutzung oder eine Gründüngung mit viel Biomassebildung. Neben der Frage welche Ziele man verfolgt, ist zu klären, welches Anbauverfahren dafür geeignet ist.

Im Rahmen dieses Praxisversuches wurden die verschiedenen Anbauverfahren auf die Entwicklung der Zwischenfrucht, die Stickstoffdynamik und ausgewählte Parameter der Bodenfruchbarkeit geprüft. Anhand der im Versuchsverlauf durchgeführten Messungen hat sich gezeigt, dass die Höhe der gebildeten Trockenmasse einen Zusammenhang mit dem N_{min}-Gehalt des Bodens im nächsten Frühjahr aufweist. Dies kann auf die starke Korrelation des in der Trockenmasse enthaltenen Gesamtstickstoffs und dem N_{min}-Gehalt zugeführt werden. Nach den auf Basis dieser Daten ermittelten Höhen des Stickstofftransfers, schnitt die „ZF Vorerntesaat“ am besten ab. Mit absteigendem Rang folgte die Parzelle „ZF Direktsaat“, „ZF Lockern“ und „ZF Scheibenegge“. Die von (Baeumer, 1992) angesprochene Relevanz einer frühen Aussaat der Zwischenfrucht lässt darauf schließen, dass hier die Ursache für die guten Ergebnisse liegt. Gegenüber den anderen Parzellen konnte die Vorerntesaat bereits vier Wochen eher angelegt werden. Das Anbauverfahren der Vorerntesaat wird jedoch sicherlich an seine Grenzen stoßen, wenn besonders trockene Bedingungen vorherrschen und Niederschläge ausbleiben. Wohingegen in allen anderen Parzellen das Saatgut bei der Aussaat ausreichend bedeckt wird, könnte der Feldaufgang der Vorerntesaat unter solchen Bedingungen verzögert werden oder schlimmstenfalls ausbleiben. Die vereinzelten Niederschläge ab Juni kamen vor allem der Vorerntesaat in diesem Jahr zugute. Ein weiterer Faktor, der in diesem Anbauverfahren zu beachten ist, stellt die Gefahr des Aussamens einzelner Zwischenfruchtkomponenten dar. In diesem Fall war es der Gelbsenf, der wie unter Punkt „3.3. Artenbeschreibung“ bei früher Aussaat schnell in die generative Phase übergegangen ist. Dies zeigt nochmals mehr, dass die Wahl der Zwischenfruchtkomponenten nicht nur von der Standortgunst, sondern auch von der Wahl des Anbauverfahrens abhängt. Der hohe Anteil von 50 % Gelbsenf in der Mischung hat zudem dafür gesorgt, dass die Phacelia und das Ramtillkraut förmlich überwuchert wurden und ihre Eigenschaften nicht voll zur Geltung kamen. Der Anteil des Gelbsenfs in einer Mischung sollte der unter Punkt „3.3. Artenbeschreibung“ empfohlenen Menge von 1 bis 2 kg/ha angepasst werden.

Um das Anbauverfahren der Vorerntesaat realisieren zu können, bedarf es eines Spezialgerätes. Schon bei mittleren Arbeitsbreiten konnte ein Entmischen des Saatgutes beobachtet werden. Dies ist vor allem bei stark unterschiedlichen Korngrößen der Fall. Um auf Breite der Fahrgasse applizieren zu können, berichtet (Thomas & Archambeaud, 2018) von der Verwendung eines Säbalkens mit mehreren kleinen Einscheibenstreuern oder Gestänge ausgerüstet mit pneumatischen Sägeräten. Durch die Anwendung des Verfahrens fallen die Arbeiten in eine generell ruhigere Zeit vor der Ernte. Somit können hohe Arbeitsspitzen vermieden werden. Gegenüber anderen Praktiken, in denen ein mechanischer Eingriff in den Boden erfolgt, fallen die Kosten in der Vorerntesaat niedriger aus. Liegen jedoch Verdichtungen vor, kann die Entwicklung der Zwischenfrucht beeinträchtigt werden. Diese können aber im späteren Verlauf in der Zwischenfrucht mit einem Tiefenlockerer behoben werden.

Ein ebenso gering in den Boden eingreifendes Anbauverfahren stellt die Direktsaat von Zwischenfrüchten dar. In der „ZF Direktsaat“ bestätigten die Beobachtungen, dass auch hier gute Feldaufgänge gelingen können. Dafür sprechen vor allem die von (Ehlers, 1996) begründete Minderung der wasserzehrenden Prozesse, die die Wasservorräte des Bodens schützt. Gegenüber der Vorerntesaat konnte durch eine bessere Bedeckung der Samen ein sicherer Keimprozess der Phacelia und des Ramtillkrauts gewährleistet werden, da sie als Dunkelkeimer von einer solchen Saatgutablage profitieren. Da dieses Verfahren ebenfalls auf einen intensiven Eingriff in den Boden verzichtet, können hohe Flächenleistungen realisiert werden. Gleichzeitig bedeutet dies aber auch, dass wie bei dem Verfahren der Vorerntesaat keine mechanische Lockerung von Verdichtungen möglich ist.

Um ähnlich wie bei der Vorerntesaat von der langen Vegetationszeit profitieren zu können, sollte der Aussaattermin so früh wie möglich realisiert werden. Ein Vorsprung gegenüber einer Altverunkrautung und der Keimung des Ausfallgetreides spricht ebenfalls dafür. In manchen Betrieben, in denen die Arbeitskapazität es zulässt, folgt die Drillmaschine sogar dem Mähdrescher während der Ernte. Die in der Vorerntesaat unterbundene Keimung des Ausfallgetreides und eine äußerst geringe Neuverunkrautung konnten auch in der „ZF Direktsaat“ verzeichnet werden. Dies ist auf das von (Baeumer, 1992) beschriebene Szenario zurückzuführen, das durch ein Unterlassen der Bodenbearbeitung nicht eintrifft. Die durch Bodenbearbeitung verschütteten Samen des Vorjahrs würden sonst nach erneuter Bodenbearbeitung wieder an die Oberfläche gebracht, sodass sie nach der Dormanz günstigen Keimbedingungen ausgesetzt wären. Die noch in Keimruhe versetzten Samen aus dem Jahr der Zwischenfruchtaussaat lagen kurz nach der Weizenernte an der Bodenoberfläche. In dieser Zeit konnte die Zwischenfrucht einen Vorsprung machen, sodass Unkraut und Ausfallgetreide unterdrückt wurden. Dies konnte in der Vorernte- und

Direktsaatparzelle beobachtet werden. Wenn die Samen jedoch durch Bodenbewegung in Kontakt kommen, kann nicht nur ein Teil der Samenpopulation des Bodens, sondern auch das Ausfallgetreide verstärkt zur Keimung angeregt werden. Dies war auf den Parzellen der „ZF Lockern“, „ZF Scheibenegge“ und „ZF Brache“ zu beobachten.

Durch die Verfahren der Vorernte- und Direktsaat bleibt die bereits durch die Vorkultur geschaffene Bodenstruktur erhalten und wird im Verlauf der Zwischenfruchtentwicklung weiter gefördert. Durch diese Bestellverfahren bleibt neben der Bodenstruktur auch das Bodenleben unberührt. So berichtet (Baeumer, 1992), dass mitunter nicht nur die bereits durch Regenwürmer geschaffenen Poren erhalten bleiben, sondern auch die Regenwurmpopulation selbst. Diese sorgen unter anderem für einen Abbau der Erntereste und schaffen gleichzeitig neue Poren, die die Infiltrationsfähigkeit des Bodens weiter erhöht. In einem solchen System kann die Population sogar so groß werden, dass leichte Verdichtungen nach kürzlichen Befahren wieder mit Regenwurmgängen durchzogen werden. Liegen also keine schweren Verdichtungen vor, sind diese Varianten der Zwischenfruchtetablierung besonders geeignet. Dies liegt nicht nur an dem geringen Aufwand, sondern auch an den bereits angesprochenen positiven Wirkungen auf den Wasserhaushalt des Bodens und die Unterdrückung des Unkrauts und Ausfallgetreides.

Die „ZF Lockern“ und „ZF Scheibenegge“ sind gegenüber den anderen beiden Verfahren mit mehr Aufwand verbunden. Es erfolgt vor der Bestellung der Zwischenfrucht eine Bodenbearbeitung. Diese fiel bei der „ZF Lockern“ intensiver aus als bei der „ZF Scheibenegge“. Letztendlich bestünde die Möglichkeit, dass diese Bearbeitungsgeräte mit einem Sägerät (Einscheibenstreuer oder pneumatischem Sägerät) ausgestattet werden können. Jedoch stellt sich die Frage, ob ein befriedigender Feldaufgang erreicht werden könnte und dem angestrebten Ziel entspräche. Der Zwischenfruchtbestand der Parzelle „ZF Lockern“ war rein optisch besonders üppig. Hinsichtlich der gebildeten Frischmasse konnten auch hier die höchsten Ergebnisse verzeichnet werden. Die durch die intensive Bodenbearbeitung verstärkte Mineralisation, die unter Punkt „2.1. Mineralisation des Stickstoffs im Boden“ beschrieben ist, deutet auf das üppige Wachstum hin. Der Feldaufgang, der verglichen mit der „ZF Scheibenegge“ besonders gut war, rührt vermutlich von der besonderen Art und Weise der Bodenbearbeitung. Obwohl der Bodeneingriff viel intensiver war, hinterließ der Tiefenlockerer durch das Element der Kurzscheibenegge mehr Erntereste an der Oberfläche als die schwere Scheibenegge, mit der die Parzelle „ZF Scheibenegge“ bearbeitet wurde. Die von (Ehlers, 1996) beschriebene Wirkung des Strohs als Verdunstungsschutz, kann hier neben der erhöhten Mineralisation des Stickstoffs ein weiterer Grund für einen besseren Feldaufgang und Entwicklung gewesen sein. Verglichen mit der Vorernte- und Direktsaat ist die von (Baeumer, 1992) umschriebene Folge der

Bodenbearbeitung auf das Samenpotential des Bodens in den der „ZF Lockern“ und „ZF Scheibenegge“ eingetreten und hat zu einer Neuverunkrautung geführt, die mit Abfrieren des Zwischenfruchtbestandes zugenommen hat.

Diese besonders arbeitsaufwendigen Verfahren würden vielen Betrieben Arbeitskapazitäten rauben, woraus vermutlich späte Aussaatzeitpunkte resultieren würden. Wäre lediglich eine Bodenbedeckung das Ziel, so ließen sich die Bodenbearbeitungsgeräte auch mit einfachen Aufsätzen für die Aussaat verwenden. Somit würde man sich den weiteren Arbeitsschritt mit der Drillmaschine sparen. Das Aussaatverfahren mit einer vorherigen Lockerung des Bodens wäre hauptsächlich bei sehr stark verdichteten Böden zu empfehlen. Hierbei ist jedoch die Auswirkung auf die Mineralisation und der dadurch drohende Nährstoffaustrag zu hinterfragen. (Thomas & Archambeaud, 2018) zeigt mit einer späteren Lockerung vor der Aussaat der Hauptkultur im Zwischenfruchtbestand eine Lösung auf, die nicht nur Kosten für den Maschineneinsatz aufgrund leichterer Bearbeitbarkeit senkt, sondern auch die Gefahr einer verstärkten Mineralisation umgeht. Mit einer zeitlichen Verlagerung in den Spätherbst, nimmt die Rate der Mineralisation aufgrund abfallender Temperaturen ab. So könnte trotz der stark belüftenden Lockerungsmaßnahme ein ansonsten hoch ausfallender Nährstoffaustrag vermindert werden.

Die Beobachtungen der sich selbstbegrünenden Parzelle „ZF Brache“ haben gezeigt, dass mit einsetzender Verunkrautung nicht nur das unerwünschte Samenpotential im Boden erhöht wird, sondern auch durch vermehrtes Auflaufen des Ausfallgetreides Krankheiten in das nächste Jahr übertragen werden können. Würde ein Anbau von Weizen nach Weizen (Stoppelweizen) folgen, so könnte dies negative Folgen für die Pflanzengesundheit mit sich bringen. Hier würde die von (Hampl, 1996) beschriebene Wirkung einer Zwischenfrucht auf Krankheiten in zu engen Fruchtfolgen nochmals für einen intensiveren Zwischenfruchtanbau sprechen. Ebenso negative Folgen hätte die „ZF Brache“ in einem niederschlagsreichen Jahr auf die bereits angesprochene Problematik der Mineralisation gehabt. Durch geringen Bewuchs der Oberfläche hätte kaum Stickstoff gebunden werden können, sodass dieser einer Auswaschung unterliegen wäre.

Im Rahmen dieses Praxisversuches wurden verschiedene Zwischenfruchtanbauverfahren gegenübergestellt, die hinsichtlich der obigen Parameter untersucht wurden. Diese Arbeit dient der Bestimmung der allgemeinen Eignung unterschiedlicher Anbauverfahren und soll die Relevanz des Zwischenfruchtanbaus verdeutlichen. Daher ist es empfehlenswert weitere Forschungen durchzuführen, die die Eignung der Anbauverfahren auf weiteren Standorten untersucht und zusätzlich die Wahl geeigneter Komponenten in einer Zwischenfruchtmischung berücksichtigt.

6. Zusammenfassung

Diese Arbeit ging dem Ziel nach, einen Vergleich zwischen verschiedenen Zwischenfruchtanbauverfahren zu ziehen, indem die Entwicklung der Zwischenfrüchte, die Stickstoffdynamik und ausgewählte Parameter der Bodenfruchtbarkeit betrachtet wurden. Dazu wurde ein Feldversuch angelegt, der in kleine Parzellen aufgeteilt wurde. Auf jenen Parzellen wurde eine ausgewählte Zwischenfruchtmischung mit den verschiedenen Anbauverfahren etabliert. Um nicht nur die Anbauverfahren untereinander zu vergleichen, sondern auch den expliziten Einfluss einer Zwischenfrucht bewerten zu können, wurde zusätzlich eine Nullparzelle in Form einer Brache angelegt.

Die Ergebnisse des Vergleichs der verschiedenen Anbauverfahren zeigten im Rahmen dieses Praxisversuches unterschiedliche Auswirkungen auf die untersuchten Parameter. Hinsichtlich der Entwicklung der Zwischenfrüchte wurde festgestellt, dass die als erstes angelegte Parzelle „ZF Vorerntesaat“ eine zunächst langsam steigende Zunahme der Frischmasse aufwies. Nach eintreffenden Niederschlägen um den Zeitpunkt der Aussaat der anderen Anbauvarianten konnte dann bei allen Parzellen eine schlagartige Zunahme der Frischmasse verzeichnet werden. In allen Varianten wurde zudem beobachtet, dass ein Ansteigen oder Fallen der Frischmasse durch ein Ansteigen und Fallen der Wuchshöhe begleitet wird. Letztendlich schnitt die „ZF Vorerntesaat“ bezüglich der entscheidenden Trockenmassebildung am besten ab. Es folgten mit absteigendem Rang die „ZF Direktsaat“, „ZF Lockern“ und „ZF Scheibenegge“. Andererseits wurde festgestellt, dass die Untersuchungsgrößen Gesamtstickstoffgehalt und Trockenmasse der abgestorbenen Zwischenfruchtreste in einem statistischen Zusammenhang mit dem N_{min}-Gehalt des Frühjahrs stehen. Somit ist davon auszugehen, dass mit einem hohen Gesamtstickstoffgehalt oder Trockenmasse ein hoher N_{min}-Gehalt des Frühjahrs verzeichnet werden kann. Bezüglich der Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit, wurden die ausgewählten Parameter Struktur der Oberfläche, Durchwurzelung des Bodens, Makroporen/Bioporen, Gefüge/Verfestigung, organische Reststoffe und Farbe/Geruch näher betrachtet. Die Vorernte- und Direktsaat wiesen neben zahlreichen Makroporen/Bioporen auch eine besonders gute Struktur der Oberfläche auf. In den Punkten Durchwurzelung des Bodens und Gefüge/Verfestigung stand gegenüber den beiden Varianten die Parzelle „ZF Lockern“ besser dar. Generell führten die drei Parzellen die Gesamtbewertung an. Die Anbauvariante der „ZF Scheibenegge“ schnitt wegen der verbesserungswürdigen Struktur der Oberfläche und Gefüge/Verfestigung nicht gut ab. Das Fehlen der positiven Wirkung einer Zwischenfrucht war der Parzelle „ZF Brache“ anzusehen, weshalb die besonders schlechte Struktur der Oberfläche für eine niedrige Gesamtbewertung gesorgt hat.

Die Menge an Daten, die im Rahmen der Erhebungen festgehalten wurden, lassen keine signifikanten Unterschiede zu. Dennoch entsprachen die Tendenzen der umfangreichen Anzahl untersuchter Parameter dem Stand der Forschung und konnten auf diese größtenteils zurückgeführt werden. Somit liegt die Vermutung nahe, dass die verschiedenen Zwischenfruchtanbauverfahren individuelle Auswirkungen haben, die es zu berücksichtigen und zu hinterfragen gilt. Ebenso konnten die Potentiale nicht allzu gängiger Verfahren wie der Vorerntesaat von Zwischenfrüchten aufgezeigt werden, die im Rahmen dieses Versuches zu positiven Erkenntnissen geführt haben. Letztendlich stellen die Ergebnisse des Praxisversuches einen bedeutenden Ansatz dar, der zukünftiger Forschung als Grundlage dienen soll.

7. Literaturverzeichnis

Baeumer, K. (1992). *Allgemeiner Pflanzenbau.* Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer GmbH&Co.

Borsche, M., Friedrich, A., Friedrich, K., Fröhlich, K., Früh, B., Heinrich, K., . . . Borsche, M. (August 2018). *Deutscher Wetterdienst.* Abgerufen am 5. Januar 2021 von www.dwd.de: https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimareport_mv/klimareport_mv_2018_download.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Deller, B., & Schmidt, G. (12. Juli 2010). *Landkreis Waldshut Landwirtschaftsamt.* Abgerufen am 16. Januar 2021 von https://waldshut.landwirtschaft-bw.de: https://waldshut.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/ltz_ka/Service/Laborinformationen/Arbeitshilfen%20f%C3%BCr%20Labore/Bodenuntersuchung_DL/Bestimmung_Bodenart_Fingerprobe_DL/Bestimmung%20der%20Bodenart%20mit%20der

Ehlers, W. (1996). *Wasser in Boden und Pflanze.* Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.

Entrup, N. L., Bodner, G., Hötte, S., Kivelitz, H., Laser, H., & Stemann, G. (2018). *Zwischen- und Zweitfrüchte im Pflanzenbau.* Bonn: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.

Fallou, F. A. (1862). *Pedologie oder allgemeine und besondere Bodenkunde.* Abgerufen am 3. Januar 2021 von BSB Bayerische StaatsBibliothek: http://opacplus.bsb-muenchen.de/title/BV013815161/ft/bsb10283420?page=5

Hampl, U. (1996). *Gründüngung.* Graz: Leopold Stocker Verlag.

Kape, H.-E., Wacker, K., Nawotke, C., Pöplau, R., Korten, K., & Kastell, S. (28. November 2018). *LMS Agrarberatung GmbH.* Abgerufen am 26. Januar 2021 von www.lms-beratung.de: https://www.lms-beratung.de/export/sites/lms/de/.galleries/Downloads_LFB/DueV/Richtwerte-MV-181129.pdf

Marx, A. (14. Januar 2021). *ufz, Helmholtz - Zentrum für Umweltforschung.* Abgerufen am 4. Februar 2021 von www.ufz.de: https://www.ufz.de/index.php?de=40990

Mecklenburg-Vorpommern, L. f. (o.D.). *MV Bodengeologie*. Abgerufen am 14. Januar 2021 von www.geoportal-mv.de: https://www.umweltkarten.mv-regierung.de/script/mv_a7_bodengeologie_wms.php

Mecklenburg-Vorpommern, L. f. (o.D.). *MV Geologische Karten*. Abgerufen am 14. Januar 2021 von www.geoportal-mv.de: https://www.umweltkarten.mv-regierung.de/script/mv_a7_geol_karten_wms.php

Mecklenburg-Vorpommern, L. f. (o.D.). *MV Hydrogeologie*. Abgerufen am 14. Januar 2021 von www.geoportal-mv.de: https://www.umweltkarten.mv-regierung.de/script/mv_a7_hydrogeologie_wms.php

Schmidt, A., & Gläser, H. (8. Mai 2013). *lfulg Sachsen.* Abgerufen am 4. Februar 2021 von https://www.lfulg.sachsen.de/: https://www.lfulg.sachsen.de/

Schubert, S. (2006). *Pflanzenernährung.* Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer KG.

Senger, M., v. Haaren, M., Heyn, J., Brandhuber , R., Voßhenrich, H., Epperlein, J., . . . Harrach, T. (2015). Einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker. Neuenhagen: Thünen-Institut für Agrartechnologie und GKB e.V.

Stahr, K., Kandeler, E., Hermann, L., & Streck, T. (2008). *Bodenkunde und Standortlehre.* Stuttgart (hohenheim): Eugen Ulmer KG.

Thomas, F., & Archambeaud, M. (2018). *Zwischenfrüchte in der Praxis.* Berlin: Bayer Handelsvertretung.

VDLUFA. (2004). *VDLUFA, Methodenbuch 3 Dumas-Verbrennung 4.1.2., Futtermitteluntersuchung.* Abgerufen am 22. Januar 2021 von www.vdlufa.de: https://www.vdlufa.de/Methodenbuch/index.php?option=com_content&view=article&id=2251&lang=de

8. Anhang

Anhang 1: Aufnahmen der Parzelle „ZF Vorerntesaat“ – links: Samen der Zwischenfruchtmischung an der Bodenoberfläche unmittelbar nach der Aussaat (21.06.2019); rechts: gekeimte Komponenten der Zwischenfrucht (06.07.2019) – eigene Aufnahme

Anhang 2: Aufnahmen des Anlegens der Parzelle „ZF Direktsaat“ – links: Drillmaschine Tandem Flex-Auf der Landwehr; rechts: nach Direktsaat der Zwischenfruchtmischung in den Weizenstoppel (eigene Aufnahme, 10.08.2019)

Anhang 3: Aufnahmen des Anlegens der Parzelle „ZF Lockern“ – Bodenbearbeitung mit dem Tiefenlockerer Simba DTX 300 der Firma Great Plains auf ca. 34 cm Tiefe (eigene Aufnahme, 03.08.2019)

Anhang 4: Aufnahme des Anlegens der Parzelle „ZF Scheibenegge“ – Bodenbearbeitung mit der X-förmigen Scheibenegge Discover XL der Firma Kuhn auf ca. 12 cm Tiefe (eigene Aufnahme, 02.08.2019)

Anhang 5: Bodenprofil der Parzelle „ZF Vorerntesaat“ (eigene Aufnahme, 09.11.2019)

Anhang 6: Bodenprofil der Parzelle „ZF Direktsaat“ (eigene Aufnahme, 10.12.2019)

Anhang 7: Bodenprofil der Parzelle „ZF Lockern“ (eigene Aufnahme, 01.12.2019)

Anhang 8: Bodenprofil der Parzelle „ZF Scheibenegge“ (eigene Aufnahme, 10.12.2019)

Anhang 9: Bodenprofil der Parzelle „ZF Brache“ (eigene Aufnahme, 08.11.2019)

Datum: ---------- Ackerschlag: ---------- (3. Auflage)

6 PARAMETER vorrangig an Profilwand zusätzlich am Aushub durchführbar	erwünscht ⟵ EIGENSCHAFTEN ⟶ unerwünscht				
1 Struktur der Oberfläche	• intakte stabile Aggregate • organische Reststoffe: Länge, Durchmesser, Verteilung optimal für Rotte / Regenwürmer • Bedeckungsgrad (Fächer zur Bestimmung) • Reststoffe in RW-Gänge hineingezogen • RW-Losung vorhanden			• Verschlämmung • Erosion (Wasser / Wind) • Verkrustung • grobklutig bei Saat • Verknetung	
Zutreffendes einkreisen »	++	+	0	–	– –
2 Durchwurzelung des Bodens	• durchgängig über alle Horizonte • Wurzelverteilung gleichmäßig • intensive, kulturartenspezifische Durchwurzelung			• geknickte Wurzeln / Beinigkeit bei hohem mechanischen Widerstand (Wurzelstau auf Krumenbasis oder auf Strohpolstern) • Wurzelfilz auf verdichteten Schichten oder auf Aggregat-Oberflächen (siehe auch Bild 4)	
Zutreffendes einkreisen »	++	+	0	–	– –
3 Makroporen/ Bioporen	• RW-Losung an der Oberfläche / im Profil • viele Regenwurmgänge in der Profilwand und im Profilboden vorhanden => Verzahnung von Ober- und Unterboden • neu angelegte RW-Gänge im Bearbeitungshorizont vorhanden • alte RW-Gänge im Unterboden mit RW-Losung und humosem Material vefüllt			• auf der Bodenoberfläche keine offenen Bioporen • in Krume wenig vertikale RW-Gänge • Makroporen enden von oben an der Krumenbasis, keine Verbindung zum Unterboden • auch im Unterboden nur wenige Bioporen	
Zutreffendes einkreisen »	++	+	0	–	– –
4 Gefüge und Verfestigung	• Gefüge: porös, locker, fein aggregiert • bei Druck zwischen Fingern zerfallend • zerfällt bei Abwurfprobe und zerkrümelt • Messereinstich in die Profilwand ohne Widerstand möglich • Die Unterkrume soll kompakter (= bessere Tragfähigkeit), aber biogen reichlich perforiert sein.			• Gefüge: fest zusammenhängend, dicht gelagert, stark verfestigt, scharfkantig • große, scharfkantige Aggregate nach Abwurfprobe • Wurzelfilz an Aggregatoberflächen • Messer schwer hineinzustechen (Feuchte beachten)	
Zutreffendes einkreisen »	++	+	0	–	– –
5 Organische Reststoffe	• nach Saat gleichmäßig an der Oberfläche verteilt • gleichmäßig in die Krume eingearbeitet • Vorfruchtreste in der Krume gut verrottet • gleichmäßige Wurzelentwicklung			• nach Saat ungleichmäßige Strohverteilung • Reststoffe konzentriert an der Oberfläche oder in Horizonten (Strohmatten) • unverrottete Reststoffe von früheren Jahren • Wurzelstau auf Strohpolstern	
Zutreffendes einkreisen »	++	+	0	–	– –
6 Farbe und Geruch	• Farbe kann Hinweis für Horizontbeschreibung, Luft- und Wasserhaushalt sowie Humusgehalt sein • gleichmäßige Farbe innerhalb der Horizonte • Boden riecht angenehm erdig => im Oberboden ist der Geruch ausgeprägter als im Unterboden			• blau und grau gefärbte Bereiche in den Horizonten als Zeichen für Reduktionszonen (durch starke Verdichtung, Sauerstoffmangel für vergrabene Reststoffe) • Rostflecken entstehen nach zeitweiligem Luftmangel • übler, fauliger Geruch	
Zutreffendes einkreisen »	++	+	0	–	– –

vTI Johann Heinrich von Thünen-Institut GKB

Gesamtbewertung: ----------

© 2012 (3. überarbeitete Auflage) | Ein Kooperationsprojekt von:
Institut für Agrartechnologie (vTI), Braunschweig
Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e.V. (GKB), Neuenhagen

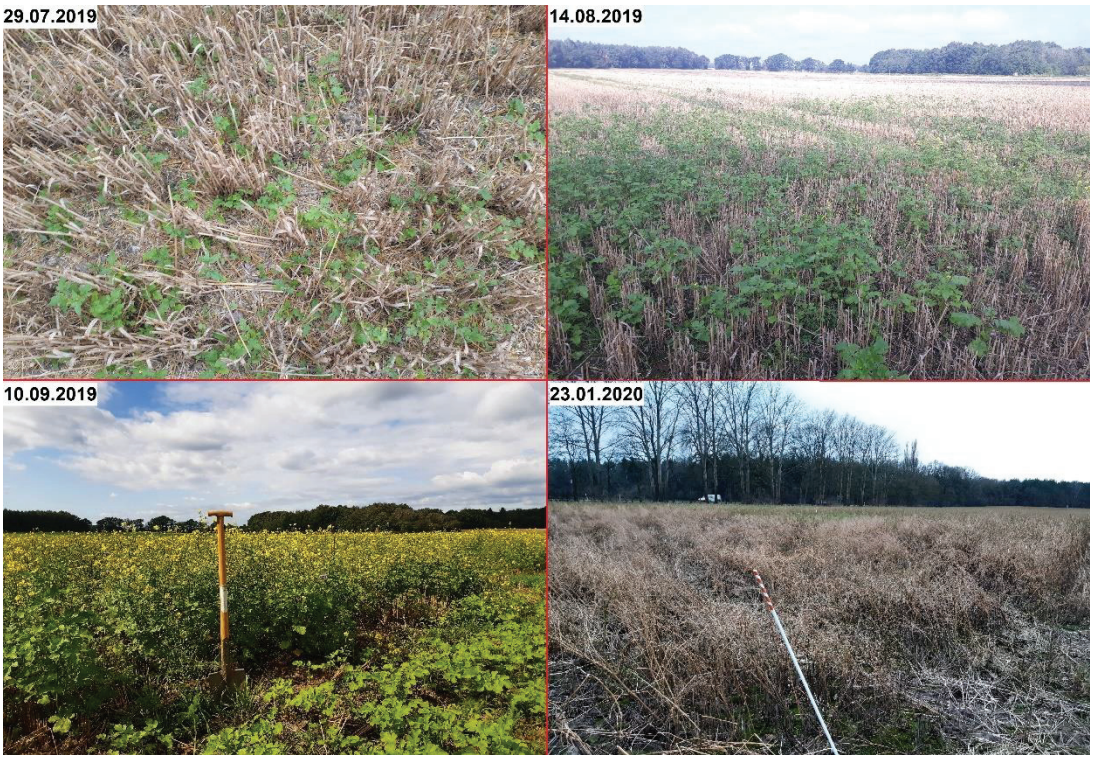
Anhang 10: Bewertungsschema für die ausgewählten Parameter der Bodenfruchtbarkeit „Einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker" (Senger, et al., 2015)

Anhang 11: pH-Werte aus den Horizonten 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm jeder einzelnen Parzelle (jeweils drei Wiederholungen) – Probenahme am 31.12.2019 (eigene Darstellung)

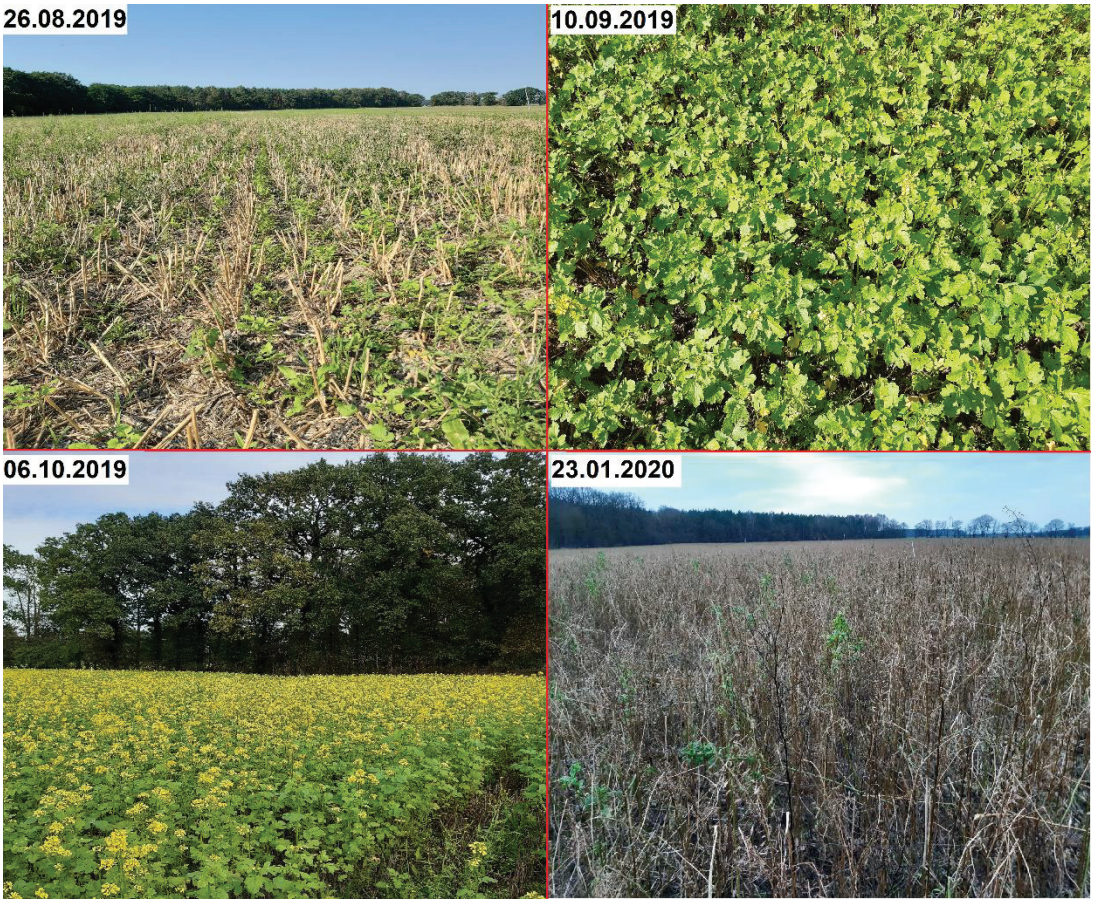
	pH-Werte nach Bodenhorizonten		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
ZF Vorerntesaat	5,4	5,3	5,5
	5,4	5,3	5,6
	5,3	5,3	5,6
ZF Direktsaat	5,6	5,5	5,6
	5,6	5,3	5,4
	5,6	5,3	5,5
ZF Lockern	5,6	5,5	5,5
	5,7	5,4	5,5
	5,7	5,3	5,5
ZF Scheibenegge	5,7	5,9	5,7
	5,8	6,0	5,9
	5,8	5,9	6,0
ZF Brache	6,0	5,7	5,9
	6,1	5,7	5,8
	6,0	5,7	5,7

Anhang 12: Bodenarten aus den Horizonten 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm jeder einzelnen Parzelle - Bestimmung mittels Fingerprobe (eigene Darstellung)

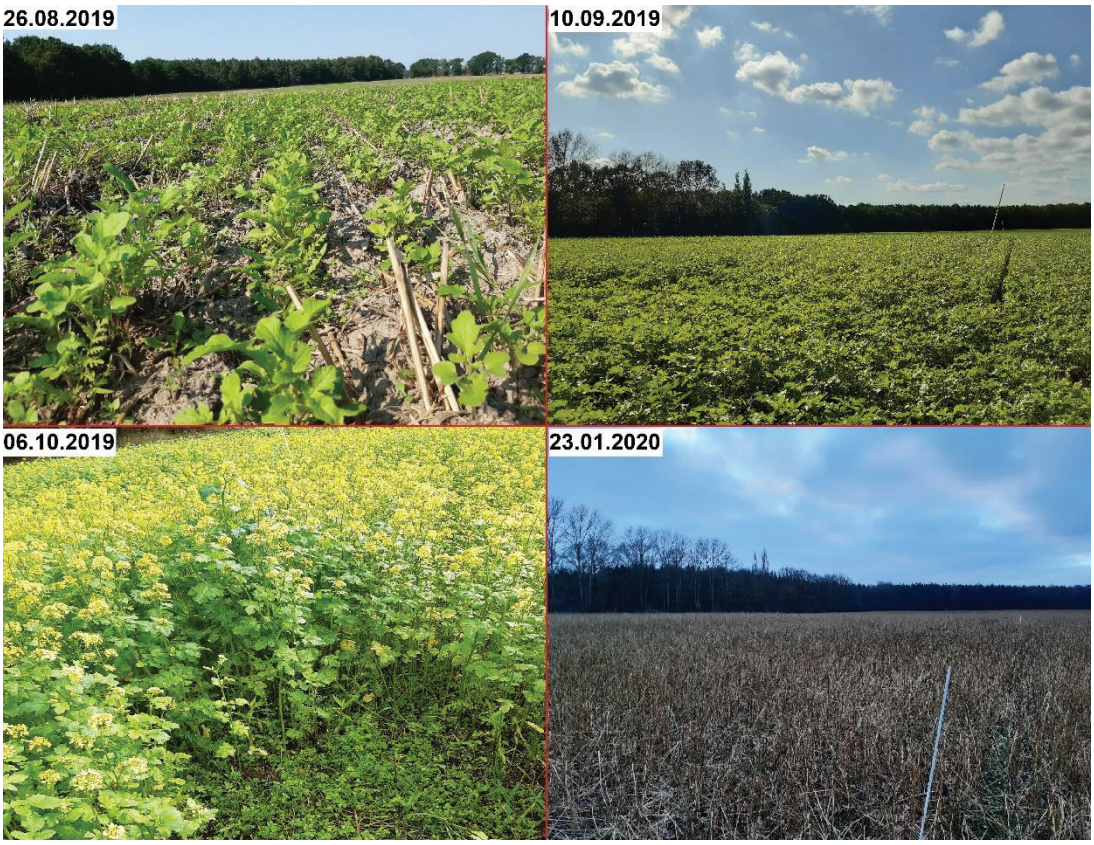
	Bodenarten nach Horizonten	
	Horizont	Bodenart
ZF Vorerntesaat	0-30 cm	lehmiger Sand (lS)
	30-60 cm	lehmiger Sand (lS)
	60-90 cm	sandiger Lehm (sL)
ZF Direktsaat	0-30 cm	lehmiger Sand (lS)
	30-60 cm	lehmiger Sand (lS)
	60-90 cm	sandiger Lehm (sL)
ZF Lockern	0-30 cm	lehmiger Sand (lS)
	30-60 cm	lehmiger Sand (lS)
	60-90 cm	sandiger Lehm (sL)
ZF Scheibenegge	0-30 cm	lehmiger Sand (lS)
	30-60 cm	lehmiger Sand (lS)
	60-90 cm	sandiger Lehm (sL)
ZF Brache	0-30 cm	lehmiger Sand (lS)
	30-60 cm	lehmiger Sand (lS)
	60-90 cm	sandiger Lehm (sL)



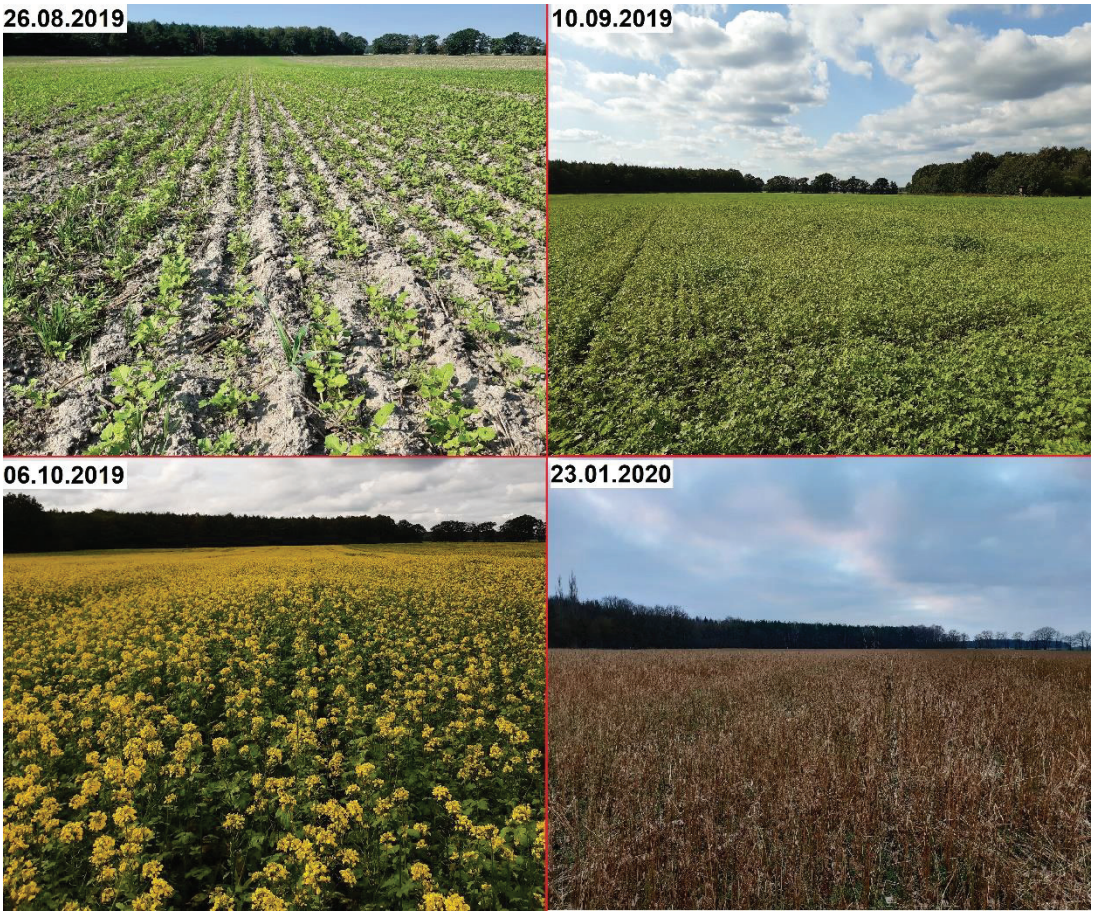
Anhang 13: Entwicklungsreihe der Zwischenfrucht auf der Parzelle „ZF Vorerntesaat“ (eigene Aufnahmen)



Anhang 14: Entwicklungsreihe der Zwischenfrucht auf der Parzelle „ZF Direktsaat“ (eigene Aufnahmen)



Anhang 15: Entwicklungsreihe der Zwischenfrucht auf der Parzelle „ZF Lockern“ (eigene Aufnahmen)



Anhang 16: Entwicklungsreihe der Zwischenfrucht auf der Parzelle „ZF Scheibenegge“ (eigene Aufnahmen)

Anhang 13: Entwicklungsreihe der selbstbegrünenden Brache auf der Parzelle „ZF Brache“ (eigene Aufnahmen)

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Christoph Abel, erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Bachelor-Arbeit mit dem Thema „Ein Praxisversuch zum Vergleich verschiedener Zwischenfruchtanbauverfahren“ selbständig und ohne Benutzung anderer als angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.
Die Arbeit wurde bisher in gleicher und ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Neubrandenburg, 01.03.2021 Unterschrift: