



MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG

Naturwissenschaftliche Fakultät III

Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften

Masterarbeit

Über das Thema

Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungen auf den Bodenwasserhaushalt und N-Dynamik während des Zwischenfruchtanbaus, unter Berücksichtigung verschiedener Düngevarianten

Zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science (MSc) in Agrarwissenschaften

vorgelegt am 01.09.2023

von

cand. agr. Benedikt Blaut

geboren am 17.05.1994 in Köln

1. Gutachter: Dr. rer. nat. Pauline Winkler

2. Gutachter: Dr. rer. nat. Klaus Kaiser

Abstract

In einem niedersächsischen Ökobetrieb wurde im Jahr 2022/23 ein Zwischenfruchtversuch angelegt. Dabei wurde der Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsvarianten auf den Bodenwasserhaushalt und die N-Dynamik, unter Berücksichtigung verschiedener Düngevarianten untersucht. Auf die Vorfrucht Winterweizen folgte ein Zwischenfruchtgemenge. Im Jahr 2023 sollte als Folgefrucht Zuckerrübe angebaut werden. Zur Untersuchung standen vier unterschiedlich intensive Bodenbearbeitungsvarianten, die sich in zwei Direktsaatvarianten und zwei Varianten mit Stoppelbearbeitung aufteilen ließen. Diese vier Varianten wurden auf dem Versuchsfeld streifenförmig nebeneinander angelegt und insgesamt drei Mal wiederholt. Daraus ergaben sich drei Flächen auf denen im Laufe des Versuchs mit Hühner trocken und Bullenmist gedüngt wurde. Eine Fläche blieb dabei ungedüngt. Über den Versuchszeitraum hinweg fanden vier Probenahmen statt, bei denen mit einem Bohrstock in 0-30 cm und 30-60 cm Tiefe Bodenproben genommen wurden. Später wurden die Proben im Labor auf ihren Wassergehalt und Nmin-Gehalt untersucht. Außerdem wurde an zwei Terminen der Aufwuchs der Zwischenfrucht fotografisch dokumentiert und wissenschaftlich ausgewertet um den Bedeckungsgrad zu ermitteln.

Bei den Direktsaatvarianten sollte eine auf dem Feld verbliebene Strohschicht die im Boden befindliche Restfeuchte schützen. Bei den Varianten mit Stoppelbearbeitung erwartete man Evaporation, da der Boden ungeschützt Sonneneinstrahlung und Wind ausgesetzt war. In unserem Versuch konnten aufgrund genereller starker Trockenheit nur sehr geringe Unterschiede im Wassergehalt zwischen den Varianten festgestellt werden.

Bei der Dokumentation des Aufwuchses konnte ermittelt werden, dass die Varianten mit intensiverer Bodenbearbeitung deutlich weniger Unkraut aufwiesen und bis zum Zeitpunkt ihrer Einarbeitung einen höheren Bedeckungsgrad ausbildeten als die beiden Direktsaatvarianten.

Die verschiedenen Arten der Bodenbearbeitung hatten einen großen Einfluss auf die N-Dynamik. Zum Zeitpunkt der zweiten Probenahme im Spätsommer hatten die intensiver bearbeiteten Varianten doppelt so hohe Gehalte an Nmin mit (39 und 46 kg ha⁻¹) wie die beiden Direktsaatvarianten mit Werten von 16 und 21 kg ha⁻¹ Nmin. Zur dritten Probenahme im November sanken die Nmin-Gehalte des Bodens deutlich, da der mineralische Stickstoff von den Zwischenfrüchten aufgenommen und zum Aufbau ihrer Biomasse verwendet wurde. Zur letzten Probenahme im Frühjahr 2023 sind die Nmin-Gehalte im Boden noch einmal deutlich angestiegen. Bei der ersten Probenahme im Juli waren es in 0-30 cm Tiefe noch durchschnittlich 23 kg ha⁻¹ Nmin und 9 kg ha⁻¹ Nmin in 30-60 cm Tiefe. Bei der letzten Probenahme nach dem Winter waren es durchschnittlich 25 kg ha⁻¹ Nmin (0-30 cm) und 30 kg ha⁻¹ Nmin (30-60 cm). Die hohen Nmin-Gehalte im Unterboden bei der vierten Probenahme sind auf die im November eingearbeitete Zwischenfrucht zurückzuführen, die über den Winter mineralisiert wurde. Niederschlagswasser verlagerte den mineralischen Stickstoff schließlich tiefer in den Boden.

Ende September wurde Dünger auf das Versuchsfeld appliziert, der von den Zwischenfrüchten aufgenommen werden sollte, damit diese mit dessen Hilfe mehr Biomasse bilden. Die später eingearbeiteten Zwischenfrüchte sollten die in sich gespeicherten Nährstoffe dann durch deren Mineralisation wieder an die Folgefrucht (Zuckerrübe) abgeben. Bei der dritten Probenahme ist aufgefallen, dass die Fläche, auf der mit Hühner trockenkot gedüngt wurde, die höchsten Nmin-Gehalte aufwies. Die Zwischenfrüchte hatten es nicht geschafft, den zusätzlichen Stickstoff vollständig aufzunehmen und zu verarbeiten. Dadurch stieg die Gefahr der N-Auswaschung.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	S.1
1.1 Zwischenfrüchte	S.1
1.2 Stickstoffkreislauf.....	S.2
1.3 Symbiotische N-Fixierung.....	S.3
1.4 Stickstoffrückgewinnung im Herbst.....	S.3
1.5 Stickstoffwiederverwertung.....	S.3
1.6 Bodenbearbeitung.....	S.4
1.7 Stoppelbearbeitung.....	S.4
1.8 Ackerbauliche Steuerung des Bodenwasserhaushalts.....	S.4
1.9 Ziele der Arbeit.....	S.5
2. Material und Methoden	S.5
2.1 Rahmenbedingungen.....	S.5
2.1.1 Der Betrieb.....	S.5
2.1.2 Versuchsfeld.....	S.5
2.1.3 Boden.....	S.5
2.1.4 Klima.....	S.6
2.2 Versuchsaufbau.....	S.6
2.2.1 Schema Versuchsaufbau.....	S.6
2.2.2 Bodenbearbeitung.....	S.7
2.2.3 Zwischenfrucht Saatgutgemenge.....	S.11
2.2.4 Düngung.....	S.12
2.3 Datenerhebung.....	S.12
2.3.1 Mineralischer Stickstoff.....	S.12
2.3.2 Wassergehalt.....	S.13
2.3.3 Aufwuchs.....	S.13
2.3.4 pH-Wert.....	S.14
3. Ergebnisse	S.14
3.1 Wassergehalt.....	S.14
3.2 Aufwuchs Zwischenfrucht.....	S.15
3.3 Mineralischer Stickstoff.....	S.16

<u>4. Diskussion</u>	S.19
4.1 Wassergehalt.....	S.19
4.2 Aufwuchs.....	S.20
4.3 Mineralischer Stickstoff.....	S.21
<u>5. Fazit</u>	S.23
<u>6. Literaturverzeichnis</u>	S.24
<u>7. Anhang</u>	S.26
7.1 Boden.....	S.26
7.2 Klima.....	S.27
7.3 Zwischenfruchtmischung Beschreibung.....	S.28
7.4 Eigene Aufnahmen während des Versuchs.....	S.30
<u>8. Weitere Verzeichnisse</u>	S.31
8.1 Abkürzungsverzeichnis.....	S.31
8.2 Abbildungsverzeichnis.....	S.32
8.3 Tabellenverzeichnis.....	S.32
<u>9. Danksagung</u>	S.32
<u>10. Eidesstattliche Erklärung</u>	S.33

1. Einleitung

1.1 Zwischenfrüchte

Der Zwischenfruchtanbau ist ein wichtiger Bestandteil des Nährstoffmanagements in der Landwirtschaft und die Grundlage eines umweltschonenden Anbausystems. Laut Hampl (1996) hat der Zwischenfruchtanbau zahlreiche positive Wirkungen. Er begünstigt die Artenvielfalt in und auf dem Boden, erhöht die Bodenfruchtbarkeit und sorgt für Erosionsschutz. Auch Krankheitsschutz und ertragsstabilisierende Wirkungen zählen dazu. Zwischenfrüchte fördern die Artenvielfalt durch ein oberirdisches Pflanzengemenge, welches Heimat für zahlreiche Nützlinge sein kann. Je diverser das oberirdische Pflanzenmaterial ist, desto diverser sind auch die unterirdischen Wurzeln. Die Krume ist dadurch tief, dicht und fein durchwurzelt und steht im engen Kontakt mit dem Bodenleben. Dadurch wird die biologische Aktivität und Bodenfruchtbarkeit gefördert. Zwischenfrüchte bieten Erosionsschutz durch Bodenbedeckung. Durch das Blattmaterial ist der Boden dem Regen nicht schutzlos ausgesetzt und der Abprall-Effekt wird reduziert. Damit wird die Krümelstruktur des Bodens geschützt und es kommt zu weniger Verschlämmung, oberflächlichem Abfluss und Krustenbildung. Gerade in empfindlichen Hanglagen können die Wurzeln den Boden stabilisieren und schaffen eine

wasseraufnahmefähige Bodenstruktur, die weniger erosionsgefährdet ist. Außerdem schützt das Blätterdach der Zwischenfrucht den Boden vor starker Sonneneinstrahlung. Dadurch wird das Bodenleben vor übermäßiger Hitze geschützt. Eine gut entwickelte Zwischenfrucht wirkt außerdem unkrautregulierend. Durch Licht- und Wurzelkonkurrenz werden Unkräuter zurückgedrängt und man kann den Einsatz von Herbiziden reduzieren. Überschüssige Mengen an mineralischen Stickstoff, ob durch Düngung oder abgestorbenen, mineralisiertem Pflanzenmaterial, können durch Zwischenfrüchte aufgenommen und in organische Aufbauprozesse eingebaut werden. All diese Eigenschaften wirken sich Ertragsstabilisierend aus. Durch die Nachlieferung organischer Bodensubstanz wird das Bodenleben ernährt. Verschlammung und Erosion werden verhindert und das Bodengefüge stabilisiert. Außerdem wird der Humusaufbau gefördert und der Boden vor N-Auswaschung geschützt.

Da in der ökologischen Landwirtschaft der Einsatz chemisch-synthetischer Düngemittel verboten ist und pflanzenverfügbare mineralische Nährstoffe eine schwer erneuerbare Ressource sind, kommt der Zwischenfrucht noch eine weitere wichtige Bedeutung zu. Laut Archambeaud & Thomas (2018) wird durch die Abfuhr des Ernteguts der Nährstoffkreislauf gestört, da die im Pflanzenmaterial gebundenen Nährstoffe dem Boden nicht wieder zurückgeführt werden können. Zwischenfrüchte können zum Beispiel durch Wurzelexsudate im Boden gebundene Nährstoffe pflanzenverfügbar machen und aufnehmen. Werden die Zwischenfrüchte wieder eingearbeitet, können die in ihnen gebundenen Nährstoffe durch Mineralisation der Folgefrucht bereitgestellt werden. Während Kreuzblütler vor allem Stickstoff aufnehmen, können Phacelia, Kohl und Sonnenblumen vermehrt Kalium und Buchweizen wiederum Phosphor aufnehmen.

Wie von Archambeaud & Thomas (2018) beschrieben, unterscheidet man zwei Arten von Zwischenfrüchten, Sommer- und Winterzwischenfrüchte. Sommerzwischenfrüchte werden im Juli/August nach der Ernte angebaut. Durch die frühe Aussaat erhalten sie viel Wärme, Licht und auch Wasser im Herbst. Dadurch sind sie leistungsfähig und können viel Biomasse bilden. Winterzwischenfrüchte werden im September/Okttober ausgesät. Sie haben dadurch allerdings weniger Zeit sich zu entwickeln. Trotzdem nehmen auch sie mineralischen Stickstoff aus dem Boden auf, schaffen es aber nicht, so viel Biomasse aufzubauen wie Sommerzwischenfrüchte. Während Sommerzwischenfrüchte den Winter nicht überleben und erfrieren oder vorher eingearbeitet werden, stehen Winterzwischenfrüchte auch noch im Frühjahr.

1.2 Stickstoffkreislauf

78% der Erdatmosphäre bestehen laut Schubert (2006) aus N_2 . In dieser Form ist der Stickstoff allerdings nicht pflanzenverfügbar. Nur durch Spaltung der sehr starken Dreifachbindung des N_2 -Moleküls kann Stickstoff pflanzenverfügbar gemacht werden. Stickstofffixierende Bakterien, die Symbiosen mit Pflanzen eingehen, spalten diese Verbindung und es entsteht Ammonium (NH_4^+). Die in Kot und Pflanzenresten enthaltenen N-haltigen Verbindungen können durch Fäulnisbakterien und Pilze zu Ammoniak (NH_3) oder Ammonium (NH_4^+) abgebaut werden. Diesen Vorgang nennt man Mineralisation oder Ammonifikation. Durch nitrifizierende Bakterien kann das im Boden befindliche Ammonium erst zu Nitrit (NO_2^-) und dann zu Nitrat (NO_3^-) umgewandelt werden (Nitrifikation). Auch durch Blitzeinschläge kann atmosphärischer N_2 zu Nitrit und Nitrat umgewandelt und somit pflanzenverfügbar gemacht werden. Durch die Denitrifikation schließt sich der Stickstoffkreislauf. Durch denitrifizierende Bakterien wird Nitrat zu Lachgas (N_2O) oder atmosphärischen Stickstoff (N_2) umgewandelt.

1.3 Symbiotische N-Fixierung

Laut Schubert (2006) existiert eine N-fixierende Symbiose zwischen Leguminosen (Hülsenfrüchtler) und Rhizobiumbakterien (Rhizobien). Diese können den Luftstickstoff (N_2) für höhere Pflanzen verfügbar machen. Dabei besteht eine ausgeprägte Wirtsspezifität zwischen Mikrosymbiont (Bakterium) und Makrosymbiont (Wirtspflanze). Durch Wurzelexsudate werden die Rhizobien angelockt und bewegen sich durch den Boden zu den Wurzeln hin. Die Infektion geschieht in der Wurzelhaarzone. Durch die Infektion bilden sich Knöllchen aus den Cortezellen der Wurzeln. Nach erfolgreicher Infektion versorgt die Pflanze die Knöllchen mit Assimilaten (Saccharose). Die Knöllchenbakterien wiederum versorgen die Pflanze mit reduziertem Stickstoff (Aminosäuren oder Amine), denn sie sind in der Lage, N_2 durch das Enzym Nitrogenase zu Ammoniak (NH_3) zu reduzieren. Um die Dreifachbindung des N_2 -Moleküls zu spalten, ist viel Energie notwendig.

1.4 Stickstoffrückgewinnung im Herbst

Im Sommer nach der Ernte befinden sich noch Reste mineralischen Stickstoffs der vorherigen Kultur im Boden. Laut Archambeaud & Thomas (2018) besteht im Herbst akute Auswaschungsgefahr, wenn der noch warme Boden durch Bodenbearbeitung belüftet wird und die Niederschläge zunehmen. Um dies zu verhindern, müssen stickstoffzehrende Pflanzen angebaut werden, die den mineralischen Stickstoff zum Aufbau ihrer Biomasse nutzen. Durch spätere Einarbeitung der Zwischenfrucht, wird der Stickstoff wieder für die folgende Hauptfrucht verfügbar. Um überschüssigen Stickstoff aus dem Boden aufzunehmen eignen sich vor allem Kreuzblütler (*Brassicaceae*). Dazu zählen unter anderem Kohle, Rettiche und Senfe. Sie besitzen bodenerschließende Pfahlwurzeln und benötigen für ihr Wachstum viel Stickstoff. Sie besitzen zudem die Eigenschaft, schnell große Mengen an Stickstoff aufnehmen und Biomasse bilden zu können. Leguminosen benötigen für ihr Wachstum anfangs auch mineralischen Stickstoff, können allerdings, wie oben erwähnt, ihren N-Bedarf durch symbiotische N-Fixierung selbst bilden. Ackerbohnen, Kleearten und Wicken können in stickstoffarmen Milieus bis zu 80% ihres N-Bedarfs selbst produzieren. Für eine Zwischenfruchtmischung ist die Kombination von Kreuzblütlern und Leguminosen laut Archambeaud & Thomas (2018) besonders gut geeignet. Dadurch kann im Herbst überschüssiger Nmin aus dem Boden aufgenommen werden. Die zusätzliche Bereitstellung von Stickstoff durch Leguminosen fördert das Wachstum der Zwischenfrüchte. Dadurch können die Pflanzen noch mehr Stickstoff aufnehmen und mehr Biomasse bilden. Diese Tatsache ist besonders für die spätere Wiederverwertung des Stickstoffs aus den Pflanzen wichtig.

1.5 Stickstoffwiederverwertung

Wird, wie von Archambeaud & Thomas (2018) beschrieben, der Zwischenfruchtbestand wieder eingearbeitet, können die Pflanzenreste zersetzt und der darin enthaltene Stickstoff durch mineralisierende Bodenorganismen wieder pflanzenverfügbar gemacht werden. Die N-Rückgabe ist dabei abhängig von verschiedenen Faktoren. Zum einen spielt der Zeitpunkt der Einarbeitung eine Rolle. Je später die Zwischenfrucht eingearbeitet wird, desto stärker ist sie verholzt. Dadurch hat sie einen höheren Anteil an Kohlenstoff (C) und einen geringeren Anteil an Stickstoff. Für die Mineralisation sind ein intaktes Bodenleben, Wärme, Feuchtigkeit und Sauerstoff notwendig. Durch Zerkleinerung der Zwischenfrucht schafft man mehr Kontaktfläche zwischen Boden und Pflanzenresten, wodurch die Zersetzung beschleunigt wird. Ziel ist es, den Zeitpunkt der Einarbeitung so zu wählen, dass der mineralische Stickstoff der Folgefrucht rechtzeitig bereitsteht. Stimmen N-Bereitstellung und Bedarf zeitlich nicht überein, besteht die Gefahr der N-Auswaschung.

1.6 Bodenbearbeitung

Grundsätzlich kann man laut Diepenbrock et al. (2005) die Bodenbearbeitung in die zwei Arten, konventionelle und konservierende, Bodenbearbeitung aufteilen. Bei der konventionellen Bodenbearbeitung kommt häufig der Pflug zum Einsatz, der den Boden wendet und damit intensiv auf das Bodengefüge einwirkt. Bei der konservierenden Bodenbearbeitung geht es vor allem darum, die Bearbeitungsintensität beispielsweise durch geringere Arbeitstiefen zu vermindern. Außerdem gehören das Belassen von Pflanzen und Pflanzenresten auf der Ackerfläche dazu sowie eine möglichst lange Bodenbedeckung und der Einsatz von Zwischenfrüchten. Bei der Direktsaat findet keine Bodenbearbeitung statt. Zinkensäschare oder Zinkensäscheiben bilden schmale Säschnitte, in die das Saatgut abgelegt wird. Im Anschluss wird der Säschnitt wieder zugeschüttet. Die Bodenbearbeitungs- bzw. Aussaatform „Strip-Till“ stammt aus den USA und soll für Erosionsschutz sorgen. Sie ist laut Diepenbrock et al. (2005) eine Kombination aus Direktsaat und Bodenbearbeitung. Dabei wird der Acker streifenförmig bearbeitet. Nur die Saat- bzw. Pflanzstreifen werden durch entsprechende Geräte gelockert. Bis zu zwei Drittel der Fläche blieben dadurch unbearbeitet. Durch diese Art der konservierenden Bodenbearbeitung bleiben abgestorbene Pflanzenreste auf dem Boden zurück, die diesen vor Austrocknung und Erosion schützen. Vor allem für Reihenkulturen ist diese Art der Bearbeitung und Aussaat gut geeignet.

1.7 Stoppelbearbeitung

Wie von Diepenbrock et al. (2005) beschrieben, lässt sich die Stoppelbearbeitung in zwei Schritte unterteilen, den Stoppelumbruch und die Umbruchfolgebearbeitung. Diese Arbeitsschritte dienen vor allem der prophylaktischen Unkrautkontrolle nach der Ernte von Druschfruchtschlägen sowie der Bekämpfung von Ausfallgetreide. Beim Stoppelumbruch wird die oberste Krumenschicht etwa 5-10 cm tief bearbeitet, beispielsweise mit einem Grubber. Das Ausfallgetreide und Unkrautsamen werden dabei in Keimlage gebracht. Durch die Restfeuchte des Bodens können die Samen keimen und auflaufen. Gleichzeitig wird durch Einarbeitung der Strohreste deren Rotte beschleunigt. Durch die Umbruchfolgearbeiten werden die durch den Stoppelumbruch entstandenen Pflanzen wieder rausgerissen, abgeschnitten oder verschüttet. Sie stellen somit keine Konkurrenz mehr für die Folgefrucht dar. Diese Arbeiten können zum Beispiel wieder mit einem Grubber durchgeführt werden, der nun auf eine Arbeitstiefe von 10-15 cm eingestellt ist. Dadurch wird gleichzeitig ein gut gekrümeltes und eingeebnetes Saatbett geschaffen. Auf diese Weise wird ein störungsfreies Ablegen des Saatgutes in einer optimalen Tiefe ermöglicht und ein idealer Saatgut-Boden-Kontakt geschaffen.

1.8 Ackerbauliche Steuerung des Bodenwasserhaushalts

Laut dem Deutschen Wetterdienst (DWD) nimmt die Anzahl aufeinanderfolgender Trockentage im Sommer zu. Auch im Sommer des Versuchsjahres herrschte wieder ausgesprochene Trockenheit. Durch das Wasserdefizit besteht laut DWD eine erhebliche Gefahr für die Entwicklung der Pflanzen. Dabei kann die Intensität der Bodenbearbeitung, vor der Aussaat der Zwischenfrucht, einen entscheidenden Einfluss auf das für sie verfügbare Wasser haben. Nach Ehlers (1996) kann man durch ackerbauliche Steuerung die Infiltrationsfähigkeit des Bodens steigern und die Evaporation vermindern. Durch einen offenen, lockeren Boden mit genügend Grobporen zwischen den Aggregaten kann man die Infiltration von Wasser in den Boden erhöhen. Eine Mulchdecke auf der Ackerfläche kann Evaporation vermindern. Sonneneinstrahlung wird vom Mulch reflektiert oder absorbiert, verhindert so ein Aufheizen des Bodens und verringert die Verdunstung. Darüber hinaus schützt eine Mulchdecke den Boden vor turbulenten Luftbewegungen, die die Evaporation begünstigen könnten.

1.9 Ziele der Arbeit

In unserem Versuch wurden die Bodenbearbeitungsvarianten Direktsaat, Strip-Till und Stoppelbearbeitung miteinander verglichen. Dabei wurde einerseits untersucht, ob unter trockenen Bedingungen, eine auf dem Feld verbliebene Strohauflage, die unproduktive Verdunstung vermeiden konnte und somit mehr Wasser der Zwischenfrucht zur Verfügung stand. Daraus entstand folgende Versuchsfrage.

1) Führt eine Direktsaat der Zwischenfrucht mit minimaler Bodenbearbeitung zu geringeren Wasserverlusten des Bodens nach der Ernte der Vorfrucht? Dazu werden Varianten mit minimaler, mittlerer und intensiver Bodenbearbeitung miteinander verglichen.

Durch die verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten ergaben sich zwei verschiedene Aussattermine für die Zwischenfrüchte, wodurch sie unterschiedlich viel Zeit für ihre Entwicklung und Stickstoffaufnahme hatten. In unserem Versuch kamen zusätzlich dazu noch zwei verschiedene Düngevarianten zum Einsatz. Daraus ergab sich die zweite Versuchsfrage.

2) Kann eine Direktsaat der Zwischenfrucht mit minimaler Bodenbearbeitung zu weniger Stickstoffverlusten im Herbst führen und der Folgefrucht mehr Stickstoff zur Verfügung stellen, unter Berücksichtigung verschiedener Düngevarianten? Dazu werden Varianten mit minimaler, mittlerer und intensiver Bodenbearbeitung miteinander verglichen.

2. Material und Methoden

2.1 Rahmenbedingungen

2.1.1 Der Betrieb

Der Betrieb liegt in Hornburg, einer Stadt in Niedersachsen. Der Hof befindet sich nahe der Grenze zu Sachsen-Anhalt und besitzt Flächen in beiden Bundesländern. Der Ökobetrieb von Moritz Reimer gehört dem Anbauverband „Naturland - Verband für ökologischen Landbau e.V.“ an. Somit unterliegt er bei der Erzeugung seiner Produkte den Naturland-Richtlinien. Insgesamt werden 14 verschiedene Kulturen auf ca. 317 ha Ackerfläche angebaut.

2.1.2 Versuchsfeld

Das Versuchsfeld besitzt eine Fläche von insgesamt 17,2 ha. Es ist ungefähr 1100 m lang und an seiner schmalsten Stelle 240 m und an der breitesten 533 m breit (Abb.1). Die Höhe über NN beträgt ca. 105 m (Google Earth Pro/konsultiert am 11.05.2023). Als Vorfrucht wuchs auf der Ackerfläche Winterweizen. Hierauf folgte die Zwischenfrucht. Im Folgejahr sollte Zuckerrübe ausgesät werden.

2.1.3 Boden

Nach Angaben des Ingenieurbüros (Geries Ingenieure GmbH), handelt es sich bei dem Boden des Versuchsfeldes um einen Kolluvisol aus Löss (K4) (Abb.12). Der Bodenschätzwert betrug 91-95 Bodenpunkte. Die effektive Durchwurzelungstiefe betrug 11 dm und die Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes 400 mm. Die nutzbare Feldkapazität des Wurzelraumes lag bei 240 mm. Die Nitratauswaschungsgefährdung wurde als „gering“ eingestuft. Bei der Lagerungsdicht wurde für die oberen 30 cm ein Wert von $1,2 \text{ g/cm}^3$ und für die unteren 30-60 cm, ein Wert von $1,4 \text{ g/cm}^3$ ermittelt.

Bei einer Laboruntersuchung des pH-Wertes des Bodens wurde in den oberen 30 cm ein Wert von 7,4 festgestellt. In den unteren 30-60 cm wurde ein Wert von 7,6 ermittelt.

2.1.4 Klima

Der Jahresniederschlag in der Region liegt nach Climata-Data.org im vieljährigen Mittel bei 878 mm (Abb.13). Die Jahresdurchschnittstemperatur um Hornburg liegt bei 9,7 Grad Celsius (Abb.14). Insgesamt wird das Klima als mild, gemäßigt und warm klassifiziert. Das ganze Jahr über gibt es durchschnittlich deutliche Niederschlagsmengen, selbst in den trockensten Monaten. Diese liegen zwischen 60 und 80 mm pro Monat.

Laut wetteronline.de gab es im Jahr 2022 in der Region um Hornburg nur 5 Regenereignisse, bei denen etwas über 12 mm/Tag Niederschlag fielen (Abb.15). Am 7. April, 20. Juni, 7. Juli, 8. September und 18. Oktober. Der August war ausgesprochen trocken. Im Jahr 2023 gab es ein Regenereignis am 10. März, bei dem die Niederschlagsmenge pro Tag knapp über 12 mm lag. Im Januar und Februar kam es zwar relativ häufig zu Regenereignissen, jedoch lagen die Niederschlagsmengen im Schnitt deutlich unter 6 mm/Tag.

2.2 Versuchsaufbau

2.2.1 Schema Versuchsaufbau

Die folgende Abbildung ist ein Satellitenbild des Versuchsfeldes. Nachträglich eingefügt wurden die Bereiche auf dem Feld, auf denen die Versuche und Probenahmen stattfanden.

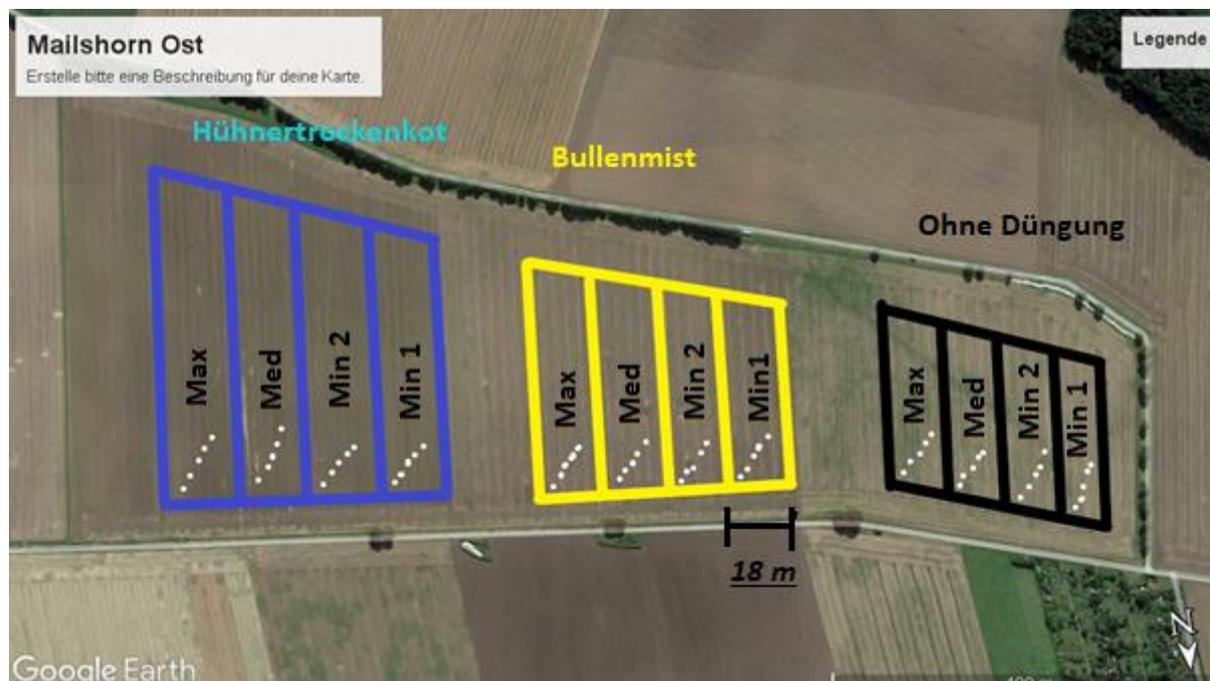


Abb.1: Satellitenbild mit Schema der verschiedenen Arten der Bodenbearbeitung und Düngung, sowie die Stellen der Probenahmen (weiße Punkte). Maximale Bodenbearbeitung (Max); Mittlere Bodenbearbeitung (Med); Minimale Bodenbearbeitung 2 (Min 2); Minimale Bodenbearbeitung 1 (Min 1). (Google Earth Pro, Bildaufnahmedatum: 23.08.2015, konsultiert am 11.05.23)

Zur Untersuchung standen verschiedene Arten der Bodenbearbeitung und Düngung und deren Auswirkungen auf den Wassergehalt des Bodens, die Stickstoff-Dynamik und die Bodenbedeckung der Zwischenfrucht. Insgesamt gab es vier verschiedene Arten der Bodenbearbeitung und drei verschiedene Arten der Düngung. Die vier Arten der Bodenbearbeitung die sich in ihrer Intensität unterscheiden, waren immer streifenförmig und unmittelbar nebeneinander angelegt. Normalerweise hätten die Arten der Bodenbearbeitung und Düngung für einen wissenschaftlichen Versuch randomisiert verteilt werden müssen. Da es sich hierbei aber um einen Praxisversuch handelte, mussten auch Aufwand und Nutzen für den Landwirt berücksichtigt werden. Deshalb wählte man eine leichter durchführbare Anordnung (Abb.1). Die Bodenproben wurden jeweils immer im unteren Drittel eines jeden Streifens, mit ausreichendem Abstand zum Vorgewende, genommen. Die genauen Stellen des Einstichs mit dem Bohrstock, wurden zufällig, entlang einer gedachten diagonalen Line, gewählt.

Im Laufe des Versuchs änderte sich jedoch die Anzahl der Einstiche pro Streifen. Das hing damit zusammen, dass zu Beginn des Versuchs, bzw. bei der ersten Probenahme am 22.07.22 noch keine Bodenbearbeitung und keine Düngung auf dem Versuchsfeld stattgefunden hatten. Man rechnete mit keinen signifikanten Unterschieden zwischen den Streifen und hat, um einen Anfangswert zu erhalten, jeweils 4 Proben pro Düngevariante genommen und sie später als Mischprobe ausgewertet. Bei der 2. Probenahme am 29.09.22 wurden dann drei Proben pro Streifen genommen. Sowohl bei der 3. Probenahme am 23.11.22 als auch bei der 4. Probenahme am 22.03.23 wurden fünf Proben pro Streifen genommen (Abb.1). Die Anzahl der Proben stieg deshalb, da durch die stattgefundene Bodenbearbeitung und Düngung mehr Variation auf dem Versuchsfeld vorherrschte.

Bei den Terminen der Probenahmen zur Ermittlung des Gehaltes an mineralischem Stickstoff im Boden wurde nach folgendem Muster vorgegangen. Probenahme 1. am 22.07.22 erfolgte direkt nach der Ernte. Man wollte damit einen Anfangswert erhalten. Die 2. Probenahme am 29.09.22 erfolgte während sich der Bestand entwickelte. Die 3. Probenahme wurde am 23.11.22 zum Vegetationsende vorgenommen, um zu erkennen, inwieweit sich der Stickstoff im Boden durch die Zwischenfrucht verlagert hat. Die 4. und letzte Probenahme erfolgte am 22.03.23. Das Interesse lag darin zu erkennen, welche Veränderungen im mineralischen Stickstoffgehalts des Bodens sind über den Winter entstanden und welche Situation liegt nun für die Folgefrucht vor.

2.2.2 Bodenbearbeitung

Es wurden vier unterschiedlich intensive Bodenbearbeitungsvarianten getestet: Strip-Till (Min 1), Paragrubber + Direktsaat (Min 2), 2 x Flachgrubber + Paragrubber + Aussaat (Med), 2 x Flachgrubber + Mulchsaatgrubber + Aussaat (Max). Min 1 und Min 2 zählten dabei zu den Direktsaatvarianten. Die Zwischenfrucht wurde unmittelbar nach der Ernte der Vorfrucht (Winterweizen) eingesät. Der Boden sollte durch minimale Bearbeitungsintensität geschützt werden. Bei den Varianten Med und Max fand zuerst Stoppelbearbeitung statt. Dadurch wurde die Zwischenfrucht in beiden Fällen erst 26 Tage später als bei den Direktsaatvarianten eingesät. In unserem Versuch wurde die Bodenbearbeitung zudem auf die Anforderungen der Folgefrucht (Zuckerrübe) abgestimmt. Eine tiefe Lockerung des Bodens sollte der Zuckerrübe die Ausbildung des Rübenkörpers erleichtern.

Minimale Bearbeitungsvariante (Min 1) - Strip-Till

Hierfür wurde das Kombinationsgerät „Horsch Focus“ (Abb.2) eingesetzt. In einem Arbeitsgang konnte das Gerät gezielte Lockerung und Aussaat durchführen.



Abb.2: Kombinationsgerät, Hersteller: Horsch, Modell: Focus
(horsch-focus.com, konsultiert am 25.05.2023)

Beim Einsatz des Kombinationsgerätes für den Versuch ging es darum, die Vorteile von „Strip-Till“ zu nutzen. Ein besonderes Augenmerk lag hierbei auf dem Verdunstungsschutz, der durch zurückbleibendes Pflanzenmaterial hervorgerufen wurde. Zur Lockerung des Bodens waren an dem Gerät Zinken, Schare und Scheiben angebracht. Die Bearbeitungstiefe betrug bei unserem Versuch 18 cm. Das Zwischenfruchtgemenge wurde in die bearbeiteten Streifen abgelegt. Der Rest der Fläche blieb bei der Überfahrt unberührt.

Minimale Bearbeitungsvariante (Min 2) - Paragrubber + Direktsaat

Durch den Einsatz des „Paragrubbers“ (Abb.3) sollte der Boden durch vertikale Rissbildung gelockert werden. Die Oberfläche des Bodens blieb dabei größtenteils unberührt. Das Gerät hatte eine Bearbeitungstiefe von 20-30 cm. Waren die Scharen des Grubbers einmal in den Boden eingedrungen, sollte dieser durch die spezielle Form dieser Scharen leicht angehoben werden und sich während der Weiterfahrt wieder absenken. Der Boden brach durch sein Eigengewicht auf und wurde gelockert. Nach Archambeaud & Thomas (2018) bieten die entstandenen vertikalen Risse Wege für Wasser und Wurzeln und ermöglicht so ein besseres Pflanzenwachstum. Bei der Überfahrt war auf eine geringe Fahrgeschwindigkeit zu achten. Im Anschluss wurde die Zwischenfrucht mit der betriebsüblichen Sämaschine gesät.



Abb.3: Paragrubber (tractors-and-machinery.de, konsultiert am 25.05.2023)

Mittlere Bearbeitungsvariante (Med) - 2 x Flachgrubber + 1 x Pragrubber + Aussaat

Bei der Variante (Med) stieg die Intensität der Bearbeitung des Bodens deutlich an. Für die zweimalige Stoppelbearbeitung betrug die Bearbeitungstiefe im 1. Durchgang 3 cm und im 2. Durchgang 5 cm. Um den Boden nicht nur oberflächlich zu lockern, sondern auch in der Tiefe, wurde als zusätzlicher Schritt der Paragrubber (Abb.3) eingesetzt.



Abb.4: Flachgrubber der Firma „Treffler“. (landwirt.com, konsultiert am 25.05.2023)

Maximale Bearbeitungsvariante (Max) - 2 x Flachgrubber + 1 x Mulchsaatgrubber + Aussaat

Zu Beginn ähnelte die Bodenbearbeitungsvariante (Max) der Variante (Med). Zunächst fand wieder eine zweimalige Stoppelbearbeitung mit dem Flachgrubber statt. Im nächsten Arbeitsschritt wurde der Boden mit einem Mulchsaatgrubber (Abb.5) bearbeitet. Er hatte eine Arbeitstiefe von 18-20 cm und lockerte den Boden somit deutlich tiefer als der Flachgrubber, der wie in Variante (Med) auf 3 und 5 cm Bearbeitungstiefe eingestellt war. Die Bodenbearbeitungsintensität war bei dieser Variante am höchsten, da durch den zweifachen Einsatz des Flachgrubbers und den Einsatz des Mulchsaatgrubbers mit einer Arbeitstiefe von 18-20 cm, besonders viel Boden durchmischte wurde. Was ebenfalls zu der Intensität der Bodenbearbeitungsvarianten zählte, war die Anzahl der Überfahrten. Sowohl bei Variante (Med) als auch bei Variante (Max) waren vier Überfahrten notwendig.



Abb.5: Mulchsaatgrubber (bm-maschinenbau.de, konsultiert am 25.05.2023)

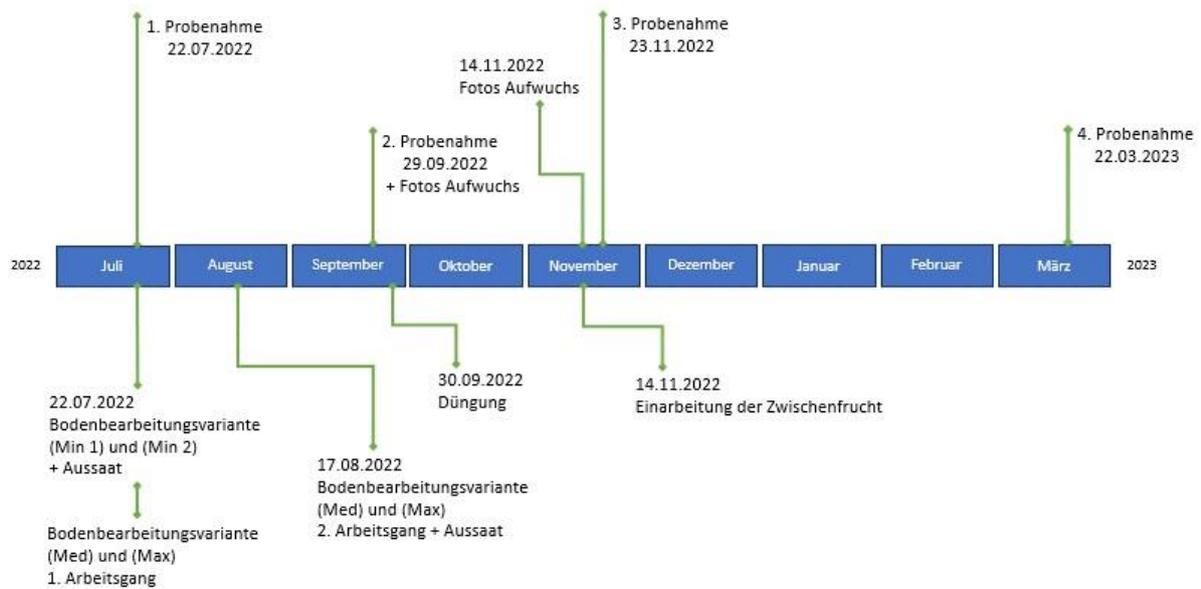


Abb.6: Zeitstrahl mit Zeitpunkten der Probenahmen und Bearbeitungsvarianten sowie weiteren Maßnahmen auf dem Feld.

2.2.3 Zwischenfrucht: Saatgutgemenge

In der folgenden Tabelle sind die verschiedenen Komponenten der Zwischenfruchtmischung aufgeführt:

Zwischenfruchtmischung:

Art:	Gewichtsanteile in (%)	Samenanteile in (%)
Ölrettich	4	5
Weißer Senf/Gelbsenf	3	5
Phacelia	8	48
Rauhafer	22	11
Sonnenblume	5	1
Öllein	7	10
Ramtillkraut	2	10
Sudangras	5	2
Sommerwicke	44	8

Tab.1: Tabelle der Saatgutmischung mit Pflanzenart, Gewichtsanteile in (%) und Samenanteile in (%).

2.2.4 Düngung

Die Düngung des Versuchsfeldes fand am 30.09.2022 statt. Wie bereits oben erwähnt, gab es drei verschiedene Varianten. Eine Variante mit Bullenmist (BM), Hühnertrockenkot (HTK) und eine ohne Düngung (OD). Der Bullenmist stammte aus einer Futter-Mist-Kooperation, da der Betrieb selbst kein Vieh hält, der Hühnertrockenkot wurde entsprechend zugekauft. Beim Bullenmist betrug die Aufwandmenge 20 t/ha und beim Hühnertrockenkot 2,5 t/ha. Die Düngemittel wurden auf die bestehende Zwischenfrucht appliziert. Die in Tab. 2 dargestellten Standardwerte der Nährstoffgehalte in organischen Düngern stammen von der Landwirtschaftskammer (LWK) Niedersachsen (Stand: 11.01.2021). Diese wurden mit der Aufwandmenge multipliziert (Tab.3) um zu zeigen, wie viel Ammoniumstickstoff (NH₄-N) bzw. verfügbarer Stickstoff in der ausgebrachten Düngermenge vorlag.

Nährstoffgehalte in organischen Düngern:

Dungart	TS (%)	Org. Substanz (%)	N (kg/t)	NH ₄ -N (kg/t)
BM	23	17	5,0	0,5
HTK	50	38	22,2	4,7

Tab.2: Standardwerte der Nährstoffgehalte in organischen Düngern. Bullenmist (BM), Hühnertrockenkot (HTK). Trockensubstanz (TS), Stickstoff (N), Ammoniumstickstoff (NH₄-N) = N_{verfügbar} (duengebehoerde-niedersachsen.de, konsultiert am 19.08.2023)

Nährstoffgehalte der ausgebrachten Düngermengen:

Dungart	Aufwandmenge (t/ha)	N (kg/ha)	NH ₄ -N (kg/ha)
BM	20	100	10
HTK	2,5	55,5	11,75

Tab.3: Bullenmist (BM), Hühnertrockenkot (HTK), Stickstoff (N), Ammoniumstickstoff (NH₄-N) = N_{verfügbar}.

2.3 Datenerhebung

2.3.1 Mineralischer Stickstoff

Auf dem Feld:

Für die N_{min}-Analyse wurden mittels Bohrstock Bodenproben aus 0-30 cm und 30-60 cm genommen. Die dadurch gewonnenen Bodenproben wurden im Anschluss direkt auf dem Feld eingewogen. So hatte man von jeder Bodenprobe 20 g in einem Schraubdeckelgefäß, das in einer Kühlbox gelagert und später eingefroren wurde. Der Rest einer jeden Probe wurde in Plastiktüten gefüllt und ebenfalls eingefroren.

Im Labor:

Im Labor wurde die N_{min}-Extraktion nach VDLUVA 2002 durchgeführt. Dabei sollte der vorhandene mineralische Stickstoff (Ammonium und Nitrat), der sich zum Zeitpunkt der Probenahme im Boden befand, abgeschätzt werden. Mit Hilfe von CaCl₂ konnte nur das austauschbare NH₄⁺ und NO₃⁻ extrahiert werden, das in den Zwischenschichten der Schichtsilikate fixierte Ammonium nicht. In unserem Fall wurde die Extraktion direkt mit der gefrorenen Probe durchgeführt. Es wurden 80 ml einer 0,125 Mol/l CaCl₂ Lösung zugegeben. Die Suspension musste im Anschluss 60 Minuten lang auf einem Schüttelgerät geschüttelt werden. Danach ruhten die Probe 45 Minuten, sodass sich die festen

Bestandteile am Boden des Gefäßes absetzen konnten. Im Anschluss wurde der Überstand filtriert und im resultierenden Extrakt der Ammonium- und Nitratgehalt photometrisch mittels Skalar SAN plus Analysator (Skalar, Niederlande) bestimmt. Das eingefärbte Material wurde mit Licht einer definierten Wellenlänge bestrahlt. Je stärker die Färbung, desto mehr Licht wurde reflektiert und desto mehr Ammonium Nitrat befand sich im Extrakt. Die Ergebnisse dieser Messung mussten noch in g N pro kg trockenen Boden umgerechnet werden. Dies geschah durch die folgenden Formeln:

$$NO_3^- - N(g\ kg^{-1}) = \frac{NO_3^- - N\ mg\ L^{-1}\ in\ Lösung\ x\ Volumen\ Extraktionslösung\ (0,08L)\ x\ Verdünnungsfaktor}{Einwaage\ (20g\ korrigiert\ um\ Wassergehalt)}$$

$$NH_4^+ - N(g\ kg^{-1}) = \frac{NH_4^+ - N\ mg\ L^{-1}\ in\ Lösung\ x\ Volumen\ Extraktionslösung\ (0,08L)\ x\ Verdünnungsfaktor}{Einwaage\ (20g\ korrigiert\ um\ Wassergehalt)}$$

$$N-min = NO_3^- - N + NH_4^+ - N$$

2.3.2 Wassergehalt

Um den Wassergehalt der Bodenproben zu bestimmen, wurden diese in einem 105 °C heißen Ofen erhitzt. Durch die Wärme verdunstete das in den Proben befindliche Wasser. Die Differenz der vor und nach dem Erhitzen gewogenen Proben gab die Menge an Wasser an, das bei dem Vorgang verdunstete. Für die Nmin-Extraktion wurden die feldfrischen Proben mit bis zu 10% Wasser eingewogen. Dieses musste hinterher wieder rausgerechnet werden. Der Wassergehalt in % wurde mit folgender Formel berechnet:

$$WG\ (\%) = \left(\frac{(Tara\ (g) + Probe\ lufttrocken\ (g)) - (Tara + Probe\ getrocknet\ (g))}{Probe\ lufttrocken\ (g)} \right) * 100\%$$

2.3.3 Aufwuchs

Zur Dokumentation des Aufwuchses der Zwischenfrucht wurden am 29.09.2022 und am 14.11.2022 Fotos für eine spätere Bonitur gemacht. Ziel war es, den Bedeckungsgrad und die Beikrautflora zu bestimmen. Anhand dieser Daten konnte man die Entwicklung der Zwischenfrucht bewerten.

Auf jedem Streifen des Versuchs wurden 5 Fotos gemacht. Dafür suchte man sich auf der gesamten Länge eines Streifens 5 zufällige Stellen aus. Dann legte man zwei Zollstöcke aus, die ein Quadrat von exakt einem Quadratmeter bildeten. Davon machte man möglichst senkrecht ein Foto.

Zur Auswertung der Fotos wurde ein Computerprogramm namens „Irfan View“ verwendet. Mit Hilfe dieses Programms konnte man ein Gitter über das Foto legen. Die sich kreuzenden Linien des Gitters bildeten „Knoten“. Man stellte das Programm so ein, dass sich 100 Knoten im Bereich des durch die

Zollstöcke gebildeten Rahmens befanden. Nun wurde ausgezählt. Befand sich an einem Knotenpunkt grünes Blattmaterial, wurde er mit einer „1“ bewertet, war jedoch nur Erde zu erkennen, mit einer „0“.

So konnte man den Bedeckungsgrad von 0-100 % bewerten. Erkannte man an einem Knotenpunkt Unkraut, wurde dies auch notiert. Es zählte ebenfalls mit zur Bodenbedeckung. Dabei wurde nach einem Verfahren nach Winnige et al. (1998) und Pforte (2010) gearbeitet.

2.3.4 pH-Wert

Die Messung des pH-Wertes erfolgte durch ein pH-Meter mit einer Glas-/Kalomel-Elektrode nach (ISO 10390). Zunächst wurden 10 g des <2mm gesiebten Bodens mit einer 0,01 M CaCl₂ Lösung vermischt, geschüttelt und anschließend 60 Minuten lang stehen gelassen. Nachdem sich die Bodenpartikel im Gefäß abgesetzt hatten und die Glaselektrode kalibriert wurde, fand die Messung im Überstand der Suspension statt. Der pH-Wert des Bodens aus 0-30 cm und 30-60 cm Tiefe wurde mit dreifacher Wiederholung bestimmt.

3. Ergebnisse

3.1 Wassergehalt

Zur ersten Probenahme, direkt nach der Ernte (22.07.22), gab es keine Unterschiede zwischen den Wassergehalten der verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten. Auch die Werte der beiden Beprobungstiefen glichen sich stark. Während der Boden der oberen 30 cm einen mittleren Wassergehalt von 10% aufwies, hatte der Boden der unteren 30-60 cm Tiefe einen Wassergehalt von 9% (Ab. 7).

Bei der zweiten Probenahme am 29.09.22, während des Aufwuchses der Zwischenfrucht, lagen die Werte des Ober- und Unterbodens zwischen 10% und 15%. In den oberen 30 cm hatte die Variante Max den höchsten Wert mit 15%. Die Variante Min 1 hatte mit 12% den niedrigsten Wert. In den unteren 30 bis 60 cm lag der höchste Wert bei 13% (Med) und der niedrigste bei 10% (Min 1). Sowohl im Ober- wie im Unterboden waren die Unterschiede zwischen den Werten nicht signifikant (Abb.7).

Die 3. Probenahme erfolgte zum Vegetationsende am 23.11.22. Dadurch, dass am 30.09.22 gedüngt wurde, beziehen sich die Werte ab jetzt nur noch auf die ungedüngte Fläche (OD). In den oberen 30 cm des Bodens gab es signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. Die Wassergehalte der Varianten Min 2 und Max waren signifikant größer (14% und 15%) als die Wassergehalte der Varianten Min 1 und Med (12% und 11%). Die Werte des Unterbodens unterschieden sich nur geringfügig. Der höchste Wert der Variante Med (13%) unterschied sich signifikant von dem niedrigsten Wert der Variante Min 2 mit 11% (Abb.7).

Die 4. Probenahme fand am 22.03.23 statt. Die Werte der oberen 30 cm unterscheiden sich kaum. Den höchsten Wert hatte die Varianten Med mit 20%, die restlichen Varianten lagen bei 19% Wassergehalt. Auch im Unterboden unterschieden sich die Werte nur geringfügig. Es gab jedoch einen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten Med mit 19% und Min 1 mit 17% (Abb.7).

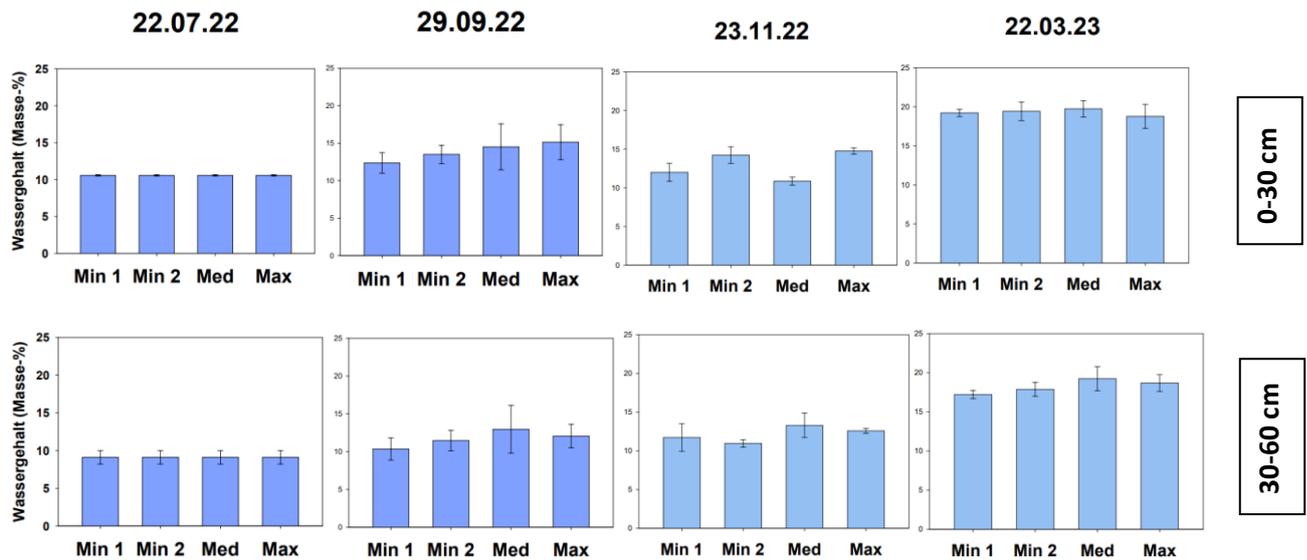


Abb.7: Wassergehalte in (%). Minimale Bodenbearbeitung 1 (Min 1); Minimale Bodenbearbeitung 2 (Min 2); Mittlere Bodenbearbeitung (Med); Maximale Bodenbearbeitung (Max). Ab dem 23.11.22 beziehen sich die Werte nur noch auf die ungedüngte Fläche (OD). Am 23.11.22 sind die Treatments (0-30 cm) Min 2 und Max signifikant höher als die Treatments Min 1 und Med. In 30-60 cm Tiefe sind die Treatments Min 2 und Med signifikant verschieden. Am 22.03.23 sind die Treatments Med und Min 1 signifikant verschieden.

3.2 Aufwuchs Zwischenfrucht

Es wurde der Aufwuchs der Zwischenfrucht dokumentiert und der entsprechende Bedeckungsgrad der verschiedenen Bodenbearbeitungs- und Düngevarianten verglichen.

Zum ersten Aufnahmezeitpunkt am 29.09.2022 war bei der Variante Min 1 der höchste Bedeckungsgrad (61%) zu beobachten. Der Unkrautanteil betrug 7%. Darauf folgte die Variante Min 2 mit 49% Bedeckungsgrad und 9% Unkraut. Knapp darunter lag die 26 Tage später ausgesäte Variante Med mit 47% Bedeckungsgrad und 0,2% Unkrautanteil. Den geringsten Bedeckungsgrad besaß die Variante mit der intensivsten Bodenbearbeitung Max mit 42% und einem Unkrautanteil von 0,3% (Abb.8).

Zum Zeitpunkt der zweiten Dokumentation des Zwischenfruchtaufwuchses am 14.11.2022 wurden die Direktsaatvarianten von den intensiveren Bodenbearbeitungsvarianten überholt. Den höchsten Bedeckungsgrad hatte die Variante Med mit 95%, gefolgt von Max mit 83%. Die Varianten Min 2 mit 68% und Min 1 mit 57% lagen deutlich darunter. Um einen Einfluss der Düngung auf die Werte auszuschließen, wurden für die Erstellung des Diagramms nur Daten der ungedüngten Fläche (OD) verwendet (Abb.8).

Die in Abb.9 dargestellten Düngevarianten wurden aus den Mittelwerten der verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten gebildet. Zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme am 29.09.2022 hatte noch keine Düngung stattgefunden. Die Werte unterschieden sich nur kaum und lagen zwischen 52% bei Bullenmist (BM) und 48% bei Hühnertrockenkot (HTK). Am 30.09.2022 erfolgte die Düngung. Zum zweiten Aufnahmezeitpunkt am 14.11.2022 hatte die Düngevariante HTK mit 86% den höchsten Bedeckungsgrad. Die Variante ohne Düngung (OD) hatte mit 75% den geringsten Bedeckungsgrad.

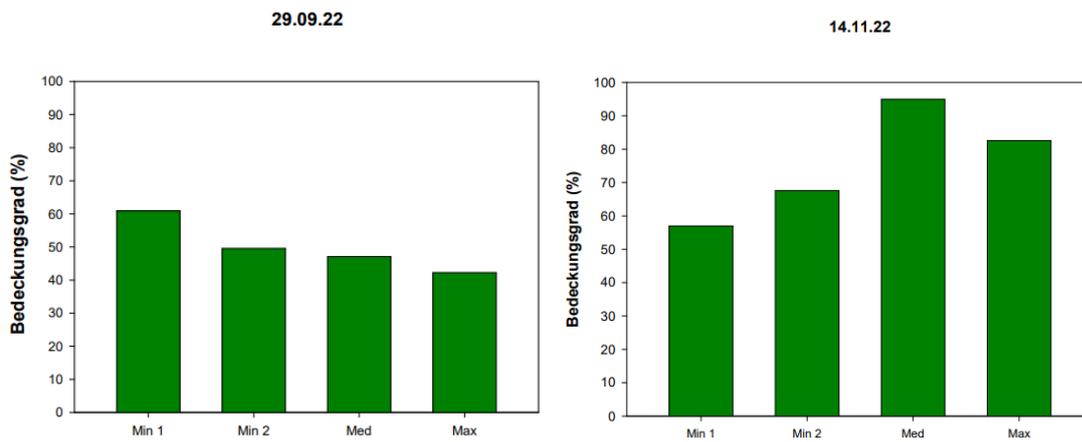


Abb.8: Zwischenfrucht-Bedeckungsgrad in (%). Zwei verschiedene Termine und vier verschiedene Arten der Bodenbearbeitung. Minimale Bodenbearbeitung 1 (Min 1); Minimale Bodenbearbeitung 2 (Min 2); Mittlere Bodenbearbeitung (Med); Maximale Bodenbearbeitung (Max). Die Werte vom 14.11.22 beziehen sich nur auf die ungedüngte Fläche (OD).

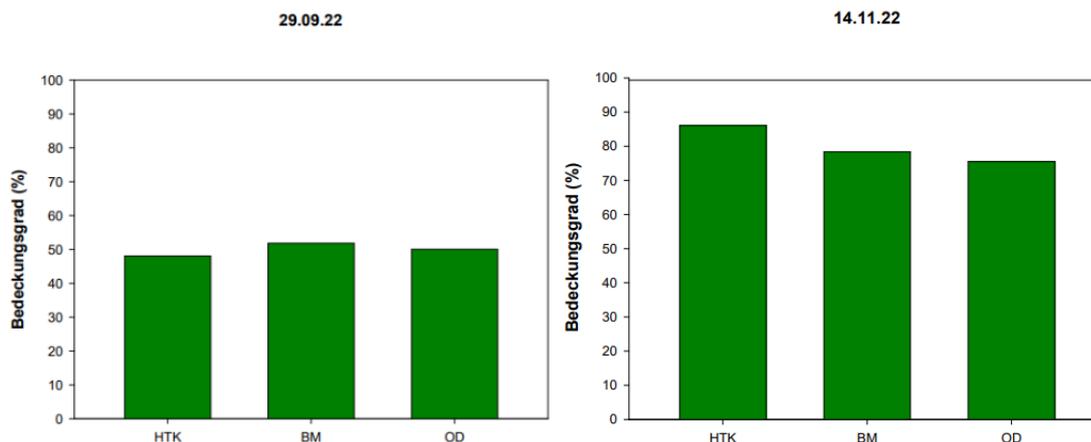


Abb.9: Zwischenfrucht-Bedeckungsgrad in (%). Zwei verschiedene Termine und drei verschiedenen Arten der Düngung. Hühnertrockenkot (HTK); Bullenmist (BM); Ohne Düngung (OD).

3.3 Mineralischer Stickstoff

Bei der ersten Probenahme am 22.07.22 wurden Mischproben innerhalb der Düngeparzellen genommen. Zu diesem Zeitpunkt hatte noch keine Bodenbearbeitung stattgefunden. Die Nmin-Werte der verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten waren deshalb identisch (Abb.10). Zum Zeitpunkt der Probenahme befanden sich in den oberen 30 cm des Bodens durchschnittlich 22 kg ha^{-1} , in den unteren 30 – 60 cm hingegen nur 9 kg ha^{-1} Nmin. Auch der Anteil des Nitrats war stets höher als der des Ammoniums. In den oberen 30 cm machte das Nitrat 74 % und das Ammonium 26 % des Nmin-Gehaltes aus. In den unteren 30 – 60 cm gab es ein Verhältnis von 42 % Nitrat zu 58 % Ammonium.

Obwohl zum Zeitpunkt der ersten Probenahme noch keine Düngung stattgefunden hatte, gab es Unterschiede des Nmin-Gehaltes zwischen den Flächen, auf denen später gedüngt wurde. So hatte die für den Hühnertrockenkot (HTK) vorgesehene Fläche von vornherein einen höheren Nmin-Wert mit 29

kg ha⁻¹ (0-30 cm) und 8 kg ha⁻¹ (30-60 cm). Bei Bullenmist (BM) waren es 20 kg ha⁻¹ (0-30 cm) und 5 kg ha⁻¹ (30-60 cm). Am wenigsten Nmin fand man auf der Fläche ohne Düngung (OD) mit 18 kg ha⁻¹ (0-30 cm) und 12 kg ha⁻¹ (30-60 cm). Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant (Abb.11).

Bei der zweiten Probenahme am 29.09.22 gab es signifikante Unterschiede des Nmin-Gehaltes zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten im Bereich 0-30 cm. Während die beiden Direktsaatvarianten Min 1 und Min 2 Werte von 16 und 21 kg ha⁻¹ Nmin aufwiesen, hatten die intensiveren Bodenbearbeitungsvarianten Med und Max doppelt so hohe Gehalte an Nmin mit 39 und 46 kg ha⁻¹. In 30 – 60 cm Tiefe des Bodens weisen die Varianten Med und Max mit 10 und 12 kg ha⁻¹ Nmin nur geringfügig höhere Werte auf, als die Direktsaatvarianten mit 7 kg ha⁻¹ (Min 1) und 7 kg ha⁻¹ (Min 2). Auch bei den Anteilen von Ammonium und Nitrat des Nmin-Gehaltes, zeigten sich leichte Unterschiede zwischen den Direktsaatvarianten und denen der intensiveren Bodenbearbeitung. Min 1 und Min 2 besaßen ca. 85 % Nitrat und 15 % Ammonium. Med und Max hatten über 10 % mehr Nitrat. Diese hatten jeweils 96 % Nitrat und 14 % Ammonium. Dies galt nur für die oberen 30 cm des Bodens. In 30 – 60 cm Tiefe hatte die Variante Med die höchsten Nitratanteile am Nmin, mit 86 % und die Variante Min 1 die geringsten mit 73 % (Abb.10).

Zum Zeitpunkt der zweiten Probenahme am 29.09.2022 hatte noch keine Düngung stattgefunden. Es waren geringe Unterschiede des Nmin-Gehaltes auf den Flächen zu erkennen, auf denen am 30.09.2022 gedüngt werden sollte (Abb.1). So hatten die für den HTK und BM vorgesehenen Flächen durchschnittlich höhere Nmin-Werte, als die Fläche, auf der später nicht gedüngt werden sollte. Bei HTK waren es 33 kg ha⁻¹ (0-30cm) und 12 kg ha⁻¹ (30-60cm) und bei BM 30 kg ha⁻¹ (0-30cm) und 7 kg ha⁻¹ (30-60cm). Die niedrigsten Werte hatte OD mit 25 kg ha⁻¹ (0-30cm) und 8 kg ha⁻¹ (30-60cm). Die Werte in (30-60) cm Tiefe unterschieden sich signifikant. Im Bereich (0-30 cm) konnte keine Signifikanz festgestellt werden (Abb.11).

Die dritte Probenahme erfolgte am 23.11.22 zum Vegetationsende. Die Zwischenfrucht wurde kurz vorher, am 14.11.22, eingearbeitet. Die Daten beziehen sich ab jetzt nur noch auf die ungedüngte Fläche (OD), da auf den anderen Flächen mittlerweile Dünger ausgebracht wurde. Ansonsten ließe sich nicht mehr differenzieren, ob die Unterschiede durch Düngung oder Bodenbearbeitung zustande kamen. Die Bodenbearbeitungsvarianten Max und Min 2 hatten mit 16 und 14 kg ha⁻¹ (0-30 cm) signifikant höhere Werte als die Varianten Min 1 und Med mit jeweils 10 kg ha⁻¹. In 30 – 60 cm Tiefe waren die Werte fast identisch. Sie lagen alle zwischen 7-8 kg ha⁻¹ Nmin (Abb.10).

Schaut man auf die verschiedenen Düngevarianten in Abb.11, gab es in den ersten 30 cm des Bodens signifikante Unterschiede. HTK hatte mit 22 kg ha⁻¹ Nmin die höchsten, OD mit 12 kg ha⁻¹ die niedrigsten Werte. BM lag mit 18 kg ha⁻¹ in der Mitte. In den unteren 30 – 60 cm waren die Unterschiede zwischen den Düngevarianten gering und nicht signifikant. Sie lagen zwischen 10 kg ha⁻¹ (HTK) und 8 kg ha⁻¹ (OD).

Nach dem Winter, am 22.03.2023, fand die vierte Probenahme statt. Die Ammonium- und Nitratgehalte hatten erkennbar zugenommen. Dabei waren die Werte im Unterboden bei allen Varianten höher als die im Oberboden. Die Nmin-Gehalte der verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten unterschieden sich deutlich. Die höchsten Werte im Bereich 0 - 30 cm hatte die Variante Min 1 mit 30 kg ha⁻¹. Sie unterschied sich signifikant von den Varianten Min 2 und Max. Bei der Variante Min 2 waren die Werte mit 20 kg ha⁻¹ am niedrigsten. In 30 - 60 cm Tiefe hatte die Variante Med mit 34 kg ha⁻¹ den höchsten Nmin-Gehalt. Die Variante Min 1 hatte mit 28 kg ha⁻¹ die niedrigsten Werte. Insgesamt gab es zwischen den Varianten in 30 - 60 cm Tiefe keine signifikanten Unterschiede (Abb.10).

Betrachtet man nur die Düngevarianten in Abb. 11, erkennt man keine großen Unterschiede in 0 – 30 cm und 30 – 60 cm Tiefe. Die höchsten Werte hatte die mit HTK gedüngte Fläche. Hier waren es 29 kg ha⁻¹ Nmin im Oberboden und 33 kg ha⁻¹ im Unterboden. Die niedrigsten Werte hatte die ungedüngte Fläche (OD) mit 24 kg ha⁻¹ (0-30cm) und 30 kg ha⁻¹ (30-60cm). Die Unterschiede zwischen den Düngevarianten waren jedoch nicht signifikant.

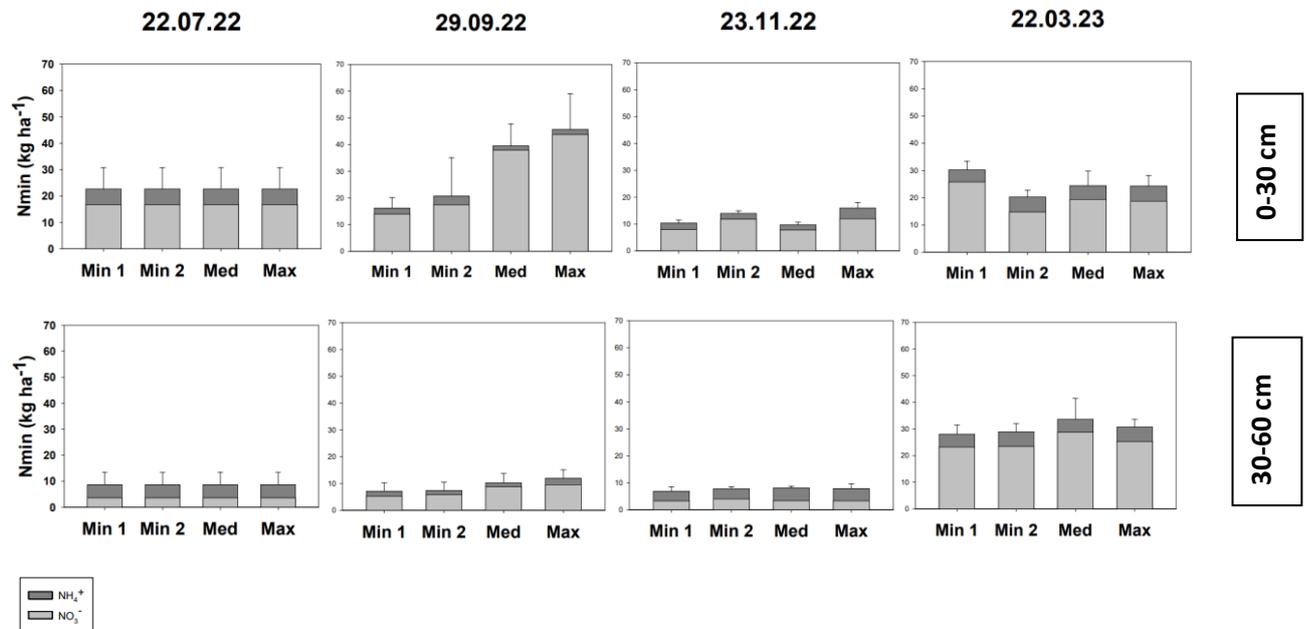


Abb.10: Nmin in (kg ha⁻¹). Dargestellt sind die vier verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten: Minimale Bodenbearbeitung (Min 1), minimale Bodenbearbeitung 2 (Min 2), mittlere Bodenbearbeitung (Med) und maximale Bodenbearbeitung (Max) zu den vier Terminen der Probenahmen. Ab dem 23.11.22 beziehen sich die Daten nur noch auf die nicht gedüngte Parzelle (OD). Am 29.09.22 sind die Treatments Med und Max signifikant höher als die Treatments Min 1 und Min 2 (0-30 cm). Am 23.11.22 sind die Treatments Max und Min 2 signifikant höher als die Treatments Min 1 und Med (0-30 cm). Am 22.03.23 sind abgesehen von Treatment Min 1 die Werte nicht signifikant verschieden.

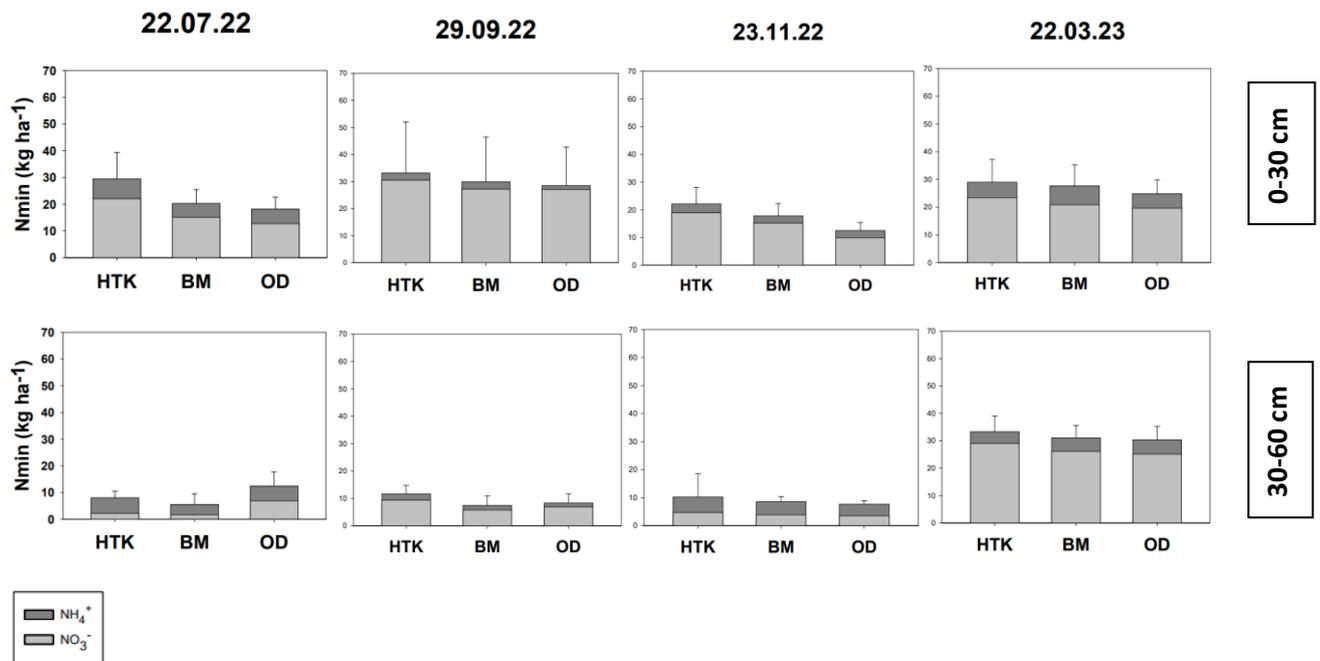


Abb.11: Nmin in (kg ha⁻¹). Dargestellt sind die vier verschiedenen Termine der Probenahmen mit jeweils drei Düngevarianten Hühnertrockenkot (HTK), Bullenmist (BM) und ohne Düngung (OD). Am 23.11.22 unterscheidet sich Treatment OD signifikant von den Treatments HTK und BM.

4. Diskussion

4.1 Wassergehalt

Mit den gesammelten Daten sollte untersucht werden, ob durch Direktsaat der Wasserverlust des Bodens reduziert werden konnte und der Zwischenfrucht dadurch mehr Wasser zur Verfügung stand.

Bei der ersten Probenahme wurde eine Mischprobe genommen. Zu diesem Zeitpunkt hatte noch keine Bodenbearbeitung stattgefunden. Alle Werte lagen bei sehr niedrigen 10 %, da es in den Tagen zuvor keine nennenswerten Niederschläge gab. Die Vorfrucht Winterweizen war geerntet worden und es befand sich nur noch Restfeuchte im Boden.

Zum Zeitpunkt der zweiten Probenahme konnte man erste Effekte der Bodenbearbeitungsvarianten erwarten. Sowohl nach Ehlers (1996) als auch Pekrun & Claupein (2004) hätte das aufliegende Stroh, bei den Direktsaatvarianten Min 1 und Min 2 als verdunstungshemmende Schutzschicht fungieren müssen. Dieser Effekt wurde durch die Daten nicht bestätigt. In unserem Fall waren die Wassergehalte in den Böden mit intensiverer Bodenbearbeitung etwas größer als in den Böden unter Direktsaat. Die Unterschiede waren allerdings sehr gering und nicht signifikant. Variante Max besitzt durchschnittlich 15% und Variante Min 1 12% Wassergehalt in den oberen 30 cm des Bodens (Abb.7). Generell war der Boden aufgrund fehlender Niederschläge sehr trocken, was sich negativ auf das Wachstum der Zwischenfrüchte auswirkte. In einem Versuch von Pekrun & Claupein (2004) hatte die Strohaufgabe einen erkennbaren verdunstungshemmenden Effekt. Stoppelbearbeitung hingegen hatte zu Evaporation geführt, da der Boden ungeschützt Sonne und Wind ausgesetzt war. Allerdings gab es bei dem Versuch stets ausreichende Niederschlagsmengen. Das Ergebnis könne laut Pekrun et al. (2011) beispielsweise im mitteldeutschen Trockengebiet anders ausfallen und die Unterbrechung des

kapillaren Wasseraufstiegs durch Stoppelbearbeitung eine bedeutendere Rolle haben, als eine aufliegende Strohschicht. Auch diese Theorie konnte durch den aktuellen Versuch nicht bestätigt werden. Zwar gab es einen kleinen Unterschied zwischen den Varianten, jedoch ohne große Aussagekraft. Wahrscheinlich waren die Wassergehalte des Bodens so niedrig, dass weder die schützenden Strohaufgabe noch die Unterbrechung des kapillaren Wasseraufstiegs einen nennenswerten Effekt auf den Wassergehalt des Bodens hatten.

Eine weitere mögliche Erklärung für den kleinen Unterschied der Wassergehalte bei Min 1 und Max könnte im Aufwuchs liegen. In den Direktsaatvarianten konnte die Zwischenfrucht 26 Tage früher ausgesät werden und hatte somit einen Wachstumsvorsprung gegenüber den intensiver bearbeiteten Varianten Med und Max. Bei der Untersuchung des Bedeckungsgrades, die am selben Tag wie die zweite Bodenprobe durchgeführt wurde, zeigte sich, dass Variante Min 1 mit einem Bedeckungsgrad von 61% am besten entwickelt war. Die Variante Max war mit 42% bis dato am schlechtesten entwickelt (Abb.8). Eventuell ist der geringe Wassergehalt von Min 1 dadurch zu erklären, dass sich das Wasser im oberirdischen Pflanzenmaterial statt im Boden befand. Umgekehrt ließe sich auch der höhere Wassergehalt von Variante Max erklären.

Die dritte Probenahme erfolgte am 23.11.22. Neun Tage zuvor, am 14.11.22 wurde die Zwischenfrucht eingearbeitet. Die Bodenoberfläche wurde über alle Düng- und Bodenbearbeitungsvarianten hinweg homogen bearbeitet. Da am 30.09.22 gedüngt wurde, wurden ab der dritten Probenahme nur noch die Bearbeitungsvarianten auf der ungedüngten Fläche (OD) betrachtet. Trotz der homogenen Bearbeitung waren signifikante Unterschiede zwischen den Varianten zu erkennen. Da die Unterschiede nur sehr gering waren, ließ sich nur schwer einen Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt des Bodens und den ursprünglichen Bodenbearbeitungsvarianten aufzeigen.

Im Vergleich zur ersten Probenahme haben sich die Wassergehalte des Bodens, bis zur vierten Probenahme, von durchschnittlich 10% auf 20% verdoppelt. Auch in 30 – 60 cm Tiefe kamen die Wassergehalte auf bis zu 19%. Durch vermehrte Niederschläge im Winter und den durch die Einarbeitung der Zwischenfrucht gelockerten Boden, konnte das Wasser gut infiltrieren.

4.2 Aufwuchs

Wie bereits oben erwähnt, lassen sich die Unterschiede beim Aufwuchs (29.09.22) einerseits durch die unterschiedlichen Aussaattermine erklären. Allerdings liegen die Varianten Min 2 mit 50% und Med mit 47% trotz völlig verschiedener Aussaattermine und Bearbeitungsmethoden, ziemlich nah beieinander (Abb.8). Den höchsten Bedeckungsgrad von 61% der Variante Min 1 könnte man durch den Einsatz der hochmodernen Maschine „Horsch Focus“ erklären. Sie legte das Saatgut präzise in einen mit Zinken bearbeiteten Schlitz ab. Somit lag das Saatgut in gelockertem Boden in ausreichender Tiefe.

Ein möglicher Grund warum Variante Med und Min 2 beim Bedeckungsgrad fast gleichauf lagen, könnte die Stoppelbearbeitung von Med gewesen sein. Durch die Lockerung des Bodens und gleichmäßige Verteilung der Strohreste wurde ein optimales Saatbett geschaffen, welches die Wurzelbildung und den Aufwuchs begünstigte.

Besonders deutlich wurde der Effekt der Stoppelbearbeitung bei der Entwicklung des Unkrautes. Während die Direktsaatvarianten einen Unkrautanteil von 10% (Min 2) und 7% (Min 1) hatten, waren es bei den Varianten mit Stoppelbearbeitung Max und Med nur 0,3 % und 0,2 % Unkraut. Die zweimalige Bearbeitung mit dem Flachgrubber schien besonders viel Unkraut abgetötet zu haben. Bei

den Direktsaatvarianten sollte eine schnelle Entwicklung der Zwischenfrucht die Keimruhe des Ausfallgetreides und der Unkrautsamen ausnutzen. Durch den Vorsprung in der Entwicklung hätte die Zwischenfrucht Unkräuter unterdrücken sollen (Baeumer, 1992). Dies war bei dem jetzigen Versuch nicht zu erkennen. Eine mögliche Erklärung könnte die schlechte Entwicklung der Zwischenfrucht aufgrund mangelnden Niederschlags sein. Die Pflanzen konnten sich dadurch nicht schnell genug entwickeln um ihren Vorsprung auszubauen.

Nach Archambeaud & Thomas (2018) erreicht man durch Düngung einen schnelleren Zwischenfruchtaufgang und eine tiefere Durchwurzelung. Dadurch könne mehr pflanzenverfügbarer Stickstoff aus dem Boden aufgenommen und mehr Biomasse gebildet werden. Je besser die Zwischenfrucht entwickelt ist, desto mehr verstärken sich die in der Einleitung beschriebenen vorteilhaften Effekte einer Zwischenfrucht. Betrachtet man die Ergebnisse der Untersuchung des Aufwuchses vom 14.11.2022 erkennt man einen höheren Bedeckungsgrad auf den gedüngten Flächen. Den höchsten Bedeckungsgrad (86 %) hatte die mit Hühner trockenkot gedüngte Fläche. Die mit Bullenmist gedüngte Fläche hatte mit 78% nur einen unwesentlich höheren Bedeckungsgrad als die ungedüngte Fläche mit 75% (Abb.9). Nach den Standardwerten der Landwirtschaftskammer (LWK) Niedersachsen, hatten der ausgebrachte HTK 11,75 kg ha⁻¹ verfügbaren Stickstoff und der BM 10 kg ha⁻¹. Der etwas höhere Anteil an verfügbarem Stickstoff beim HTK könnte zu einem höheren Bedeckungsgrad auf den entsprechenden Flächen beigetragen haben.

Auch die verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten unterschieden sich in ihrem Bedeckungsgrad. Die intensiveren Bodenbearbeitungsvarianten Med und Max hatten am 14.11.2022 mit 95% und 83% besonders hohe Werte. Die Direktsaatvarianten hingegen hatten nur 56% (Min 1) und 68% (Min 2). Am 29.09.2022 war das Verhältnis noch umgekehrt (Abb.8). Die intensiv bearbeiteten Varianten hatten durch die spätere Aussaat einen Rückstand in ihrem Aufwuchs. Diesen holten sie auf und konnten die Direktsaatvarianten im Bedeckungsgrad schließlich sogar überholen. Wahrscheinlich ließ der intensiv bearbeitete Boden eine bessere und tiefere Durchwurzelung zu. Auch die Infiltration des Niederschlagwassers in den gelockerten Boden war leichter. Durch diese Vorteile konnten die Pflanzen der Varianten Med und Max wahrscheinlich mehr Wasser aufnehmen und einen höheren Bedeckungsgrad bilden. Es gibt noch eine weitere Erklärung warum die Pflanzen der Varianten Min 1 und Min 2 zum 14.11.22 eine geringere Bodenbedeckung aufwiesen. Die Kombination von zeitlichem Vorsprung im Aufwuchs und Trockenheit könnte dafür gesorgt haben, dass die Pflanzen vom vegetativen ins generative Wachstum übergingen. Dadurch hatten sie zum Zeitpunkt der Untersuchungen weniger Blattmasse und einen geringeren Bedeckungsgrad.

4.3 Mineralischer Stickstoff

Ziel der Untersuchung war es, durch Bodenproben die N-Dynamik im Zeitraum nach der Ernte bis ins Frühjahr zu analysieren. Dabei wurde der Einfluss der Bodenbearbeitung und Düngung auf die N-Dynamik betrachtet. Es sollte ermittelt werden, ob durch Direktsaat der Zwischenfrucht eine geringere Gefahr der N-Auswaschung besteht und somit der Folgefrucht mehr Stickstoff zur Verfügung steht.

Obwohl zum Zeitpunkt der ersten Probenahme noch keine Düngung stattgefunden hatte, gab es unterschiedliche N_{min}-Gehalte auf den Flächen, auf denen später gedüngt wurde (Abb.11). Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant. Auf älteren Satellitenaufnahmen konnte man erkennen, dass das Feld in der Vergangenheit in drei Schläge aufgeteilt war. Durch deren unterschiedliche Bewirtschaftung könnte man die verschiedenen Gehalte an N_{min} erklären. Nach Angaben von Gerjes

Ingenieure GmbH besitzt die Fläche zwischen 91 und 95 Bodenpunkte. Laut Moritz Reimer gibt es ein Gefälle der Bodenpunkte von „links nach rechts“ (Abb.1). Somit hat die Fläche auf der später mit HTK gedüngt wurde mehr Bodenpunkte. Die höhere Fruchtbarkeit dieser Fläche könnte auch für die höheren Nmin-Gehalte verantwortlich sein. Dieser Fehler hätte zwar durch Blockbildung und Randomisierung vermeiden werden können, doch da es sich um einen Praxisversuch auf einem realen landwirtschaftlichen Betrieb handelte, mussten auch eine praxistaugliche Umsetzung des Versuchs sowie Aufwand und Nutzen für den Landwirt berücksichtigt werden.

Bei der zweiten Probenahme am 29.09.22 hatten die Varianten Med und Max deutlich höhere Nmin-Werte als die Direktsaatvarianten Min 1 und Min 2. Grund dafür war sehr wahrscheinlich die intensivere Bodenbearbeitung. Laut M. Kainz und H.-J. Reents (2016) wird durch Bodenbearbeitung und Einmischung organischer Substanz, die Mikroorganismenaktivität und der Stoffumsatz gefördert. Außerdem verbessert sich die Wasserinfiltrationsfähigkeit des Bodens. Nach Archambeaud & Thomas (2018) wird die Mineralisation der organischen Bodensubstanz vor allem durch die Faktoren Wärme, Feuchtigkeit und Sauerstoff begünstigt. Wenn im Herbst der noch warme Boden durch Bodenbearbeitung zusätzlichen Sauerstoff erhält und es zu vermehrten Niederschlägen kommt, erhöht sich das Risiko der Herbstmineralisation. Damit einhergehend steigt auch die Gefahr der Nitratauswaschung im Spätsommer bzw. Herbst bei den intensiv bearbeiteten Böden. Trotzdem sind die Nmin-Gehalte in den unteren 30-60 cm des Bodens, im Vergleich zur ersten Probenahme, nicht erkennbar gestiegen. Auch untereinander gab es keine großen Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten. Sehr wahrscheinlich konnte durch mangelnde Niederschläge keine Verlagerung stattfinden. Insgesamt bestätigten die Ergebnisse, dass durch Direktsaat das Risiko der Nitratauswaschung im Spätsommer bzw. Herbst vermindert werden kann.

Betrachtet man die Werte der dritten Probenahme vom 23.11.22, fällt auf, dass die hohen Nmin-Werte von Med und Max vom 29.09.22, stark zurück gegangen sind. Die Werte von Min 1 und Min 2 sind ebenfalls gesunken (Abb. 10). Die Nmin-Gehalte in den unteren 30-60 cm des Bodens haben sich im Vergleich zur 2. Probenahme kaum verändert. Allerdings sind die Anteile des Ammoniums am Nmin-Gehalt etwas gestiegen (Abb.10). Eine mögliche Erklärung für den Verbleib des Nmin aller vier Bearbeitungsvarianten vom 29.09.22 liegt im Aufwuchs. Wie in Abb.8 zu erkennen ist, hatte der Bedeckungsgrad vor allem von Med und Max im Zeitraum zwischen dem 29.09.22 bis 14.11.22 noch einmal stark zugenommen. Somit könnte er für den Aufbau von Biomasse verbraucht worden sein. Denn nach Hampl (1996) werden durch die Zwischenfrucht überschüssige Stickstoffmengen aufgenommen, in pflanzliche Aufbauprozesse eingebaut und somit nicht weiter im Boden verlagert. Somit werde Nitratauswaschung verhindert. Hierbei war vor allem das Vorhandensein von Nicht-Leguminosen bzw. stickstoffzehrenden Pflanzen in der Saatgutmischung wichtig (Archambeaud & Thomas 2018).

Zum Zeitpunkt der 3. Probenahme lag die Düngung der Zwischenfrucht bereits 54 Tage zurück. Trotzdem gingen die in Abb. 11 zu sehenden Mengen an Nmin, im Vergleich zur vorherigen Probenahme, etwas zurück. Vor allem auf der Fläche, auf der nicht gedüngt wurde (OD). Hier sank der Wert von 28 kg ha^{-1} auf 12 kg ha^{-1} Nmin. Auch hier werden die überschüssigen Stickstoffmengen im Boden von den Pflanzen aufgenommen worden sein. Auf den mit HTK und BM gedüngten Flächen waren die Nmin-Gehalte am 23.11.22 signifikant höher als bei OD. Der Unterschied zwischen den Varianten ist damit eindeutig auf den Dünger zurückzuführen. Das bedeutet, dass die Pflanzen es nicht geschafft haben, den zusätzlichen Nmin aus dem Dünger vollständig aufzunehmen und in Biomasse umzuwandeln. Zwar wurden die Pflanzen in ihrer Entwicklung durch den Dünger gestärkt (Abb.9), jedoch erhöhte sich mit überschüssigem Nmin im Boden die Auswaschungsgefahr.

Der Grund für die hohen N_{min}-Werte im Frühjahr 2023 (4. Probenahme) war wahrscheinlich die Einarbeitung der Zwischenfrucht im Spätherbst 2022. Sie wurde eingearbeitet bevor sie verholzte und hatte somit ein enges C/N-Verhältnis. Laut Archambeaud & Thomas (2018) kann der organische Stickstoff dadurch schneller mineralisiert und pflanzenverfügbar gemacht werden. Aufgrund dessen erhöhe sich aber auch gleichzeitig das Auswaschungsrisiko im Winter. Zudem fördern steigende Temperaturen im Frühjahr die Mineralisation. Da die Zwischenfrucht am 14.11.22 auf dem gesamten Versuchsfeld auf die gleiche Art und Weise eingearbeitet wurde, waren keine Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten der 4. Probenahme zu erwarten. Trotzdem gab es zwischen den Varianten Min 1 und Min 2 einen Unterschied von 10 kg ha⁻¹ N_{min}. Eine mögliche Erklärung für die niedrigen Werte der Variante Med könnten die tiefen vertikalen Risse sein, die durch den Paragrubber verursacht wurden. Durch sie könnte sich der mineralische Stickstoff mit dem Sickerwasser leichter in tiefere Bodenschichten verlagert haben. Zum ersten Mal waren die N_{min}-Gehalte in den unteren 30-60 cm des Bodens höher als die in den oberen 0-30cm (Abb.10). Im Januar, Februar und März 2023 gab es vereinzelt Regenereignisse in der Region. Der Regen konnte durch den bearbeiteten und brachliegenden Boden gut infiltrieren. Wahrscheinlich hat sich dadurch ein größerer Teil des N_{min} in tiefere Bodenschichten verlagert.

Betrachtet man die in Abb.11 dargestellten Düngevarianten vom 22.03.23, erkennt man ebenfalls einen Anstieg des N_{min}. Wie schon bei den vorangegangenen Probenahmen hatte die Variante HTK die höchsten Werte. Auch hier lässt sich der höhere N_{min}-Gehalt auf den HTK-Dünger zurückführen. Insgesamt scheinen sich die Werte durch die eingearbeitete Zwischenfrucht und deren Mineralisation einander angeglichen zu haben. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen ihnen.

5. Fazit

In unserem Versuch führte die Direktsaat der Zwischenfrucht mit minimaler Bodenbearbeitung nicht zu geringeren Wasserverlusten nach der Ernte. Die auf dem Feld verbliebene Strohaufgabe hatte nicht den erkennbaren, verdunstungshemmenden Effekt wie im Versuch von Claupein (2004). Wahrscheinlich war der Boden durch fehlende Niederschläge zu trocken, um durch die verschiedenen Arten der Bodenbearbeitung einen Effekt zu erzielen. Die Wassergehalte im Boden zwischen den Direktsaatvarianten und den Varianten mit herkömmlicher Stoppelbearbeitung unterschieden sich kaum. Somit konnte keine klare Aussage darüber getroffen werden, ob man in trockenen Gebieten im Zwischenfruchtanbau auf herkömmliche Stoppelbearbeitung zugunsten von Direktsaat verzichten sollte. Versuche wie von Claupein (2004) haben bewiesen, dass die Art der Bodenbearbeitung einen Einfluss auf den Wasserhaushalt nach der Ernte haben kann. Gerade in trockenen Gebieten sind zu diesem Thema in Zukunft weitere Versuche nötig.

Beim Aufwuchs hatten die Varianten Med und Max zum Ende der Vegetationszeit einen deutlich höheren Bedeckungsgrad erreicht und besaßen mehr Biomasse. Durch die Trockenheit gingen die Varianten Min 1 und Min 2 verfrüht in das generative Wachstum über und bildeten keine weitere Blattmasse mehr. Die später gesäten Varianten Med und Max konnten sie dann aufgrund später einsetzender Niederschläge im Wachstum überholen, da sie länger in der vegetativen Phase blieben. In unserem Versuch hatte die Stoppelbearbeitung eindeutig für weniger Unkraut gesorgt. Der unkrautunterdrückende Effekt der direktgesäten Zwischenfrucht blieb aus, da sie sich aufgrund mangelnder Niederschläge zu langsam und schlecht entwickelte. Die Düngung mit Hühner trockenkot (HTK) hatte allerdings einen erkennbaren Effekt auf das Pflanzenwachstum. Die mit HTK gedüngten

Pflanzen erzielten höhere Bedeckungsgrade. Zwar unterstützt man mit HTK das Pflanzenwachstum, hat jedoch auch mehr Nmin im Boden, welcher im Herbst auswaschungsgefährdet ist.

Durch die Direktsaat der Zwischenfrucht mit minimaler Bodenbearbeitung konnte die N-Auswaschung im Spätsommer bzw. Herbst vermindert werden. Stoppelbearbeitung hingegen erhöhte durch Belüftung des warmen Bodens das Risiko der N-Auswaschung im Spätsommer. Bis zum Vegetationsende hatten die Zwischenfrüchte Gelegenheit, den überschüssigen Nmin aus dem Boden aufzunehmen und vor Auswaschung zu schützen. Die Düngung, die die Zwischenfrüchte in ihrer Entwicklung stärken sollte, wurde scheinbar nicht vollständig verbraucht und in Biomasse umgewandelt. Damit erhöhte sich auf den gedüngten Flächen das N-Auswaschungsrisiko. Über den Winter stiegen die Nmin-Gehalte im Boden deutlich an. Durch die Einarbeitung der Zwischenfrucht im Spätherbst und die relativ warmen und feuchten Bedingungen im Winter wurden im Frühjahr wieder höhere Nmin-Gehalte gemessen. Dadurch erhöhte sich ebenfalls das Auswaschungsrisiko.

6. Literaturverzeichnis

Archambeaud M, Thomas F (2018) Zwischenfrüchte in der Praxis, Bayer Handelsvertretung, Y- Th. Bayer, Berlin

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

Diepenbrock W, Ellmer F, Leon J (2005), Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim)

Ehlers W (1996) Wasser in Boden und Pflanze, Dynamik des Wasserhaushalts als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag, Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart (Hohenheim)

Hampel U (1996) Gründung, Leopold Stocker Verlag, Graz – Stuttgart

Kainz M, Reents H.J (2016) Ökologischer Landbau, Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen, Haupt Bern

Pekrun C, Pflaum S, Henne U (2011) Was ist über die Wirkung der Stoppelbearbeitung bekannt-wo fehlt es an Daten? Landtechnik, Band 66 Nr. 2

Pekrun C, Claupein W (2004) Wird durch Stoppelbearbeitung die unproduktive Verdunstung gesenkt? Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissen, Band 16, S. 163-164

Pforte F (2010) Entwicklung eines Online-Messverfahrens zur Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades bei der Stoppelbearbeitung zu Mulchsaatverfahren. Diss. Univ. Kassel/Witzenhausen, 132 S.

Scheffer F, Schachtschabel P (2018) Lehrbuch der Bodenkunde, Springer-Verlag GmbH Deutschland

Schubert S (2006) Pflanzenernährung, Grundlagen Bachelor, Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim)

Winnige B, Corzelius U, Frielinghaus U (1998) Indikation der aktuellen Erosionsgefährdung mit Hilfe der Bodenbedeckung, Mitteilung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 88, S. 569-572

Internetquellen:

- <https://en.climate-data.org/> , konsultiert am 21.08.2023
- https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/duerre/20220811_trockenheit_sommer_2022.html , konsultiert am 25.08.2023
- <https://www.duengebehoerde-niedersachsen.de> ,LWK Niedersachsen, konsultiert am 19.08.2023
- Google Earth Pro, konsultiert am 11.05.2023
- <https://www.wetteronline.de/wetterdaten/hornburg-niedersachsen> , konsultiert am 21.08.2023

Bildquellen:

- <https://www.bm-maschinenbau.de/> , konsultiert am 25.05.2023
- <https://en.climate-data.org/> , konsultiert am 21.08.2023
- Google Earth Pro, konsultiert am 11.05.2023
- <https://www.horsch.com/produkte/saemaschinen/streifenbearbeitung/focus-td> , konsultiert am 25.05.2023
- <https://www.landwirt.com/> , konsultiert am 25.05.2023
- <https://www.tractors-and-machinery.de/> , konsultiert am 25.05.2023
- <https://www.wetteronline.de/wetterdaten/hornburg-niedersachsen> , konsultiert am 21.08.2023

7. Anhang

7.1 Boden



Ap: Pflughorizont

Ut3 (mittel toniger Schluff)

----- 30cm-----

M: Ut3

-----70cm-----

rAh: Ut3 (mittel toniger Schluff)

Humusgehalt: <4%

Cv: Ut2

Abb.12: Bodenprofil Versuchsfeld (Mailshorn) Hornburg (Eigene Aufnahme, September 2022)

Die folgenden Informationen stammen aus dem Lehrbuch der Bodenkunde von Scheffer/Schachtschabel (2018). Das „A“ kennzeichnet den Mineralhorizont im Oberboden mit akkumuliertem Humus. Das daran angehangene „p“ für „gepflügt“. Der Boden ist durch die landwirtschaftliche Bearbeitung weitgehend homogenisiert. Die Bodenart in diesem Horizont ist „mittel-toniger- Schluff“ (Ut3). Das „U“ steht für Schluff und das „t“ für die Anteile an Ton. Die „3“ beschreibt den Grad dieser Anteile: „mittel“. Unterhalb der ersten 30 cm befindet sich der „M-Horizont“. Dieser bezeichnet umgelagertes Mineralbodenmaterial in tiefere Bodenlagen. Der Humusgehalt ist dabei derselbe wie im Oberboden. Die Bodenart gleicht ebenfalls der im Oberboden. Im Bereich von 70 cm Bodentiefe gibt es eine kleine Besonderheit. Einen durch anaerobe Verhältnisse reduzierten „r“ „Ah-Horizont“. Also ein Mineralhorizont mit akkumuliertem Humus. In der Abbildung durch einen horizontalen, dunklen Streifen zu erkennen. Auch hier findet sich wieder die Bodenart „Ut3“. Geht man noch tiefer, erreicht man den „Cv-Horizont“. Diese Buchstaben kennzeichnen verwittertes Lockergestein bzw. zerteiltes Festgestein, mit grabbarer Feinerde. In dieser Tiefe findet sich die Bodenart „Ut2“. Das bedeutet, dass der Anteil an Ton gesunken ist und man nun von „schwach-tonigem-Schluff“ spricht. Dieses Bodenprofil ist nur ein Ausschnitt des Bodens des gesamten Feldes. Die Mächtigkeiten der einzelnen Horizonte können auf dem Feld variieren.

7.2 Klima

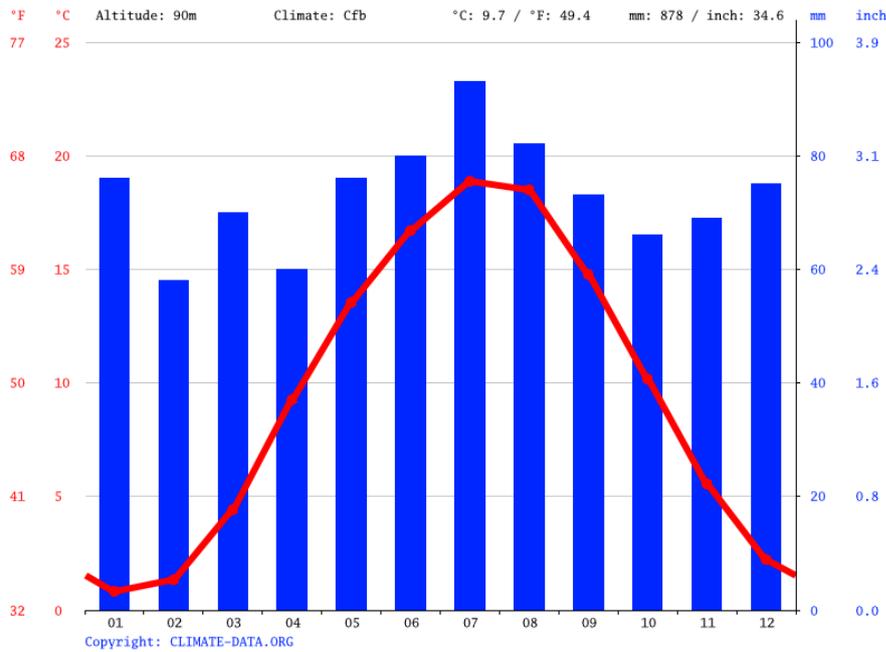


Abb.13: Durchschnittliche Niederschlagsverteilung (mm) Hornburg im Zeitraum 1991-2021 (Climate-Data.org, konsultiert am 21.08.2023).

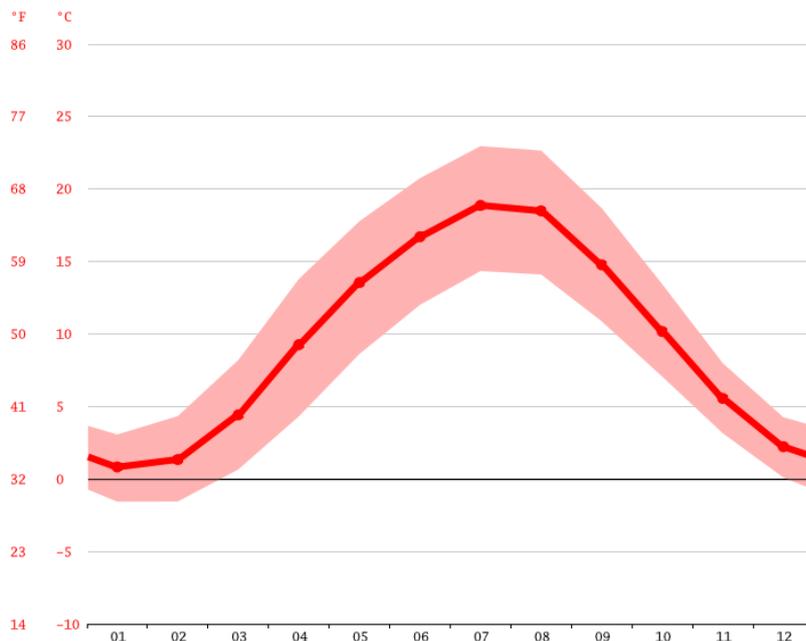


Abb.14: Durchschnittliche Temperaturkurve (°C) Hornburg im Zeitraum 1991-2021 (Climate-Data.org, konsultiert am 21.08.2023).

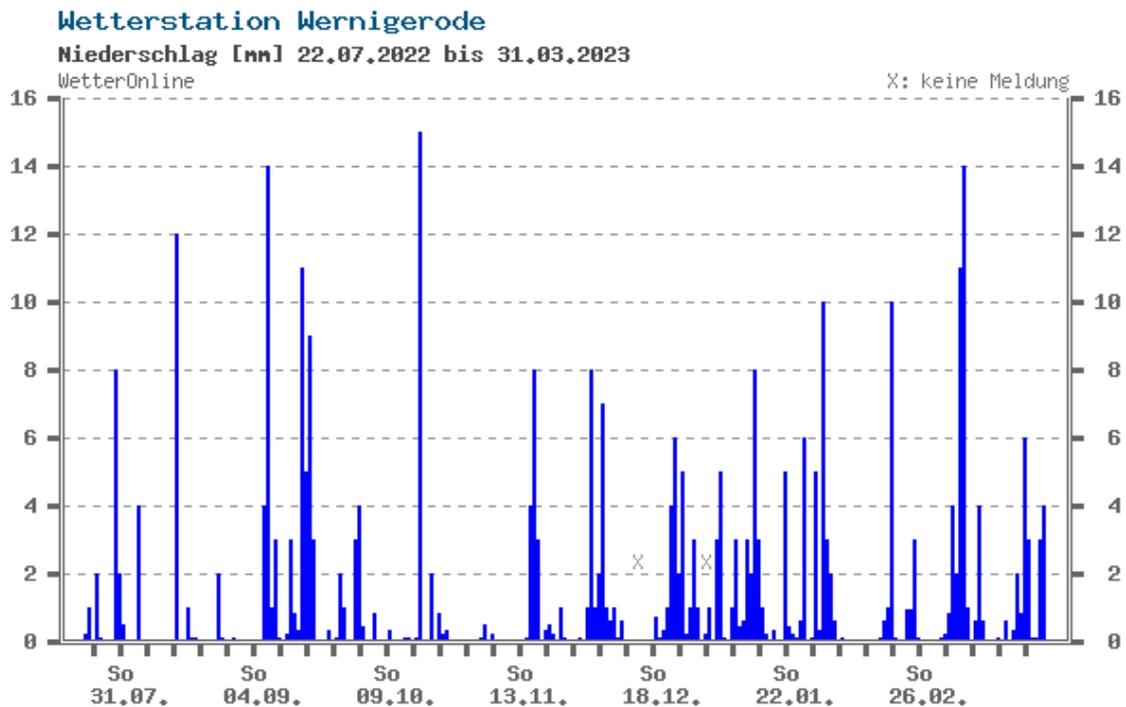


Abb.15: Niederschlag (mm) einer Wetterstation in Wernigerode. 20 km südöstlich von Hornburg (Wetteronline.de, konsultiert am 21.08.2023).

7.3 Zwischenfruchtmischung Beschreibung

Die Informationen zu den Pflanzenarten stammen von Archambeaud und Thomas (2018).

Gelbsenf (*Sinapis alba*) und **Ölrettich** (*Raphanus sativus* sp.). Die beiden Kreuzblütlerarten können schnell große Mengen an N aufnehmen und Biomasse aufbauen. Sie besitzen bodenerschließende Pfahlwurzeln und sind gut mit Dünger und Leguminosen kombinierbar. Außerdem können sie zusätzlich Schwefel, Phosphor, Kalium und Calcium binden. Ihre Sekundärstoffwechselprodukte wirken gegen Nematoden. Zudem zeichnen sie sich durch schnelles Wachstum und schnelle Keimung aus.

Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) kann ebenfalls viel Stickstoff binden und große Mengen an Biomasse aufbauen. Sie besitzt ein oberflächennahes, leistungsfähiges Wurzelsystem und verbessert somit das Saatbett für die Folgekultur. Sie wird in Zwischenfruchtmischungen oft als „Lückenfüller“ beschrieben. Ihre schwarzen Rückstände die sie nach dem Absterben auf dem Feld hinterlässt, helfen dabei, den Boden im Frühjahr zu erwärmen.

Rauhafer (*Avena strigosa*) ist eine wichtige Zwischenfrucht bei der Erschließung der oberen Bodenschicht. Er zeichnet sich dadurch aus, dass er im Vergleich zu anderen Kulturen mit wenig Wasser auskommt.

Sudangras (*Sorghum x drummondii*) ist wie der Rauhafer ein Süßgras. Kann ebenfalls schnell Biomasse aufbauen. Dabei benötigt es für sein Wachstum viel Wasser und Stickstoff. Hat es einmal eine bestimmte Größe erreicht, ist es jedoch sehr trockenheitsresistent. Zudem besitzt es ein kräftiges Wurzelsystem und kann nematodenschädigende Substanzen erzeugen.

Die **Sonnenblume** (*Helianthus annuus*) ist eine sehr robuste Kulturpflanze und besonders für trockene und warme Bedingungen geeignet. Sie bildet viel Biomasse aus, verbraucht dabei allerdings viele

mineralische Nährstoffe, wie zum Beispiel Phosphor. In einem Zwischenfruchtgemenge kann sie zudem als Stützpflanze für andere Arten dienen.

Öllein (*Linum usitatissimum*) ist eine ebenfalls Trockenheitsresistente Pflanze, die mit wenig Wasser und Stickstoff im Boden auskommt. Er gilt als leicht anzubauen und unterdrückt Unkräuter. In einem Zwischenfruchtbestand besetzt er durch seine Wuchshöhe die „mittlere Etage“.

Ramtillkraut (*Guizotia abyssinica*) ist mit der Sonnenblume verwandt und zu Beginn seiner Entwicklung ein wirksamer Bodenbedecker. Bei ausreichender Zufuhr von Wasser und Stickstoff können hohe Biomasserträge erzielt werden.

Sommerwicke (*Vicia sativa*) zählt zu den Leguminosen und kann durch die Symbiose mit Knöllchenbakterien Stickstoff aus der Luft fixieren und im Boden anreichern. Durch diese stickstofffixierende Eigenschaft, kann die Sommerwicke das Wachstum anderer Pflanzen einer Zwischenfruchtmischung stimulieren. Ihre Wurzelabscheidungen fördern zudem das Bodenleben. Sie gilt als gute Deckpflanze und Unkrautunterdrücker. Sie ist als stark zehrende Pflanze bekannt aber bildet dafür viel Biomasse aus. Für optimales Wachstum der Sommerwicke bietet sich im Anbau die Kombination mit Stützpflanzen an.

7.4 Eigene Aufnahmen während des Versuchs



Abb.16: Aussaat Variante Min 2



Abb.17: Bohrbesteck



Abb.18: Min1 (OD), 29.09.22



Abb.19: Getrocknete Bodenproben

8. Weitere Verzeichnisse

8.1 Abkürzungsverzeichnis

N _{min}	Mineralischer Stickstoff
N	Stickstoff
N ₂	Molekularer Stickstoff
NO ₂ ⁻	Stickstoffoxid
N ₂ O	Lachgas
NH ₃	Ammoniak
NO ₃ ⁻	Nitrat
NH ₄ ⁺	Ammonium
C	Kohlenstoff
CaCl ₂	Calciumchlorid
M	Molare Masse
m	Meter
dm	Dezimeter
cm	Zentimeter
mm	Millimeter
ha	Hektar
cm ³	Kubikzentimeter
l	Liter
ml	Milliliter
t	Tonne
kg	Kilogramm
g	Gramm
kg ha ⁻¹	Kilogramm pro Hektar
°C	Grad Celsius
C/N-Verhältnis	Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis
%	Prozent
NN	Normal-Null
TS	Trockensubstanz
HTK	Hühnertrockenkot
BM	Bullenmist
OD	Ohne Düngung
Abb	Abbildung
Tab	Tabelle
DWD	Deutscher Wetterdienst
LWK	Landwirtschaftskammer
ZF	Zwischenfrucht
et al.	et alia / und andere
Bzw.	Beziehungsweise
Ca.	circa
&	und

8.2 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 01: Satellitenbild Versuchsfeld + Schema Versuchsaufbau.....S.6
- Abbildung 02: Kombinationsgerät, Horsch Focus.....S.8
- Abbildung 03: Paragrubber.....S.9
- Abbildung 04: Flachgrubber.....S.9
- Abbildung 05: Mulchsaatgrubber.....S.10
- Abbildung 06: Zeitstrahl.....S.11
- Abbildung 07: Wassergehalte in (%).....S.15
- Abbildung 08: Zwischenfrucht-Bedeckungsgrad in (%), Bodenbearbeitung.....S.16
- Abbildung 09: Zwischenfrucht-Bedeckungsgrad in (%), Düngung.....S.16
- Abbildung 10: N_{min} in (kg ha⁻¹), Bodenbearbeitung.....S.18
- Abbildung 11: N_{min} in (kg ha⁻¹), Düngung.....S.19
- Abbildung 12: Bodenprofil Versuchsfeld.....S.26
- Abbildung 13: Durchschnittliche Niederschlagsverteilung (mm) Hornburg.....S.27
- Abbildung 14: Durchschnittliche Temperaturkurve (°C) Hornburg.....S.27
- Abbildung 15: Niederschlag (mm) (22.07.2022 – 31.03.2023).....S.28
- Abbildung 16: Aussaat Variante Min 2.....S.30
- Abbildung 17: Bohrbesteck.....S.30
- Abbildung 18: Min1 (OD), 29.09.22.....S.30
- Abbildung 19: Getrocknete Bodenproben.....S.30

8.3 Tabellenverzeichnis

- Tabelle 01: Zwischenfruchtmischung.....S.11
- Tabelle 02: Nährstoffgehalte in organischen Düngern.....S.12
- Tabelle 03: Nährstoffgehalte der ausgebrachten Düngermengen.....S.12

9. Danksagung

Als erstes möchte ich mich ausdrücklich bei meiner Betreuerin Frau Dr. Pauline Winkler für die Überlassung des Themas, die kompetente, hervorragende Betreuung und großzügige Unterstützung herzlich bedanken! Mein zweiter großer Dank geht an Katharina Winter, für die Organisation des Versuchs in Kooperation mit der Uni Halle, die gute Zusammenarbeit und tatkräftige Unterstützung auf dem Feld und für die Hilfe bei der Erstellung der Arbeit. Außerdem bedanke ich mich bei Maximilian Skor, der mir bei den Probenahmen eine ausgesprochen große Hilfe war und mir sehr viel Arbeit abgenommen hat. Auch bei den technischen Assistentinnen der Uni Halle möchte ich mich herzlich für ihre Hilfe und Unterstützung bedanken! Vor allem bei Alexandra Boritzki, die mir ebenfalls eine große Hilfe bei der Probenahme auf dem Feld und im Labor war. Vielen Dank an alle die mir geholfen und mich unterstützt haben, ohne euch hätte ich das nicht geschafft!

10. Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Masterarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt habe.

Unterschrift

Ort, Datum