

Fakultät Landbau/ Umwelt/ Chemie

Studiengang: Produktionsmanagement Agrarwirtschaft

*„Strip-Till-Saat von Körnermais (Zea mays L.) unter Bedingungen
des ökologischen Landbaus“*

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Science (M.Sc.)

vorgelegt von:

Lukas Schmidt

Hilmersdorf (Sachsen)

Erst Prüfender: Dr. rer. agr. Guido Lux
Zweit Prüfende: M.Sc. Katharina Winter

Dresden, im März 2022

Danksagung

Zu Beginn meiner Arbeit möchte ich den Menschen Danken, die mich bei der Erstellung meiner Masterarbeit und während des Studiums unterstützt und begleitet haben. Ohne denen diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

An erster Stelle möchte ich hier meinen Eltern und meiner Familie danken, die mir das Studium finanziell ermöglicht und mich mit moralischer und tatkräftiger Unterstützung, durch die Zeit des Studiums begleitet haben.

Einen sehr großen Dank gilt Herrn. Dr. Lux, der mir die Arbeit erst ermöglicht und mich mit sehr hilfreichen Konsultationen zielorientierte begleitet hat. Ein großes Dankeschön auch für die tatkräftigen Unterstützung bei der Umsetzung des Feldversuches, die ohne ihnen so nicht möglich gewesen wäre.

Besonders möchte ich Frau Winter danken, die mir das Projekt über NutriNet ermöglicht und mich in der Organisation des Versuches sehr unterstützt hat. Herzlich danken dafür.

Ohne die Bereitschaft und tatkräftige Unterstützung durch den Betrieb Reil wäre die Umsetzung des Versuchs nicht möglich gewesen. Vielen Dank für die Zeit, das Fachwissen und die Bereitschaft den Versuch auf ihren Betrieb durchzuführen.

Ein großer Dank gilt auch denen, die mich während der Durchführung meines Versuches, bei den Bonituren und den Laborarbeiten unterstützt und tatkräftig geholfen haben. Besonders möchte ich mich bei Johanna Sommer bedanken, die mir bei der Probenaufbereitung im Labor und bei den zeitaufwendigen Erntearbeiten wirklich sehr geholfen hat.

Ein großer Dank geht auch an allen Freunden, die mich während des Studiums begleitet haben, mich Unterstützt und in Rat und Tat zur Seite standen. Vielen Dank für die vielen schönen Momente während des Studiums in Dresden und im Wohnheim in der Sofa WG.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Zielstellung und Versuchsfrage.....	1
2 Literaturübersicht.....	3
2.1 Mais.....	3
2.1.1 Botanik	3
2.1.2 Klima und Bodenansprüche.....	4
2.1.3 Anbau.....	6
2.2 Weißklee	8
2.3 Strip-Till im Mais	9
2.4 Strip-Tillage im ökologischen Landbau	12
2.4.1 Totmulchverfahren.....	13
2.4.2 Lebendmulchverfahren	14
2.5 Untersaaten im Mais.....	14
3 Material und Methodik	16
3.1 Versuchsbetrieb.....	16
3.2 Standort und Klima	17
3.3 Witterung im Versuchsjahr 2021	17
3.4 Versuchsaufbau.....	19
3.5 Sorten.....	20
3.6 Versuchsdurchführung.....	20
3.6.1 Versuchsfläche und Vorfrucht.....	22
3.6.2 Grundbodenbearbeitung.....	23
3.6.3 Anlage der Versuchsanlage und Vorbereitung der Parzellen	24
3.6.4 Anlage der Streifen	25
3.6.5 Aussaat	26
3.6.6 Maßnahmen zur Bestandsführung.....	27
3.7 Bonitur Durchführung.....	28
3.7.1 Bonitur Bedeckungsgrad	28
3.7.2 Bestandsdichte	29
3.7.3 Pflanzenhöhe.....	29
3.7.4 Nmin-Vorrat im Boden	29
3.7.5 Bodenfeuchte	31
3.7.5.1 gravimetrische Bodenfeuchte	31

3.7.5.2	Bestimmung des volumetrischen Wassergehalts und der nutzbaren Feldkapazität (nFK).....	32
3.7.6	Ernte und Kornertragsmessung	33
3.7.7	Bestimmung des Biomasseaufwuchses und des Nährstoffgehalts.....	35
3.8	Datenaufbereitung und statistische Analyse	36
4	Ergebnisse.....	37
4.1	Ergebnisse Bedeckungsgrad	37
4.2	Bestandsdichte und Pflanzenhöhe.....	39
4.3	Sprossmasse Mais und oberirdischer Biomasseaufwuchs.....	41
4.4	Kornertrag	44
4.5	Bodenfeuchte	46
4.6	N _{min} -Bodenvorrat.....	52
5	Diskussion	55
5.1	Einordnung der Versuchsergebnisse	55
5.1.1	Bedeckungsgrad und Unkrautunterdrückung	55
5.1.2	Feldaufgang und Bestandsdichteentwicklung	56
5.1.3	Biomasseleistung und N-Ertrag	58
5.1.4	Ertragsstruktur und Kornertrag	60
5.1.5	Auswirkungen der Anbausysteme auf die Bodenfeuchte	61
5.1.6	Auswirkung der Anbausysteme auf den N _{min} - Gehalt	63
5.2	Methodik und Vorgehensweise	64
5.2.1	Anbauverfahren	64
5.2.2	Witterungseinflüsse und Prädatoren	66
6	Schlussfolgerung	67
7	Zusammenfassung	68
8	Abstract	70
9	Literaturverzeichnis.....	72
	Anhang	76
	Erklärung über die eigenständige Erstellung der Arbeit.....	87

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anbauverhältnis 2021 Versuchsbetrieb	16
Abbildung 2: Abweichungen der Monatsmitteltemperaturen im Versuchszeitraum (09.2020-12.2021) zum langjährigen Mittel (1998-2021) (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2021).....	18
Abbildung 3: Abweichungen der Monatssummen des Niederschlags im Versuchszeitraum (09.2020-12.2021) zum langjährigen Mittel (1998-2021) (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2021)	18
Abbildung 4: Frühjahrsbestand 2021 der Versuchsfläche mit schwacher Weißkleeentwicklung und starker Verunkrautung mit Beikräutern (Aufnahmedatum 11.03.2021) ...	23
Abbildung 5: Ausgemessene Versuchsanlage (Aufnahmedatum 09.04.2021)	24
Abbildung 6: Streifenbearbeitung mit Hackrahmen und Grubberzinken (Aufnahmedatum 18.05.2021).....	25
Abbildung 7: links: Körnermaisaussaat mit Väderstad Tempo (Aufnahmedatum 22.05.2021) rechts: Ablage der Saat in gelockerten Strip-Till-Reihen	26
Abbildung 8: N _{min} -Beprobung zur Zwischenernte des Maises am 07.09.2021	30
Abbildung 9: Kolbenauswahl der Varianten 1 bis 3, von links nach rechts Variante 1 (Parzelle 9), Variante 2 (Parzelle 12), Variante 3 (Parzelle 10)	34
Abbildung 10: Kolbenentkörnungsgerät	34
Abbildung 11: Entkernen mit dem Kolbenentkörnungsgerät mit Sack zum Auffangen der Körner	34
Abbildung 12: Mittelwert des relativen Bedeckungsgrades in der Reihe von Mais; Klee, Unkraut und unbedeckte Fläche bezogen auf die Gesamtfläche des Bonitierahmens, der Bonituren der jeweiligen Variante zum Boniturdatum (n=4).....	38
Abbildung 13: Mittelwert des relativen Zwischenreihen -Bedeckungsgrades von Klee; Unkraut und unbedeckte Fläche bezogen auf die Gesamtfläche des Bonitierahmens, der Bonituren der jeweiligen Variante zum Boniturdatum (n=4).....	38
Abbildung 14: Mittelwert der Pflanzenanzahl pro m ² der Varianten zu den Boniturterminen (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ Unterschiedliche Buchstaben weisen auf einen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten hin).....	40
Abbildung 15: Gesamtertrag der oberirdischen Biomasse in dt TM/ha in den Varianten „Kontrolle“, „mit Untersaat“ und „Strip-T“ für die Pflanzenbestandteile und der Summe der Bestandteile (Tukey-Test, verschiedene Buchstaben geben einen signifikanten Unterschied in den Gruppen an, $\alpha = 0,05$) (n = 4).....	41
Abbildung 16: N-Ertrag der Versuchsvarianten in Bezug auf die Einzelbestandteile und der Gesamtleistung (Tukey-Test, verschiedene Buchstaben geben einen signifikanten Unterschied in den Gruppen an, $\alpha = 0,05$) (n = 4).....	42
Abbildung 17: C/N- Verhältnis der Versuchsvarianten in Bezug auf die Einzelbestandteile und der Gesamtmittelwert (Tukey-Test keine signifikanten Unterschiede (n.s.) bei $\alpha = 0,05$) (n = 4)	43

Abbildung 18: Mittlerer N-Ertrag und TM- Ertrag des 1. Biomasseschnitt am 05.05.2021 vor dem 1. Mulchdurchgang (n = 4)	44
Abbildung 19: Mittlere Kolbenanzahl pro Pflanze der Versuchsglieder (Einfaktorielle Varianzanalyse Tukey-Test ungleiche Buchstaben signifikanten Unterschied, $\alpha = 0,05$)	45
Abbildung 20: Mittlere Kolbengewichte [g TM/Kolben] (Einfaktorielle Varianzanalyse Tukey-Test ungleiche Buchstaben signifikanten Unterschied, $\alpha = 0,05$).....	45
Abbildung 21: mittlere Kolbenanzahl pro m ² der Versuchsglieder (Einfaktorielle Varianzanalyse Tukey-Test $\alpha = 0,05$) (n= 4).....	45
Abbildung 22: TM-Kornertrag und Kornertrag bei 14% feuchte der Versuchsvarianten „Kontrolle“, „mit Untersaat“ und „Strip-T“, Einfaktorielle Varianzanalyse (Tukey-Test verschiedene Buchstaben geben einen signifikanten Unterschied in den Gruppen an $\alpha = 0,05$) (n = 4).....	46
Abbildung 23: Pflanzenverfügbare Wassermenge [Liter /m ²] in den Bodentiefen 0-60 cm und in Summe für die Versuchsvarianten „Kontrolle“ und Strip -T (s. für signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 16)	47
Abbildung 24: pflanzenverfügbare Wassermenge [Liter /m ²] in den Bodentiefen 0-60 cm am 03.06.2021 für die Versuchsvarianten „Kontrolle“ und „Strip-T“ (s. für signifikant und n.s. für nicht signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 4)	48
Abbildung 25: pflanzenverfügbare Wassermenge [Liter/m ²] in den Bodentiefen 0-60 cm am 18.06.2021 für die Versuchsvarianten „Kontrolle“ und „Strip-T“ (s. für signifikant und n.s. für nicht signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 4)	48
Abbildung 26: pflanzenverfügbare Wassermenge [Liter /m ²] in den Bodentiefen 0-60 cm am 01.07.2021 für die Versuchsvarianten „Kontrolle“ und „Strip-T“ (s. für signifikant und n.s. für nicht signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 4)	50
Abbildung 27: pflanzenverfügbare Wassermenge [Liter /m ²] in den Bodentiefen 0-60 cm am 23.07.2021 für die Versuchsvarianten „Kontrolle“ und „Strip-T“ (s. für signifikant und n.s. für nicht signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 4)	50
Abbildung 28: mittlere pflanzenverfügbare Wassermenge [Liter /m ²] in Summe der Beprobten Schicht bis 60 cm der Versuchsvarianten „Kontrolle“ und „Strip-T“ (s. für signifikant und n.s. für nicht signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 4)	51
Abbildung 29: N _{min} -Bodenuntersuchung vom 09.04.2021 Mischprobe der Versuchsfläche zur Anlage des Versuchs (n = 1)	52
Abbildung 30: N _{min} -Bodenvorrat am 07.09.2021 zur Zwischenernte in kg/ha der beprobten Bodenschichten (ungleiche Buchstaben kennzeichnen einen signifikanten Unterschied bei einem Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 4).....	53
Abbildung 31: N _{min} -Bodenuntersuchung am 07.09.2021 zur Zwischenernte Ergebnisse der NO ₃ ⁻ und NH ₄ ⁺ -Gehalte in kg/ha der beprobten Bodenschichten (n.s. für nicht signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 4)	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bekannte Maisformen mit Merkmalen und Eigenschaften	3
Tabelle 2: Variantenaufbau des Versuchs im Detail	19
Tabelle 3: Schlagblatt mit allen Maßnahmen auf dem Versuchsfeld	20
Tabelle 4: Ausgewählte Laborergebnisse der EUF-Grundnährstoffuntersuchung	22
Tabelle 5: Aussaatparameter des Maises in der Versuchsanlage	26
Tabelle 6: Bestandsführende Maßnahmen nach der Saat mit Datum und Temperatursumme	27
Tabelle 7: Boniturtermine der Bedeckungsgradbonituren mit dem Betrachtungsbereich und den erfassten Daten zur Bonitur	28
Tabelle 8: Erhobene Versuchsdaten zur Kolbenernte und Kornertragsmessung.....	33
Tabelle 9: Versuchsparameter zur Biomassebestimmung	35
Tabelle 10: Mittelwert, Min. und Max. der Pflanzenanzahl [Anzahl/m ²] der Varianten „Kontrolle“, „mit Untersaat“ und „Strip-T“ im Mittel der 3 Boniturtermine (N = 12), sowie Mittelwertvergleich (Tukey), $\alpha = 0,05$	39
Tabelle 11: Mittelwert, Min. und Max. der Pflanzenhöhen [cm] der Varianten „Kontrolle“, „mit Untersaat“ und „Strip-T“ (N = 4) zu den Boniturterminen, sowie Mittelwertvergleich (Tukey), $\alpha = 0,05$	40

Abkürzungsverzeichnis

„Kontrolle“:	Variante 1 Betriebsübliche Bearbeitung mit 3-maligen Hacken
„mit Untersaat“:	Variante 2 mit Untersaatausbringung nach dem letzten Hackdurchgang
„Strip-T“:	Variante 3: Strip-Tillage mit Maisaussaat im absetzigen verfahren
FM:	Frischmasse
TM:	Trockenmasse
TS:	Trockensubstanz
N_{min} :	mineralischer Stickstoff in der Bodenlösung
N:	Stickstoff
P:	Phosphor
K:	Kalium
NO_3^- :	Nitrat-Stickstoff
NH_4^+ :	Ammoniumstickstoff
p:	p-Wert: Signifikanzwert bei $\alpha = 0,05$
α :	Signifikanzniveau
FK:	Feldkapazität
nFK	nutzbare Feldkapazität
TRD	Trockenrohdichte
PWP	Permanenter Welkepunkt
VA:	Vorauflauf
NA:	Nachauflauf

1 Zielstellung und Versuchsfrage

In ökologisch wirtschaftenden Marktfruchtbetrieben ist es eine große Herausforderung, die Stickstoffversorgung der angebauten Kulturen in ausreichender Höhe sicherzustellen. Nachhaltige Anbauverfahren und der gezielte Anbau von Leguminosen in den Fruchtfolgen sind dabei entscheidend. Dabei muss eine für die Betriebe wirtschaftliche Integration, eine ausreichende Nährstoffzufuhr und die Gefahren einer Leguminosenmüdigkeit beachtet werden. In einem Feldversuch, welcher der vorliegenden Arbeit zugrunde liegt, sollte Weißklee als symbiotisch N₂-fixierender Partner im Mais etabliert werden. Bei den Anbauverfahren ist die Konkurrenz des Weißkleees um Standraum und Wasser zur Deckfrucht Mais eine Herausforderung. Zudem muss bei den Verfahren eine Unkrautbekämpfung möglich sein. Im konventionellen Landbau werden Streifenbearbeitungssysteme (Strip-Till) im Maisanbau erprobt, um Wassererosionsgefährdung zu vermindern, eine bessere Befahrbarkeit zur Ernte zu gewährleisten und eine Nährstoffkonzentrierung durch eine gezielte Unterfußdüngung zu erreichen. Im ökologischen Landbau ist das Verfahren aktuell noch nicht hinreichend etabliert. Sie steht durch die erschwerte Bestandspflege sehr hohen ackerbaulichen Herausforderungen gegenüber. Besonders in der langsamen Jugendentwicklung reagiert der Mais stark negativ auf einen hohen Beikräuterbesatz. In dieser Phase ist die Pflege des Maises entscheidend.

In dieser Arbeit wurden zwei Möglichkeiten untersucht, wie sich Weißklee in der Kultur Körnermais etablieren lässt, um zum einen die Stickstofffixierung und Unkrautunterdrückung des Weißkleees zu nutzen und zum anderen die Vorteile der Streifenbearbeitung durch Erosionsschutz und Bodenleben auszuschöpfen. Dabei wird untersucht, ob und wie eine Strip-Till-Saat im Körnermais unter ökologischen Bedingungen gelingen kann und welche Vor- und Nachteile das Verfahren mit sich bringt. Es soll geprüft werden, ob der Unkrautdruck auf die Körnermaispflanzen durch eine Strip-Till-Saat in einen Weißkleebestand reduziert und ob ein signifikanter Einfluss des Weißkleees auf die Deckfrucht Mais nachgewiesen werden kann. Eine weitere Zielstellung dieser Arbeit war die Betrachtung der Stickstoffversorgung des Maises und die N-Bindung in der Biomasse, um die Stickstoffeffizienz, Stickstoffertrag und eventuelle Synergieeffekte der Verfahren zu bewerten.

Dazu wurden drei Varianten geprüft. Die erste Variante ist eine Weißklee Untersaat nach dem letzten Hackdurchgang. Die zweite ist eine Streifensaat des Maises in einem bestehenden Weißkleebestand. Den beiden Varianten steht eine Kontrollvariante ohne Weißklee welche nur mechanisch bearbeitet wird gegenüber.

Im Rahmen der Arbeit wurden die folgenden Arbeitshypothesen aufgestellt:

1. Es sind keine Ertragsunterschiede in Biomasse- und Kornertrag zwischen einer Strip-Till Saat in einem Weißkleebestand und einer Weißklee Untersaat zu einem klassischen Maisanbau mit mechanischer Unkrautkontrolle zu verzeichnen
2. Weißklee in Unterkultur in einer Strip-Till-Saat und in Untersaat kann zur Unterdrückung der Beikräuter beitragen
3. Weißklee als Unterkultur im Strip-Till-Verfahren führt zu einem höheren Wasserverbrauch
4. Maisanbau mit einer Weißklee Unterkultur besitzen eine höhere Stickstoffbindungsleistung in der gesamten oberirdischen Biomasse als ein Maisanbauverfahren mit mechanischer Unkrautbekämpfung ohne Unterkultur
5. Weißklee als Unterkultur hat einen positiven Einfluss auf die N- Verfügbarkeit des Mais.

2 Literaturübersicht

2.1 Mais

2.1.1 Botanik

Mais (*Zea mays L.*) stammt aus Mittelamerika und gehört der Pflanzenfamilie der Grammieae an. Bei der einhäusige (monözische) Pflanze sind die männlichen und weiblichen Blütenstände räumlich getrennt angeordnet. Die männlichen Blüten werden als Spitze des Haupttriebs in Rispenform ausgebildet. Ein bis drei weibliche Blütenstände bildet der Mais in Kolbenform an den Blattachsen aus. Durch die zeitige Domestizierung des Maises um 5000 vor Christus und der frühen Selektion des Maises besteht eine hohe genetische Variabilität, wovon die Züchtung jetzt noch profitiert (MEßNER, 2000). In folgender Tabelle 1 sind die Maisformen mit den jeweils typischen Merkmalen dargestellt.

Tabelle 1: Bekannte Maisformen mit Merkmalen und Eigenschaften

Maisform	Merkmale	Eigenschaften
Zahnmais	Charakteristische Einsenkung der Kornspitze	Körner und Silomais mit hohem Stärke Gehalt
Hartmais	Rundes und Hartes Korn	besitzt höhere Kälteresistenz in der Jugendentwicklung als Zahnmais
Puffmais	Nährgewebe stark hornig	platzt auf bei Erhitzung
Zuckermais	Wandelt Zucker nicht in Stärke um	schrumpft bei Abreife
Stärkemais	Sehr hoher Stärkegehalt	leicht zu Mehl verarbeitbar
Wachsmais	Wachsartig kleines Korn	sehr hoher Gehalt an glasierter Stärke
Spelzmais	Besitzt Spelzen um das Korn	ohne Bedeutung im Praktischen Anbau

Die meistverbreiteten Sorten im Anbau sind Kreuzungen zwischen Zahn- und Hartmais (MEßNER, 2000).

Bei der Keimung des Maiskorns entsteht entgegen dem Sprosspol die erste Keimwurzel. Insgesamt werden 3 bis 6 Keimwurzeln gebildet, welche sich anschließend im Meristem über der ersten Keimwurzel bilden. Mit dem Wachstum des Sprosses und der Bildung des ersten Knotens unter Flur, werden die ersten sprossbürtigen Wurzelkränze (Kronenwurzeln) gebildet. Der Wurzelansatz ist über dem Knoten (Überknotenwurzler). Es werden 3 bis 5 Wurzelkränze

gebildet. Der zweite, in der Regel kräftigste Knoten, bildet die meisten Kronenwurzeln aus. Ab dem dritten bis vierten Knoten liegen die Wurzelkränze überirdisch (Luft- und Stützwurzeln). Die Wurzeln verzweigen sich bis zur 3. Ordnung und können Tiefen bis 240 cm erreichen. Die größte Tiefe erreicht dabei die Keimwurzel (SOBOTIK et al., 2020). Mais wurzelt in Abhängigkeit von Bodenart und Nährstoffangebot flach und tief (MEßNER, 2000). SOBOTIK et al. (2020) beschreiben eine hohe Reaktion der Bodendurchwurzelung des Maises auf die Bodendurchlüftung. Schlecht durchlüftete und verdichtete Böden haben eine stark hemmende Wirkung auf das Wurzelwachstum, welches sich deutlich auf die Pflanzentwicklung auswirkt.

Mais entwickelt meist einen Haupttrieb mit 8 bis 12 Internodien. Er kann eine Wuchshöhe von bis sieben Meter erreichen. Im mitteleuropäischen Raum liegt sie bei 1,3 m bis 3,0 m. An jedem oberirdischen Knoten bildet sich wechselständig ein Blatt. Das Wachstum der Maispflanze wird mit der Bildung der rispenförmigen männlichen Blüte beendet. Die Blüte dauert je nach Witterung 10-14 Tage. Die zweiblütigen Ährchen sind paarweise angeordnet. Der Kolben ist als eine Ähre mit verdickter Hauptachse anzusehen, der Spindel. Die weiblichen Blüten sind komplett mit Lieschen überdeckt nur die Narbenfäden sind stark verlängert und reichen aus den Lieschen heraus. Der Mais bildet 1 bis 3 ertragsfähige Kolben aus. Die Kolbenentwicklung hängt stark von der Assimilationsleistung des darunterliegenden Blattes ab. Die Rispenblüte erfolgt 2 bis 4 Tage vor Erscheinen der Narbenfäden der jeweiligen Pflanze. Daraus folgt eine zu 90%ige Fremdbefruchtung der Kolben. Die höhersitzenden Kolben erhalten die beste Befruchtung und sind am ertragsstärksten. Die Befruchtungsleistung nimmt mit der Ordnung nach unten ab. Eine gute Befruchtungsleistung wird von einer warmfeuchten Witterung begünstigt. Nach der Befruchtung, setzt die Kornbildung ein (MEßNER, 2000).

2.1.2 Klima und Bodenansprüche

Mais stammt aus den Subtropen und ist eine wärmeliebende Pflanze, die durch ihre C4 Pflanzeigenschaften besonders trockenheitstolerant ist, jedoch zu den richtigen Zeitpunkten ausreichend Wasser zur Ertragsbildung benötigt. Der begrenzende Faktor für die Ausreife des Maises, sind die Wärmesumme und die Sonnenstunden in dem engen Vegetationszeitraum von Frühjahrsfrösten bis zu den ersten Herbstfrösten. Die Wärmesummen oder auch Temperatursumme genannt werden über die Minimum- Maximum-Methode ermittelt. Diese stellt ein wichtiges Kriterium für die Eignung von Mais in einem Anbaugebiet. Die Berechnung erfolgt oft nach dem verbreiteten Modell der französischen Association générale des producteurs de maïs (AGPM):

$$\sum T_{Mais} = \sum \frac{Tag\ n}{Saat} \left(\frac{T_{min.Tag} + T_{max.Tag}}{2} - 6^{\circ} \right)$$

(EDER und BRANDHUBER, 2014)

Besonders Körnermais benötigt Regionen mit hohen Temperatursummen von 1630°C bis 1730°C in sehr guten Lagen. Temperatursummen unter 1580°C sind nicht mehr geeignet für Körnermais. Silomais kann noch in Grenzlagen mit Temperatursummen von 1350°C bis 1400°C angebaut werden, es muss aber mit einer höheren Ausfallwahrscheinlichkeit durch Fröste gerechnet werden (EDER und BRANDHUBER, 2014). BÖTTCHER und FRÜHAUF (2017) zeigen eine durch den Klimawandel beobachtete Erhöhung der Wärmesummen im Vegetationsverlauf des Mais. Der Grund sind zeitigere Vegetationsbeginne im Frühjahr wodurch die Temperatursummen für den Maisanbau in noch mehr Gebieten möglich wird. Die Gefahr von starken Spätfrösten bleibt jedoch bestehen. In Deutschland findet man die höchsten Wärmesummen im Oberrheingraben, in der Kölner Bucht, dem Kraichgau, dem unteren Donautal, der Leipziger Tieflandbucht und Brandenburg. Das Erzgebirgsvorland liegt schon im Grenzgebiet des Körnermaisbaus und ist je nach Höhenlage zu beurteilen (BÖTTCHER und FRÜHAUF, 2017). Als Faustzahl nimmt die Temperatursumme um 1°C pro einen Höhenmeter ab (MEßNER, 2000).

Mais besitzt einen, im Verhältnis, sehr niedrigen Transpirationskoeffizienten, aufgrund der C4-Eigenschaften. Unter den mitteleuropäischen Bedingungen benötigt die Kultur zur Erzeugung von 1 kg Trockenmasse (TM) 200 Liter Wasser. (MEßNER, 2000).

Zur guten Ertragsbildung benötigt der Mais in bestimmten Wachstumsphasen ausreichend Wasser. Zur Keimung und in der Jugendphase ist der Wasserbedarf, mit 50 - 80 mm, noch nicht so hoch. Staunässe und darauffolgender Sauerstoffmangel im Boden, führt sehr schnell zu einem stark gestörten Wurzelwachstum, welches ertragsrelevant ist. Den höchsten Wasserbedarf besitzt die Pflanze zum Rispschieben und während der Blüte von Juli bis Mitte August, mit 100-150 mm. Wassermangel in dieser Phase führt zu einer geringen Kolbenbildung und einer schlechten Befruchtungsleistung der Blütenstände. Nach der Blüte nimmt der Wasserbedarf ab. Die wichtigsten Ertragsfaktoren sind anschließend die Sonnenscheindauer und die Temperatursummen. Eine gute Abreife fördert trockenwarmes Wetter (EDER und BRANDHUBER, 2014).

Die Bodenansprüche des Maises sind gering, jedoch ist er stark witterungsabhängig. Mais benötigt ein schnelle Bodenerwärmung, so sind in höheren Lagen, mit ausreichend Feuchtigkeit, leicht und mittlere Böden besser geeignet. Schwere Böden sollten in einem Garezustand mit guter Struktur sein, um eine ausreichende Bodendurchlüftung zu gewährleisten. Diese ist besonders in klimatischen Grenzgebieten wichtig für eine zügige Bodenerwärmung im Frühjahr. Die Anbaulage ist beim Mais entscheidend. Südhänge sind für den Maisanbau durch die bessere Erwärmung gut geeignet. Senken und Nordhänge sollten gemieden werden. Gerade

im ökologischen Landbau sollte, aufgrund der erhöhten Erosionsgefahr, durch das Hacken in weiter Reihe, Hanglagen gemieden werden (EDER und BRANDHUBER, 2014).

2.1.3 Anbau

Mais besitzt eine gute Selbstverträglichkeit und stellt aus dem Grund nur wenige Ansprüche an die Fruchtfolge. Schädlinge wie der Maiszünsler können durch Mulchen der Stoppel und einer guten Einarbeitung die Überwinterungsmöglichkeiten genommen werden, was den Schädlingsdruck mindert. Mais überträgt die Krankheiten Halmbruch und Schwarzbeinigkeit nicht, was ihn in engen Getreide- Fruchtfolgen zu einem wichtigen Glied macht (MEßNER, 2000). Durch den hohen Nährstoffbedarf des Maises, sollte er bei ökologisch wirtschaftenden Betrieben nach Leguminosen oder Klee gras stehen, um eine gute Nährstoffnachlieferung zu gewährleisten (DIERAUER und GELENC SÉR, 2019).

Nach Ernte der Ganzpflanze beträgt die Spross- und Wurzelmasse des Maises 20-25 dt/ha. Bei CCM- und Körnermais kommen noch einmal 80-100 dt/ha in Form von Blatt- und Stängelmasse hinzu, das entspricht einer Humuszufuhr von 250-350 dt/ha Stallmist. Das C/N Verhältnis mit 60:1 ist im Vergleich zum Getreide sehr gering und führt zu einer schnelleren Umsetzung des Maisstrohs und einer geringeren Dauerhumusfestlegung (MEßNER, 2000). Bei Getreide nach Mais sollte besonders beim Körnermais anbau auf Fusarien geachtet werden, welche über das Maisstroh übertragen werden können (DIERAUER und GELENC SÉR, 2019). Durch den Anbau von Mais in weiter Reihe und der Anfälligkeit für Wassererosion, kann es bei einem zu starken Mais anbau zu Einlagerungsverdichtungen kommen. Der Grund dafür sind Niederschläge und die Sonneneinwirkung auf den blanken Boden. Dort kommt es zum Eintrag von Feinteilen in Grob- und Mittelporen, was die Infiltration und Durchlüftung des Bodens zerstört. Zudem kommt es zu Sackverdichtungen, durch das Befahren mit den schweren Maschinen. Besonders betroffen sind dabei schluffige und tonige Böden die schnell zur Verdichtung neigen. Bei diesen Standortbedingungen sollte der Maisanteil in der Fruchtfolge reduziert werden (EDER und BRANDHUBER, 2014).

Mais benötigt einen schnell erwärmenden und aufgrund seiner empfindlichen Reaktion auf schlecht durchlüftete Böden, einen tiefgründig, gut gelockerten und rückverfestigten Saattergrund. Dieser wird oft mit einer Herbstfurche erreicht. Eine tiefe Bearbeitung im Frühjahr ist möglich, um Erosionen zu vermeiden. Schmierschichten und zu grobe Gluten durch eine zu feuchte Bearbeitung im Frühjahr sollten jedoch vermieden werden. Das Saatbett selbst kann eine mittelgrobe Krümel schicht aufweisen. Die Überfahrten im Frühjahr sollten gering gehalten werden, um eine Verdichtung des Unterbodens zu vermeiden (DOLESCHEL und FRAHM, 2014). Eine Bearbeitung ohne Pflug ist bei geeigneter Vorfrucht, die eine tiefgründige Bodengare

hinterlässt, möglich. Je geringer die Bearbeitungsintensität, mit umso mehr Unkrautdruck ist zurechnen (DIERAUER und GELENCŠÉR, 2019).

Bei der Sortenwahl sollte besonders auf die Reifegruppen geachtet werden. In Deutschland sind Sorten, mit Reifezahlen von 220 früh, und ab 300 spät abreifende Sorten. Unterschieden wird noch in „S“ für Silomaisreife und „K“ für Körnermaisreife. Zum Anbau kommen in Deutschland ausschließlich Hybridsorten.

Mais hat einen hohen Nährstoffbedarf an Stickstoff und Kalium. Der Hauptnährstoffbedarf ist von Ende Juni bis Mitte August. Bei einem guten Biomasseertrag von 200 dt TM/ha entspricht das einer Nährstoffaufnahme von 268 kg N/ha, 112 kg P₂O₅/ha und 318 kg K₂O/ha. Durch die lange Vegetationsperiode und dem späten hohen Nährstoffbedarf, nutzt der Mais, im Vergleich der Kulturpflanzen, den aus dem Boden mobilisierbaren Stickstoff am besten. Eine organische Düngung ist somit sehr effektiv (EDER und BRANDHUBER, 2014). Die Düngung im Herbst oder Frühjahr mit Mist oder Gülle ist somit gut möglich. Die Ausbringung im Herbst bedingt nach Düngeverordnung den Anbau einer Zwischenfrucht (DIERAUER und GELENCŠÉR, 2019).

Die Aussaatstärke ist mit 11-12 Körner pro m² im ökologischen Landbau höher. Bei frühen Reifegruppen und guten Anbaubedingungen, kann diese sogar noch höher ausfallen. Im ökologischen Landbau ist mit einem Ausfall von 10%, durch Striegeln, Hacken und durch Krähenfraß zu rechnen. Die Saattiefe liegt zwischen 3 cm und 7 cm, je nach Bodenart und Aussaatbedingungen. Im optimalen Fall wird die Saat, oberhalb des gut wasserführenden und durchlüfteten Unterbodens abgelegt. Die Saatzeit liegt je nach Witterung zwischen Anfang April und Ende Mai. Im ökologischen Landbau ist von einer zu zeitigen Saat abzuraten, um Wachstumsdepressionen durch kühle Bodentemperaturen zu vermeiden. Die Bodentemperatur in 5 cm Tiefe, sollte vor der Saat, um die 10°C betragen. Die Aussaat erfolgt im ökologischen Landbau fast ausschließlich in 75 cm Reihenabständen, um ein Hacken in den Zwischenräumen zu gewährleisten und genug Standraum der Maispflanze zu gewähren. (EDER und BRANDHUBER, 2014).

Mais ist in der Jugendentwicklung langsam, besonders im Zeitraum vom 3 Blatt-Stadium bis zum 8-10-Blatt-Stadium, reagiert er stark auf Konkurrenz durch andere Pflanzen wie Untersaaten oder ein hoher Unkrautdruck. Von der Saat bis zum BBCH 3 reagiert der Mais kaum auf Beikräuter. Ab dem Bestandschluss und dem starken Längenwachstum ab dem BBCH 8, ist die Wurzel stark genug ausgeprägt, und die Unkrautunterdrückung des Maises hoch genug, dass Beikräuter keinen Einfluss mehr auf den Ertrag besitzen. In der kritischen Periode muss der Konkurrenzdruck möglichst geringgehalten werden. Besonders kritisch ist dabei die Unkrautbekämpfung in der Reihe, welche mit den Hackgeräten nur begrenzt bearbeitet werden

können. Eine Kombination von Striegel und Hackgeräten mit Häufel und Zwischenreihen- Bearbeitungsgeräten (DIERAUER und GELENCŠÉR, 2019) ist gängige Praxis.

Der erste sehr effektive Striegeldurchgang kann im Voraufbau erfolgen, wenn das Saatgut tiefer als 5 cm abgelegt wurde und die Koeoptile nicht beschädigt werden. Zwischen 1- Blatt und 3- Blatt Stadium sollte kein Striegeldurchgang durchgeführt werden, um ein Abknicken zu verhindern. Zwischen der Reihe sind 2-3 Hackdurchgänge notwendig, um den Unkrautwuchs zu regulieren. Beim letzten Durchgang, kann kräftig an gehäufelt werden. Mit den Hackgeräten muss zur Pflanze, ein Abstand von 10-15 cm, je nach Pflanzengröße, gehalten werden, um eine Beschädigung der Wurzeln zu vermeiden. Nach Bestandsschluss ist die Maispflanze selbst konkurrenzfähig genug (DIERAUER und GELENCŠÉR, 2019).

2.2 Weißklee

Weißklee (*Trifolium repens*) findet besondere Bedeutung im Grünland und Feldfutteranbau. Durch die hohe Verbiss- und Trittschadensverträglichkeit, wie auch die schnelle Ausbreitung und gute Narbenbildung durch Stolonen, ist dieser besonders für Intensivweiden geeignet. Durch die oberirdische Ausbreitung, über die Ausläufer, ist die Pfahlwurzel des Weißklee nur schwach ausgebildet und stark verzweigt. Die höchsten Zuwachsraten werden im Vorsommer erreicht. Durch das sehr starke Nachwuchsverhalten sind mindestens 4 Schnitte möglich. Sein ganzes Ertragspotenzial kann der Weißklee erst durch die häufige Schnittnutzung entfalten. Trockenmasseerträge von 80 – 110 dt/ha sind in Reinsaat pro Jahr möglich. Ein Schröpfschnitt ist zur Pflege des Bestands notwendig. Weißklee stellt keine hohen Ansprüche an das Klima und die Bodenbedingungen. Er ist gut frostverträglich und toleriert saurere Böden als der Rotklee. Weißklee besitzt jedoch einen hohen Lichtanspruch, Beschattung wirkt sich stark auf das Wachstum des Weißklee aus. Außerdem ist er sehr trockenheitsresistent, was ihn in Gebieten mit Sommertrockenheit attraktiv macht. Die Aussaat der feinen Sämerei ist in Blanksaat zwischen 8 bis 11 kg pro Hektar in 1 bis 2 cm Tiefe. Als Untersaat oder im Gemenge liegt die Aussaatstärke zwischen 3 und 5 kg/ha (LÜTKE ENTRUP, 2000; HARTMANN et al., 2014).

Weißklee kann in drei Wuchstypen unterteilt werden.

- Ladino-Typ: hochwachsend, großblättrig, weniger persistent, bildet weniger Ausläufer, wird hauptsächlich in der Futterbauzüchtung verwendet
- Morsör-Typ: sehr trittverträglich, niedrigwachsend, bildet viele Ausläufer mit kleineren Blättern, wird insbesondere für die Weidenutzung verwendet.
- Hollandica-Typ: ist eine Zwischenform der ersten beiden und findet hauptsächlich im Dauergrünland Anwendung.

(LÜTKE ENTRUP, 2000)

Im Laufe der modernen Züchtung verlaufen sich die Wuchstypen in den Sorten untereinander, wodurch die ursprünglichen Wuchstypen nicht immer eindeutig zu erkennen sind (HARTMANN et al., 2014).

Weißklee wird in der Literatur als sehr gute Unterkultur beschrieben. LÜTKE ENTRUP (2000) beschreibt durch den niedrigen Wuchs, die sehr gute Bodenbedeckung und die N-Fixierung als große Vorteile für eine Weißklee Unterkultur. Der Vorfruchtwert des Weißkleees ist durch N-Fixierung, der guten Durchwurzelung des Bodens und dem geringen C/N -Verhältnis sehr gut. Aus diesem Grund ist er besonders für nährstoffintensive Folgekulturen sehr zu empfehlen (LÜTKE ENTRUP, 2000; JUNG, 2015). Jedoch sollte Weißklee in Untersaaten nicht zu früh ge-drillt werden. Das intensive Wuchsverhalten des Weißkleees führt schnell zu Konkurrenzeffekten, auf die Hauptkultur. NEUMANN (2005) beschrieb das Verhalten von Weißklee in seinem Bi-Crobbing -Versuch auf Körnermais. JUNG (2015) untersuchte aus dem Grund alternative Unterkulturen zum Weißklee.

2.3 Strip-Till im Mais

Die ersten Versuche zur Streifenbearbeitung in Deutschland wurden 1984-1987 durchgeführt (DEMMELE et al., 2018). Wegen der schweren praktischen Umsetzung wurden es zu dieser Zeit nicht weiter vertieft. Seit diesem Jahrhundert, ist durch die GPS-Technik, mit Realtime Kinematik Differential GPS (RTK-DGPS) mit Genauigkeiten von +/- 2 cm, eine Umsetzung einer Streifenbearbeitung in absätzigen Verfahren und die Trennung von Wuchs- und Fahrbereichen, durch CTF-Verfahren, möglich. Seitdem ist vor allem die USA Vorreiter des Verfahrens. Es wird besonders in den Mais- und Sojaanbaugebieten vorangetrieben, um den wachsenden Ertragsdepressionen in den No-Till -Verfahren (Direktsaat) entgegenzuwirken. Im Zuckerrüben und Baumwollanbau findet zudem das Strip-Tillage immer mehr an Bedeutung (DEMMELE et al., 2018).

Die Vorteile dieses Anbausystems liegen vor allem in der Kombination von Mulch- und Direktsaat. Das bearbeitete Bodenvolumen wird zur Mulchsaat deutlich reduziert. Daraus folgt ein hohes Einsparungspotential in Kraftstoff und Arbeitszeit. Die bearbeiteten und von Ernteresten freigeräumten Streifen sollen eine bessere Bodenerwärmung des Streifens ermöglichen und durch die Lockerung eine gute Bodendurchlüftung schaffen. Zugleich werden die Vorteile der Direktsaat mit besseren Infiltrationsleistungen, Dränvermögen, einer größeren Wasserspeicherfähigkeit und dem Erosionsschutz im unbearbeiteten Reihenzwischenraum genutzt (HERMANN und BISCHOFF, 2012; DEMMELE et al., 2018). Viele Versuche wurden zu den erwarteten Effekten des Streifenanbaus in den USA und in Deutschland durchgeführt. Das Verfahren wird mit den oben genannten Vorteilen den Ansprüchen einer effizienten und umweltschonenden Landwirtschaft gerecht. BRUNOTTE et al. (2021) definieren im (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND

BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT, 2021) die Streifenbodenbearbeitung (Strip-Tillage) als eine partielle Bodenbearbeitung, wobei nicht mehr als 50% des Bodens bearbeitet wird. Unterteilt wird das Verfahren in:

- mit Lockerung, Bearbeitung in 20 – 30 cm Tiefe und
- ohne- Lockerung des Grundbodens, Bearbeitung bis 10 cm Tiefe.

Weiter unterteilt wird die Streifensaat in:

- kombinierte Verfahren, die Anlage des Streifens und die Saat erfolgt gleichzeitig und
- getrennte (absätzig) Verfahren, in dem der Streifen im Herbst oder im Frühjahr vor der Saat, oft in Verbindung mit einer Gülleinjektion angelegt wird.

LICHT und AL-KAISI (2005) untersuchten die physikalischen Bodeneigenschaften des Strip-Tillage in Vergleich zu Mulchsaatsystemen mit Grubber und der Direktsaat, auf zwei Demonstrationsbetrieben der Iowa State University. Die durchschnittliche Bodentemperatur unterschied sich in den Varianten nicht signifikant. Jedoch konnten im Vergleich zur Direktsaat leicht höhere Bodentemperaturen im zeitigen Frühjahr erreicht werden und die maximalen Bodentemperaturen in den ersten 5 cm waren beim Strip-Tillage um 1,4 - 1,9°C höher als in der Direktsaat auf dem Niveau der Mulchsaat. LICHT und AL-KAISI (2005) begründeten einen höheren Feldaufgang ERI (emergence rate index) im Vergleich zur Direktsaat mit der höheren Bodentemperatur im Frühjahr und daraus folgenden besseren Keimbedingungen.

HERMANN (2021) untersucht seit 2007 die Streifenbodenbearbeitung am Ihinger Hof der Universität Hohenheim bei Zuckerrüben. Er stellte eine deutlich bessere Erwärmung der Streifen mittels Infrarotkamera fest. Zudem konnte er eine 1,5°C höhere maximale Bodentemperatur in Saattiefe gegenüber eines Mulchsaatverfahrens in seinem Versuch erreichen. Dadurch war im Vergleich zu einer Mulch- oder Direktsaat mit hohen Biomassen der Zwischenfrüchte eine um 2-4 Tage zeitigere Aussaat möglich. DEMMEL et al. (2018) stellten in ihren Versuchen im Körnermais auch eine schnellere Erwärmung des Strip-Tillage-Streifen fest, konnte jedoch nicht auf allen Standorten das Niveau einer Mulchsaat erreichen.

Welche Auswirkung das Strip-Tillage Verfahren auf Wasserinfiltration und -speichervermögen besitzt, untersuchte LICHT und AL-KAISI (2005) in einer ausführlichen Studie zu diesem Anbauverfahren. In der Wasserspeicherfähigkeit der Verfahren Streifenbodenbearbeitung, Direktsaat und Mulchsaat konnte er keine signifikanten Unterschiede in der Bodenfeuchte in seinem Versuch feststellen. Es gab eine leichte Tendenz zu einem höheren Bodenfeuchtegehalt bei der Streifensaat als bei der Mulchsaat, auf ähnlichem Niveau wurde es beim Direktsaat-Verfahren festgestellt. LICHT und AL-KAISI (2005) beobachteten zudem, dass die Änderung der

im Boden gespeicherten Feuchtigkeit während der Vegetationsperiode vom Auflaufen bis zur Ernte bei der Mulch- und Streifensaat signifikant größer war als in der Direktsaat.

Die Effekte der Streifensaat auf den Erosionsschutz wurde in einem Beregnungsversuch in Hohenheim untersucht. Die Forscher konnten die positiven Effekte der Streifensaat auf den Bodenabtrag durch Wassererosion messen. Bei 40l Niederschlag pro 20 Minuten wurde im Vergleich zur Pflugfurche (158 g/m^2) nur 1% Boden ($1,6 \text{ g/m}^2$) abgetragen. Die Mulchsaat stand mit ca. 125 g/m^2 der Pflugfurche nur leicht nach (HERMANN, 2021). LAUFER und KOCH (2021) konnten die Ergebnisse 2014 und 2015 auf ihren 4 Versuchsstandorten bestätigen. MARSCHALL und PRÜFER (2017) stellten in ihren Versuchen Grenzen in der erosionsmindernden Leistung des Verfahrens fest. Bei zu geringer Mulchauflage, in der Vorkultur und durch Anlage der Streifen in Hangrichtung, wurde auch in den Strip-Till Parzellen in ihrem Versuch im Mais, starker Bodenabtrag und Verschlämmung, bei einem Starkregenereignis von 42 mm Niederschlag pro Tag beobachtet.

Im Ertrag kann das Strip-Tillage- Verfahren an einer betriebsüblichen Mulchsaat heranreichen. DEMMEL et al. (2018) konnten in ihrem Versuch zu Körnermais mit unterschiedlichen Strip-Tillage Verfahren und Gülle-Injektion einen durchschnittlichen Kornertrag $10,5 \text{ dt/ha}$ erreichen. Das liegt auf demselben Niveau, wie die betriebsübliche Mulchsaat mit flächiger Gülleausbringung ($10,7 \text{ dt/ha}$). BISCHOFF und TAUCHNITZ (2017) erreichten in ihren Versuchen im Energiemais, bei Strip-Tillage Variante mit Gülle -Injektion im Frühjahr sogar höhere Trockenmasseerträge als die Kontrollvariante mit ganzflächiger Gülleausbringung und Bodenbearbeitung im Mulchsaat -Verfahren. Das Verfahren muss jedoch genau an den Standort und den Bodenbedingungen angepasst werden. Wird kein optimales Saatbett für den Mais im Streifen erreicht und ist der Reihenzwischenraum zu schlecht gelockert, können hohe Ertragsdepressionen entstehen. TRAUTZ et al. (2021) stellte diese negativen Effekte in seinem Versuch im Körnermais heraus und ermittelte Ertragsdepressionen von bis zu 30 Prozent in seiner Versuchsanstellung.

Ein weiterer großer Vorteil des Strip Tillage Verfahren ist die gezielte Gülleinjektion Unterfuß in den bearbeiteten Streifen. Dadurch sollen die N-Verluste reduziert und ein für die Pflanze gut erreichbarer Nährstoffvorrat angelegt werden. Zu dieser gezielten Düngung der Pflanzen im Streifensaat -Verfahren sind viele Untersuchungen in Deutschland durchgeführt worden. BISCHOFF und TAUCHNITZ (2017) untersuchten in zwei Versuchen in Sachsen- Anhalt die Unterfuß- Gülleinjektion im Streifensaatverfahren im Mais. Der 1. Versuch in den Versuchsjahren 2012 bis 2014 fand auf dem Standort Berzow, mit Gülleausbringung im Herbst, in einen Zwischenfruchtbestand statt. 2014 bis 2016 folgte der 2. Versuch auf den Standorten Lückstedt und Quellendorf, mit einer Gülle-Strip-Till Düngung im Frühjahr. Sie ermittelten einen positiven

Effekt auf die N-Effizienz, der organischen Wirtschaftsdünger durch Verlustverminderung. Die gezielte Ablage des NH_4^+ -Depots in die Wurzelzone des Maises bewirkte einen höheren Anteil an Feinwurzeln und eine kontinuierliche Ernährung der Pflanze. Zudem konnte bei einer Frühlingsdüngung die NO_3^- -Verlagerung in tiefere Bodenschichten, durch eine langsamere Nitrifikation des Gülledepots, vermieden werden. In den Versuchen konnten, mittels der besseren N-Effizienz, höhere Trockenmasseerträge und N-Entzüge, als in der Kontrolle mit einer klassischen ganzflächigen Ausbringung, mittels Güllefass und Grubber/Scheibenegge, erzielt werden. Negative Effekte stellten BISCHOFF und TAUCHNITZ (2017) auf schweren, kalten Böden und bindigen Böden fest, bei denen es zu einer nicht ausreichenden Lockerung des Streifens, und somit zu schlechten Saatbettbedingungen gekommen ist. Sandige Standorte haben das Problem der Überlockerung durch schlechte Rückverfestigung.

Einen positiven Effekt des Strip-Tillage -Verfahren, auf die Nährstoffverluste, durch die Entstehung von Distickstoffmonoxid N_2O -in Unterschiedlichen Anbauverfahren, stellten OMONODE und VYN (2019) in ihrer Studie zur N_2O -Emission fest. Sie untersuchten quantitative Beziehungen zwischen N_2O - Emission und der Stickstoffaufnahme von Pflanzen, in unterschiedlichen Anbauverfahren von Körnermais. Betrachtet wurden die Pflugsaat, die Mulchsaat, die Streifensaart und Direktsaat. Sie stellten heraus, dass die Direktsaat und Streifensaart, eine bessere N-Effizienz besitzen und geringere N_2O -Emission erreichen.

Den sogenannten Blumentopfeffekt konnten BISCHOFF und TAUCHNITZ (2017) über die Profilmethode zur Erfassung des Wurzelwachstums nachweisen. Durch die streifenweise Lockerung des Bodens können schroffe Übergänge im Bodengefüge, zwischen den gelockerten Streifen und den Reihen- Zwischenräumen entstehen. Das Wurzelwachstum des Maises, welcher gelockerte und durchlüftete Boden benötigt, beschränkt sich auf den Streifen. Infolgedessen ist die Wurzelmasse stark vermindert, was die Aneignungsmöglichkeiten von Wasser und Nährstoffen, durch das nicht stark ausgeprägte Wurzelsystem, reduziert.

2.4 Strip-Tillage im ökologischen Landbau

Die erschwerte Unkrautbekämpfung im unbearbeiteten Reihenzwischenraum, ist eine der größten Herausforderungen, das Strip-Tillage System im ökologischen Landbau zu nutzen. Die Vorteile einer verminderten Erosion und die höhere N-Effizienz des Verfahrens stellen jedoch ein großes Potenzial im ökologischen Landbau dar. Gerade der Wind und die Wassererosion ist im Körnermais im ökologischen Landbau, durch die häufige Bodenbewegung, aufgrund der mechanischen Unkrautbekämpfung im Zwischenraum, ein großes Problem. Ein zweiter Punkt ist die hohe Mineralisierung, durch die Bearbeitungsintensität. Diese führt zwar zu erhöhter Mineralisierung und damit zusätzlichem Stickstoff im Boden, wirkt sich jedoch negativ auf die Bodenstruktur, das Bodenleben und den Humushaushalt aus. Aus diesen Gründen

wird, im ökologischen Landbau, intensiv an alternativen Verfahren, geforscht. Vorreiter ist in dem Punkt die USA (ZEMLIČKA, 2017) Aktuelle Studien gibt es aus den Alpenregionen Schweiz und Österreich (DIERAUER et al., 2014; RECHBERGER et al., 2022). Vor einigen Jahren wurde an ähnlichen Verfahren in Deutschland im Rahmen des Bi-Cropping geforscht (NEUMANN, 2005). Grundsätzlich können zwei Verfahren unterschieden werden. Das erste ist das Totmulchverfahren, in denen eine vorherige Zwischenfrucht oder eine anderweitige Mulchauflage, den Unkrautwuchs unterdrückt. Das zweite Verfahren ist das Lebendmulchverfahren, in dem eine aktiv wachsende Bodendeckerkultur den Reihenzwischenraum bedeckt und die Unkrautbedeckung reguliert.

2.4.1 Totmulchverfahren

In den USA gibt es erste Betriebe die Strip-Tillage im ökologischen Landbau anwenden. Versuche laufen dazu im Bio-Körnermais und bei der Bio-Sojabohne. Als Vorkultur zur Unkrautunterdrückung wird ein Roggen gedreht, welcher im späten Frühjahr gewalzt und damit abgetötet wird. Die entstandene Mulchauflage dient zur Unkrautunterdrückung. In dieser wird im Anschluss Mais oder Soja in Direktsaat oder im Strip-Tillage Verfahren etabliert. Praktiker berichten über Probleme mit dem Anbausystem bei unzureichender Mulchbedeckung durch den Roggen. Ist dieser jedoch ausreichend etabliert, kann das System erfolgreich angewandt werden (ANONYM, 2019). DIERAUER et al. (2014) untersuchten dasselbe Verfahren in der Schweiz, mit unterschiedlichen Vorfrüchten für die Mulchbedeckung. Eine Winterfuttererbse EBF 33, eine Grünroggenmischung mit Inkarnatklee, Wicke und Erbse und ein Wicken- Inkarnatklee-Gemenge sind drei der sieben, im Versuch betrachteten, überwinterten Begrünungen. Als Kontrollvariante wurde eine übliche Pflugsaat gestellt. Die Aussaat der Begrünung erfolgte im Oktober. Abgetötet wurden die Begrünungen mit einer Messerwalze nach der Blüte der Zwischenfrucht. In diesem Versuch wurde der Mais in Direktsaat gedreht. Die besten Ergebnisse brachten die Begrünungen mit der Wintererbse EBF 33 und das Wicken- Inkarnatklee-Gemenge. Der Maisertrag konnte, in allen Varianten, nicht mit dem der Pflugsaat mithalten. Der Ertragsverlust lag bei beiden Varianten jedoch nur bei 7% (Erbse) und 16% (Wicken Gemenge). Die Unkrautunterdrückung war im Grünroggenmischung am höchsten, durch die schlechten Saatbedingungen, einen hohen Wasserverbrauch und ein daraus folgendes schlechtes Auflaufen der Maispflanzen fällt die Variante mit 26 % stark ab.

Mulchverfahren finden zudem viel Anwendung im Gemüsebau. Durch die kleinflächigere Strukturierung ist es dort möglich, eine starke Mulchschicht von Transfermulch von anderen Flächen, auf die Kultur auszubringen. Dadurch kann eine Unkrautunterdrückung und die Nährstoffversorgung gewährleistet werden (LENGAUER, 2020).

2.4.2 Lebendmulchverfahren

Im Lebendmulchverfahren wird ein lebender Pflanzenbestand verwendet und die natürliche Unterdrückungsleistung durch die Konkurrenz um Wachstumsfaktoren verwendet, um Unkräuter zu unterdrücken und somit die Hauptkultur zu stärken. FEIL und LIEDGENS M. (2001) definieren Lebendmulch als einen Mischfruchtanbau, der der Hauptkultur über einen längeren Zeitraum, hauptsächlich als Bodendecker fungiert. Somit können Untersaaten mit zum Begriff Lebendmulch gezählt werden. Zu den Vorteilen von lebenden Mulchen gegenüber toten Deckfrüchten gehört eine bessere Unkrautunterdrückung, geringere Erosion und Auswaschung, bessere Bodengesundheit und effizientere Ressourcennutzung. Als großer Nachteil dieses Verfahrens besteht jedoch, eine potenziell hohe Konkurrenz des Lebendmulches, auf die Hauptkultur.

Den Anbau von Mais als Hauptkultur in einen Weißkleebestand als Lebendmulch untersuchte NEUMANN (2005) im Rahmen seiner Studien zum Bi-Cropping. In dieser Frässaat konnte er erfolgreich Mais etablieren. Er stellte jedoch fest, dass die Konkurrenzwirkung von Weißklee auf die Kultur sehr hoch ist. Weiter beobachtete er eine sehr hohe Vorfruchtwirkung des Weißkleees auf die Folgekultur, nach dessen Umbruch, nach der Ernte des Maises. FEIL und LIEDGENS M. (2001) stellten in Ihrer Literaturanalyse zu Lebendmulchsystemen heraus, dass eine ständige Konkurrenz um Wachstumsfaktoren besteht und somit im Lebendmulchsystem, immer mit Ertragsminderungen der Hauptkultur zu rechnen ist. Jedoch je nach Art der Unterkultur, Aussaatzeitpunkt und Regulierung der Unterkultur, können die Konkurrenzeffekte reduziert werden. BHASKAR et al. (2021) stellt in seiner Studie heraus, dass eine chemische und mechanische Regulierung, entscheidenden Einfluss auf die Konkurrenzfähigkeit des Lebendmulches nehmen kann, ohne den Mulch abzutöten. Weiteren Einfluss auf die Konkurrenzfähigkeit kann durch die Auswahl von geeigneten Sorten und Kulturen, Pflanzzeitpunkt, Aussaatstärke, Düngungssysteme und Bewässerung genommen werden (BHASKAR et al., 2021).

2.5 Untersaaten im Mais

Mais ist durch den großen Reihenabstand und dem späten Bestandsschluss, durch Wassererosion und Nährstoffaustrag in das Grundwasser, stark gefährdet. Zudem werden die Flächen, zur Silomaisernte, sehr stark mit schweren Maschinen befahren. Die Erosionsgefahr und der Bodenschutz sind die beiden Gründe, wieso auch im konventionellen Landbau, Untersaaten verwendet werden. Im ökologischen Landbau bietet eine Leguminosen-Untersaat, die durch den späten Reihenschluss des Maises gut zu etablieren ist, die Möglichkeit Stickstoff zu binden. Die Bodenbedeckung durch die Unterkultur verhindert Erosion, bindet den freien Stickstoff im Pflanzenmaterial, fördert das Bodenleben und den Humushaushalt und hat dadurch einen positiven Effekt auf die Humusbilanz. Die Spätverunkrautung der Flächen wird zudem durch eine Untersaat verringert. Ein weiterer Vorteil für viehhaltende Betriebe ist die

Etablierung von Ackerfutter unter dem Mais. Diesen Entwicklungsvorsprung ermöglicht eine ertragreichere Ernte im Folgejahr und eine Beweidung im Herbst. Für eine gute Entwicklung der Untersaat empfiehlt DIERAUER et al. (2017) eine Aussaat der Untersaat bei einer Maishöhe von 20 cm bis 30 cm. Für die Reinsaat empfehlen sie in dieser Veröffentlichung Rotklee, kleinblättrigen Weißklee und Erdklee in einer Saatstärke von 2 bis 3 kg/ha. Die Gemenge-Ansaaten sind risikoärmer. Für tierhaltende Betriebe sind Klee-Grasbestände mit Weidelgräsern im Mischungsverhältnis 1:1 eine gute Komponente. Treten Wurzelunkräuter auf, die eine intensive Bodenbearbeitung nach der Ernte erfordern, ist eine Untersaat nicht zu empfehlen. Untersaaten erreichen ihren Mehrwert für Folgekulturen oder zur Futternutzung, wenn sie sich über den Winter etablieren können (DIERAUER et al., 2017).

JUNG (2015) untersuchte in seiner Studie zu Untersaaten, die Unkrautunterdrückung und das Konkurrenzverhalten von Untersaaten, auf die Hauptkultur Mais. Er stellte in allen Untersaaten eine gute Unkrautunterdrückung fest. Am effektivsten waren in seinem Versuch die Reinsaat von Welschem Weidelgras und Erdklee. In ertragreichen Jahren wurde der Mais kaum von der Unterkultur beeinflusst. In den ertragsschwachen Jahren bestand jedoch eine hohe Konkurrenzkraft der Unterkulturen. Zudem gab es Hinweise auf eine Nährstoffkonkurrenz. Bei der Untersuchung der Bodenwassergehalte stellte JUNG (2015) nur einen geringen Einfluss der Untersaaten auf die Ressource Wasser fest.

Bei einer zu späten Aussaat der Unterkultur ist die Konkurrenzkraft des Maises zu groß und die Untersaat kann sich nicht mehr weit genug entwickeln, um die Unkrautunterdrückung zu gewährleisten. Die Unterkultur und die Hauptkultur stehen in ständiger Wechselwirkung miteinander (DIERAUER et al., 2017). So muss der Aussaattermin der Art und den Witterungsbedingungen angepasst werden, damit sich die Kulturen nicht gegenseitig zu stark beeinträchtigen, um eine optimale Wirkung der Untersaat zu erzielen (GRAB, 2003; JUNG, 2015).

Einen positiven Effekt von legumen Untersaaten auf die Folgekultur konnte in mehreren wissenschaftlichen Arbeiten bestätigt werden. FUCHS et al. (2009) untersuchten die Wirkung von mehreren Untersaaten in Winterroggen auf die Folgekultur Hafer im Vergleich zu Stoppelsaaten. Er konnte in allen legumen Untersaaten einen positiven Effekt feststellen. Voraussetzung ist jedoch eine ausreichende Wasserversorgung. Der Anbau in Stoppelsaat erreichte nur einen Mehrertrag von 50% der besten Untersaat Variante.

3 Material und Methodik

3.1 Versuchsbetrieb

Der Versuch wurde auf dem Landwirtschaftsbetrieb Reil, im südlichen Sachsen-Anhalt durchgeführt. Der Betrieb wirtschaftet seit 2018 ökologisch und ist nach den Richtlinien des Anbauverbandes Bioland zertifiziert.

In Bewirtschaftung stehen 265 Hektar Ackerland. Ein Teil der Flächen ist zurzeit noch in Umstellung. Die angebauten Kulturen reichen von den klassischen Ackerbaukulturen Weizen und Körnermais, bis zu Sonderkulturen Sonnenblumen, Kartoffeln und Sojabohne. Der Betrieb begann außerdem in den letzten Jahren Feldgemüseanbau zu betreiben. Im Versuchsjahr 2021 waren erstmalig Möhren auf dem Betrieb im Anbau.

In Abbildung 1 ist das Anbauverhältnis dargestellt.

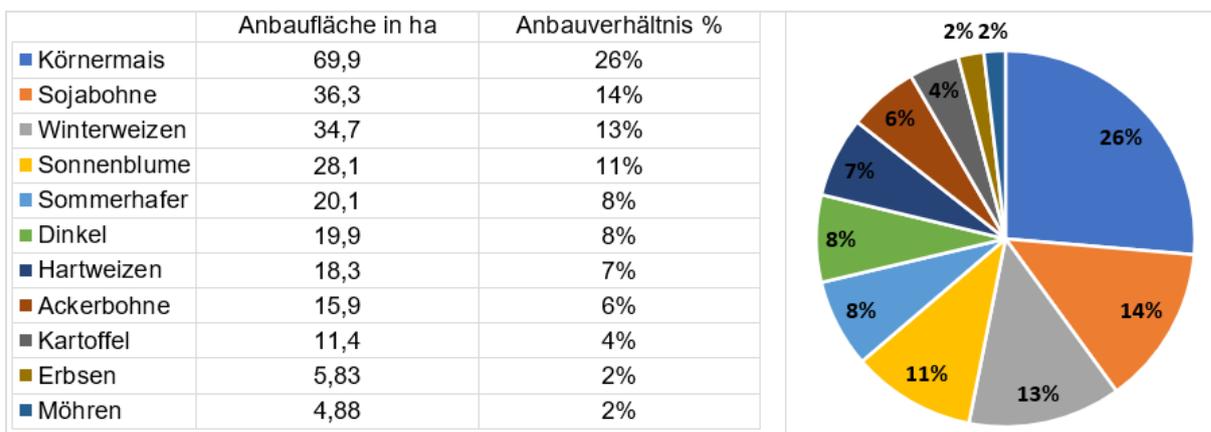


Abbildung 1: Anbauverhältnis 2021 Versuchsbetrieb

Eine betriebsübliche Fruchtfolge hat sich im Betrieb seit der Umstellung aufgrund einiger neuer Kulturen noch nicht etabliert.

Der Betrieb besitzt keine Tierhaltung und ist somit ein bio-vegan wirtschaftender Betrieb. Daraus ergibt sich die besondere Herausforderung des betrieblichen Nährstoffkreislaufes, um die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu erhalten. Auf Grund der geringen Tierdichte in der Region, sind Futter- Mistkooperationen nur sehr begrenzt möglich. Dem Betrieb steht dies nicht zur Verfügung. Der Betrieb versucht über einen intensiven Leguminosenanbau eine ausgeglichene N-Bilanz zu ermöglichen. Durch den Anbau von Körnerleguminosen wie Ackerbohne und Erbse muss jedoch auf die Gefahr von Leguminosenmüdigkeit geachtet werden. Aus diesem Grund baut der Betrieb verstärkt Weißklee an, welcher eine hohe Selbsterträglichkeit besitzt.

3.2 Standort und Klima

Der Standort des Versuchsfeldes liegt in der Gemarkung Stößen südlich der Stadt Weißenfels in Sachsen-Anhalt. Das Gebiet gehört zum Bodenklimaraum 108: „Lößböden in der Acker-ebene Ost“. Der Betrieb wirtschaftet auf den in dem Klimaraum sehr verbreiteten TT-BB Böden Tschernosem- Braunerden (SPANIER, 2021). Die Bodenart ist nach VDLUFA lehmiger Schluff bis stark sandiger Lehm. Bodenkundlich wird der Oberboden der Region mit Ut3 (lehmiger Schluff) kartiert. Diese Böden besitzen sehr hohe Bodenpunkte von 80 bis 90 (GEOLOGISCHER DIENST NORDREIHN-WESTFALEN, 2020). Die Region liegt in der Nähe des mitteldeutschen Trockengebiets und gehört somit zu den trockensten Gebieten Deutschlands. Im langjährigen Mittel der Jahre 1991 bis 2021 liegen die Jahresmittelwerte der Region bei 616 mm Jahresniederschlag, die mittlere Tagestemperatur liegt bei 9,5°C und 1740 Sonnenstunden sind im Durchschnitt pro Jahr zu verzeichnen (SCHMIDT, 2021).

3.3 Witterung im Versuchsjahr 2021

Das Jahr 2021 war im Vergleich zu den von Dürre geprägten Vorjahren sehr feucht und kühl. Die zu Grunde liegenden Wetterdaten sind von der 4 km entfernten Wetterstation des Deutschen Wetterdienst in Osterfeld. Der Monatsverlauf der Temperaturmittel über den Versuchszeitraum von September 2020 zur Aussaat des Klees bis zur Ernte im November 2021 ist in Abbildung 2 dargestellt. Einen großen Einfluss auf den Maisanbau hatte das kalte und feuchte Frühjahr. Die mittlere Monatstemperatur in den Monaten April und Mai waren 3,4°C (April) und 2,0°C (Mai) niedriger im Vergleich zum langjährigen Mittel. Dazu war der Monat Mai noch sehr feucht mit 86,7 mm Niederschlag was 28,7 mm über dem Mittel liegt (Abbildung 3). Das führte zu einer langsamen Bodenerwärmung. Die dazu kommenden feuchten Bodenbedingungen führten zu ungünstigen Aussaatbedingungen, einer sehr späten Maisaussaat und einer langsamen Jugendentwicklung des Mais. Der Juli und August im Versuchsjahr waren mit 111,4 mm (Juli) und 146,8 mm (August) Monatsniederschlag außergewöhnlich feucht. Im Gegensatz zu den Vorjahren litt der Mais nicht unter Trockenheit und es konnte ein beachtliches vegetatives Wachstum festgestellt werden. Von Aussaat bis Ernte hatte der Mais eine Temperatursumme von 2598 Kelvin. Die Temperatursummen des Jahres 2021 liegen sehr nah am Mittel der Jahre (Anhang 4).

Der Herbst 2020 mit hohen Niederschlagsmengen, insbesondere der Oktober mit +42,8 mm, hatte eine späte Aussaat des Weißklee zur Folge, woraus eine schwache Vorwinterentwicklung und ein hoher Unkrautbesatz resultierte. Der Klee konnte sich erst Mitte April 2021 stark entwickeln, nachdem die Temperaturen sich erhöhten.

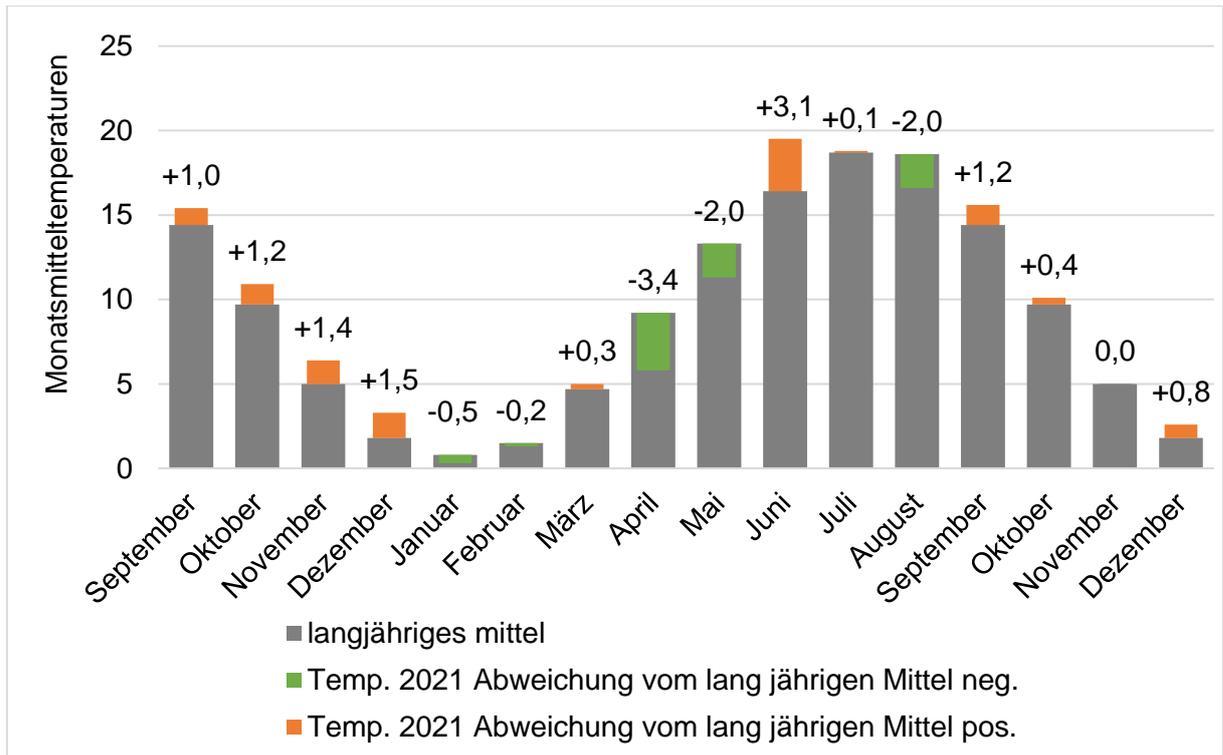


Abbildung 2: Abweichungen der Monatsmitteltemperaturen im Versuchszeitraum (09.2020-12.2021) zum langjährigen Mittel (1998-2021) (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2021)

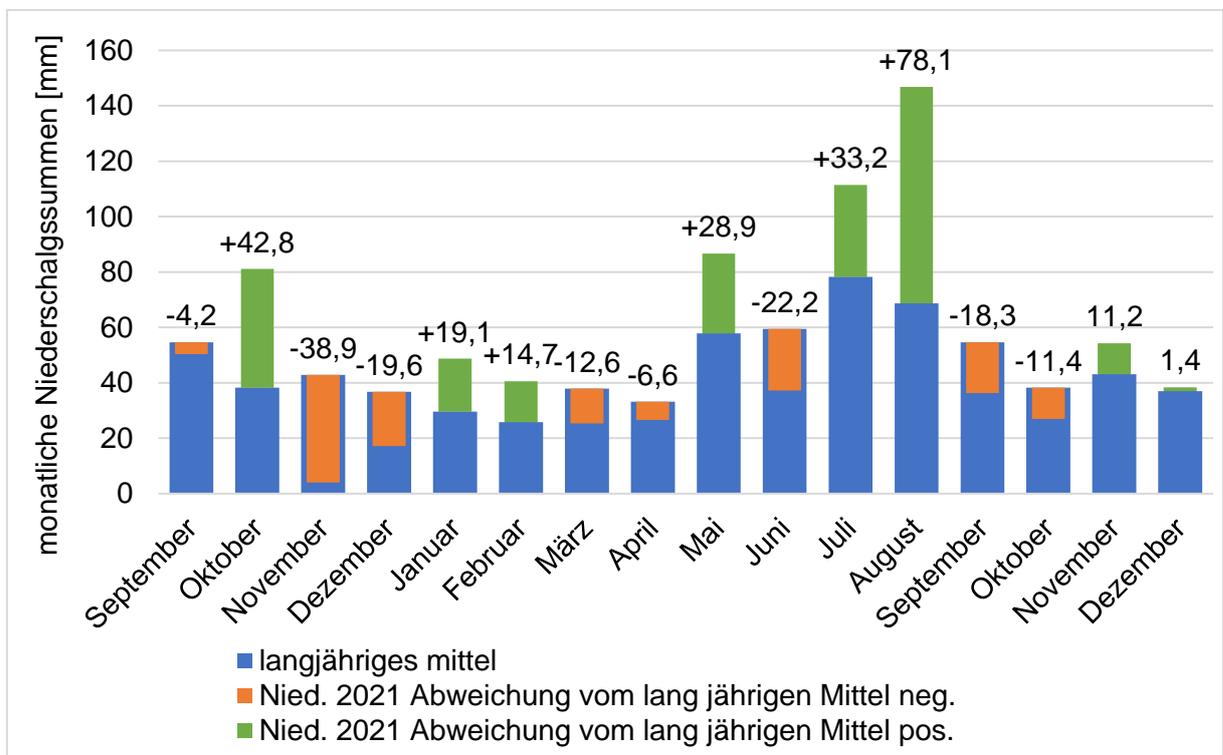


Abbildung 3: Abweichungen der Monatssummen des Niederschlags im Versuchszeitraum (09.2020-12.2021) zum langjährigen Mittel (1998-2021) (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2021)

3.4 Versuchsaufbau

Der Versuch wurde als einfaktorielle Blockanlage angelegt mit 3 Varianten pro Block und 4 Wiederholungen. Variante 1 ist die „Kontrolle“ mit betriebsüblicher Bearbeitung. In der Variante 2 wurde eine Weißklee-Untersaat angelegt. In der 3. Variante wurde der Mais mittels Strip-Till-Saat in einen bestehenden Weißklee gesät. Die drei Varianten sind in Tabelle 2 im Detail aufgeführt.

Tabelle 2: Variantenaufbau des Versuchs im Detail

Variante 1 („Kontrolle“)	Betriebsübliche Mulchsaat	Mulchsaat <ul style="list-style-type: none"> - Tiefe Bearbeitung im Herbst mit Grubber - Umbruch Weißklee im Frühjahr mit Kreiselegge - 2 bis 3 Striegeldurchläufe - 2 bis 3 Hackdurchgänge
Variante 2 („mit Untersaat“)	Weißklee Untersaat	Mulchsaat <ul style="list-style-type: none"> - Tiefe Bearbeitung im Herbst mit Grubber - 2 bis 3 Striegeldurchläufe - 2 bis 3 Hackdurchgänge - Untersaat von 5 kg/ha Weißklee im letzten Hackdurchgang
Variante 3 („Strip-T“)	Strip-Till Saat in Weißkleebestand	Strip-Till-Saat <ul style="list-style-type: none"> - Tiefe Bearbeitung im Herbst mit Grubber - Einsaat Weißklee im Herbst - Mulchen des Bestands im Frühjahr - Aufbrechen der Streifen - Einsaat des Maises in den Streifen - Pflegen des Bestands mit Striegel und Fingerhacke

Zur besseren Bearbeitung mit den betriebsüblichen Maschinen und Geräten wurden die Blöcke nebeneinander angeordnet. Die Parzellengröße wurde an die Arbeitsbreite der Maschinen im Betrieb angepasst. Jede Parzelle beinhaltet sechs Maisreihen mit einem Abstand von 75 cm. Daraus ergibt sich eine Parzellenbreite von 4,5 Meter. Die Länge der Parzellen wurde auf 20 Meter festgelegt. In Summe beinhaltet jede Einzelparzelle eine Fläche von 90 m². Die Gesamtfläche des Versuchsaufbaus mit den insgesamt 12 Parzellen beträgt 1080 m². Um Einflüsse des Vorgewendes auszuschließen wurde ein Abstand von 30 Metern vom Feldrand eingehalten. Der Plan der Versuchsanlage ist im Anhang 1: Versuchsplan Versuchsanlage beigefügt.

3.5 Sorten

Im Versuch wurde die Mais Sorte Baychaka der Firma BSV-Saaten verwendet. Die Sorte ist ein zahnmaisbetonter Zwischentyp und besitzt eine sehr gute Jugendentwicklung. Die Reifezahlen S240 / K220 ordnen die Sorte in einen mittelfrühen bis früh abreifenden Mais ein, was eine sichere Abreife gewährleistet. Der Kornertrag der Sorte ist mit „sehr hoch“ angegeben (OSTERMAIR-SPECKER, 2021). Diese Sorte wird zurzeit nicht in den beschreibenden Sortenlisten des Bundes geführt.

Die im Versuch verwendete Weißkleesorte als Vorkultur in der Strip-Till-Saat und zur Untersaat ist die Sorte Merwi von BSV Saaten. Diese zeichnet sich durch seine niedrige Wuchshöhe aus. Er besitzt eine gute oberflächige vegetative Ausbreitung und schafft eine gute Narbendichte. Die Sorte wird als weniger ertragsstark im Vergleich zu hochwachsenden Sorten dafür als trockenheitsresistenter beschrieben (OSTERMAIR-SPECKER, 2021).

3.6 Versuchsdurchführung

Die ackerbaulichen und Bestandsführenden Maßnahmen des Versuchs wurden vom Praxisbetrieb übernommen. Die Anlage des Versuchs, die Bonituren und die Entnahme von Proben wurden vom Autor der vorliegenden Arbeit selbst durchgeführt. Alle Bearbeitungsmaßnahmen und Bonituren sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Schlagblatt mit allen Maßnahmen auf dem Versuchsfeld

Datum	Maßnahme	Bemerkung
20.08.2020	Grubber	1. Bearbeitung nach Vorfrucht
05.09.2020	Grubber tief + Saatbettbereitung	viele Schollen -> Saatbettbereitung -> Walze
29.und 30.09.2020	Aussaat	Weißklee aufgelaufen im Oktober (spät)
09.04.2021	Anlage Versuch	Einmessung der Versuchsparzellen + Anlage der GPS-Spur
02.05.2021	Kreiselegge	auf Parzellen Variante 1 und 2
05.05.2021	Mulchen	
05.05.2021	Bonitur	Biomasse, Bedeckungsgrad
15.05.2021	Mulchen	
18.05.2021	Strip-Till Streifen	sehr klutig
19.05.2021	Sternrollhacke + Striegel	Bearbeitung der Streifen mit Sternrollhacke, um Kluten zu zerstören u. Abtrocknung zu fördern.

22.05.2021	Sternrollhacke + Striegel	Saatbettbereinigen + Kluten zerkleinern
22.05.2021	Saat	11 Pfl/m ² Ziel (Pfl. Einzelkorn Vederstadt Tempo 8-reihig GPS-Spur Sorte Baychaka S240 / K220)
25.05.2021	Striegel	Vorauflauf (VA)
30.05.2021	Striegel	Nachauflauf (NA)
03.06.2021	Bonitur	Bodenfeuchte, ungestörte Bodenfeuchte, Bedeckungsgrad
16.06.2021	Striegel	NA (gegen Melde jedoch hohe Pflanzenverluste)
18.06.2021	Bonitur	Bedeckungsgrad, Bodenfeuchte, Bestandsdichte
18.06.2021	1. Hackgang	Gänsefußschar Parallelogrammhacke 5 Scharsystem mit Fingerhacke
23.06.2021	2. Hackgang	Gänsefußschar Parallelogrammhacke 5 Scharsystem mit Fingerhacke
29.06.2021	3. Hackgang + Untersaat	Sternrollhacke ausbringen von 5 kg/ha Weißklee Untersaat
Letzter Bearbeitungsgang		
02.07.2021	Bonitur	Bedeckungsgrad, Bodenfeuchte, Bestandsdichte, Pflanzenhöhe
23.07.2021	Bonitur	Bedeckungsgrad, Bodenfeuchte, Pflanzenhöhe
18.08.2021	Bonitur	Bedeckungsgrad
07.09.2021	Zwischenernte	Biomasse, Nmin, Kolbenanzahl, Kolbengewicht
02.11.2021	Kolben und Korn-ernte	Kolben Pro Pflanze, Kolbengewicht, Kolbenfeuchte, Kornertrag

Die Bestandsentwicklung der Versuchsfläche ist mit Fotos über die Gesamte Versuchsdauer in Anhang 6: Abbildungen Bestandsentwicklung des Feldversuches während der gesamten Versuchsdurchführung dokumentiert.

3.6.1 Versuchsfläche und Vorfrucht

Der Betrieb stellte eine Betriebsfläche von 3,0 Hektar für den Versuch zur Verfügung. Die Fläche ist neu in den Betrieb gekommen und somit Umstellungsfläche im ersten Jahr. Als Vorfrucht wurden Speisekartoffeln angebaut. Zur Bestimmung der Grundnährstoffe wurde eine EUF-Grundnährstoffuntersuchung durchgeführt (Anhang 2). Die wichtigsten Werte der Untersuchung sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Ausgewählte Laborergebnisse der EUF-Grundnährstoffuntersuchung

	Humus [%]	N [NO ₃ ⁻ /N _{org}]	P [P1/P2]	K [K1/K2]	Ca [Ca1/Ca2]	Mg	S
Gehalt	2,5	0,9/2,0	2,0/0,8	10/5	23/19	2,7	0,8
Versorgungsstufe	mittel	B	B	C	A	E	C

Die Untersuchung stellt einen Humusgehalt von 2,5% fest. Der organisch gebundene Stickstoff liegt nach EUF-Analyse in Versorgungsstufe B. Ein großer Mangel mit Versorgungsstufe A wurde bei den Nährstoffen Calcium (Ca) und Bor (B) festgestellt. Die Phosphorversorgung ist zudem auch niedrig. Mit Kalium (K) ist der Boden optimal versorgt. Eine Überversorgung liegt nur bei Magnesium (Mg) vor.

3.6.2 Grundbodenbearbeitung

Nach Ernte der Vorfrucht Kartoffel wurde die Grundbodenbearbeitung mit 2 Grubber- Überfahrten durchgeführt. Die erste Überfahrt war am 20.08.2020. Die tiefe Grubberbearbeitung wurde Anfang September mit einer Arbeitstiefe von 25 cm durchgeführt. Durch die feuchten Bedingungen zur Ernte der Kartoffel sind große Kluten nach der tiefen Bearbeitung entstanden. Diese wurden mit einer flachen Bearbeitung mittels einer Saatbettkombination aufgebrochen und somit ein feinkrümliges Saatbett erzeugt. Der Weißklee wurde am 29.09. und 30.09.2020 auf der gesamten Fläche gedreht. Die Saatbedingungen waren aufgrund der kalten und feuchten Witterung nicht optimal. Der Weißklee ist erst spät, etwa Mitte Oktober aufgelaufen. Die Vorwinterentwicklung des Weißkleees war somit schwach.

Aus dem Winter ist der Weißklee mit einem schwachen Bestand gestartet. Das kühle Frühjahr 2021 verlangsamte zudem die Entwicklung des Weißkleees. Die langsame Entwicklung führte zu einer starken Verunkrautung der Flächen. Die Leitunkräuter (Abbildung 4) waren Vogelmiere (*Stellaria media*), Kamillearten (*Matricaria*, *Anthemis*) und die stängelumfassende Taubnessel (*Lamium amplexicaule*).



Abbildung 4: Frühjahrsbestand 2021 der Versuchsfläche mit schwacher Weißkleeentwicklung und starker Verunkrautung mit Beikräutern (Aufnahmedatum 11.03.2021)

Ab Anfang April stieg der Biomassezuwachs des Weißkleees deutlich. Dieser konnte die bis dahin gut entwickelten Unkräuter jedoch nicht mehr unterdrücken. Auch die Ausbreitung des Weißkleees außerhalb der Saatreihe war sehr gering. 50% der Ackerfläche dieser Variante waren ohne Weißkleebewuchs.

3.6.3 Anlage der Versuchsanlage und Vorbereitung der Parzellen

Am 09.04.2021 wurde der Versuch angelegt (Abbildung 5). Dazu wurde mittels RTK GPS eine A/B-Linie für die Drillspur der 6-reihigen Einzelkorndrillmaschine angelegt. Diese GPS-Spur stellte die Referenzlinie der Versuchsanlage. 30 Meter vom Vorgewende entfernt wurde der 1. Punkt der Versuchsanlage gesetzt. Mittels der Referenzlinie der Drillmaschine konnte der 2. Punkt 20 Meter (Parzellenlänge) entfernt gesetzt werden. Im rechten Winkel dazu wurde die vorher ermittelte Breite Versuchsanlagen von 54 Meter ausgemessen und der 3. Punkt gesetzt. Punkt 4 wurde wieder anhand der GPS-Spur auf eine Parzellenlänge 20 Meter ausgemessen. In den geschaffenen Rahmen der Versuchsanlage wurde aller 4,5 Meter, was 6 Maisreihen mit 75 cm Reihenabstand entspricht, die 12 einzelnen Parzellen eingemessen. Durch die Anlage der GPS-Spur konnte gewährleistet werden, dass die sechs Maisreihen exakt in den Parzellen liegen. Zudem war die GPS-Spur für die Streifenbearbeitung und Saat im absetzigen Verfahren notwendig.



Abbildung 5: Ausgemessene Versuchsanlage (Aufnahmedatum 09.04.2021)

Am 2. Mai wurde der Bestand nach Versuchsplan auf Varianten 1 (betriebsübliche Mulchsaat) und Varianten 2 (Weißklee Untersaat) mit einer Kreiselegge umgebrochen. Der Aufwuchs konnte damit komplett beseitigt und eingearbeitet werden. Vor der Saat wurde der Weißkleebestand noch zweimal gemulcht. Der Biomasseaufwuchs des Weißkleees war nach dem 1. Mulchen sehr stark. Aus dem Grund musste ein Tag vor der Anlage der Streifen noch einmal gemulcht werden. Durch das intensive Schneiden des Weißkleebestands konnten die Beikräuter stark unterdrückt werden.

3.6.4 Anlage der Streifen

Am 18.05. wurden die Strip-Till- Streifen angelegt (Abbildung 6). Dem Betrieb stand keine professionelle Strip-Till Technik zur Verfügung. Es wurde ein Hackrahmen verwendet, an welchem große Starrzinken vom Standardgrubber angebaut wurden. Mit diesen Zinken konnte der Streifen tief gelockert werden. Durch die ergiebigen Niederschläge im Frühjahr 2021 und der langsam abtrocknenden Ackerkrume unter einem stehenden Bestand, lag zum Anlagezeitpunkt der Streifen noch eine hohe Bodenfeuchte vor. Dies führte zur Entstehung großer Kluten beim tiefen Herausarbeiten der Strip-Till-Streifen. Durch die einstufige Bearbeitung der Streifen mit nur einem Zinken konnte der Klee nicht sicher abgetötet werden. Aus diesem Grund folgten noch 2 Bearbeitungsgänge mit einer Rollhacke und dem Zinkenstriegel, um die Kluten zu zerkleinern und den Klee abzutöten. Nach diesen konnte der Streifen herausgearbeitet werden und ein etwas zu grobes aber schonkrümliges Saatbett im Streifen für die Saat bereitgestellt werden. Die Lockerung in den Streifen war nach den Bearbeitungsgängen zur Aussaat jedoch nicht optimal. Es lag auf ca. 8 cm Tiefe eine verdichtete kühle Schicht vor.



Abbildung 6: Streifenbearbeitung mit Hackrahmen und Grubberzinken
(Aufnahmedatum 18.05.2021)

3.6.5 Aussaat

Die Aussaat erfolgte sehr spät am 22.05.2021 (Abbildung 7). Der Grund war die kühle Witterung und die vielen Niederschläge im Mai. Zudem wurde der Versuch aus wirtschaftlichen Gründen des Betriebs zuletzt gesät. Gedrillt wurde mit einer Väderstatt Tempo auf 8 Reihen. Die betriebs-eigene 6-reihige Maschine wurde nicht verwendet, da bei den nicht ausreichend gelockerten Streifen der Schardruck zur richtigen Ablagetiefe nicht gehalten werden konnte. Gesät wurde in die im April angelegte Drillspur. Durch die Anpassung der GPS- Spur an die Maschinenbreite der Leihmaschine (Väderstatt Tempo) wurde die Saat exakt in die angelegte Spur gedrillt.

In der Tabelle 5 sind die Aussaatparameter aufgeführt.

Tabelle 5: Aussaatparameter des Maises in der Versuchsanlage

Aussaatstärke	11 Körner/m ²
Zwischen reihen Abstand	75 cm
Inerer-Reihenabstand	12 cm
Ablagetiefe	6 cm
Sorte	Baychaka S240 / K220
Pflanzenziel	8 Pflanzen/m ²

Die Saat erfolgte auf allen Parzellen gleich. Die Aussaatbedingungen waren gut.



Abbildung 7: links: Körnermaisaussaat mit Väderstad Tempo (Aufnahmedatum 22.05.2021)
rechts: Ablage der Saat in gelockerten Strip-Till-Reihen

7 Tage nach der Saat spitzt der Mais im BBCH-Stadium 10 bis 11. Ab diesem Zeitpunkt traten Probleme mit Vogelfraß auf.

3.6.6 Maßnahmen zur Bestandsführung

Tabelle 6 listet die bestandsführenden Maßnahmen im Versuch mit Temperatursumme und Datum auf.

Tabelle 6: Bestandsführende Maßnahmen nach der Saat mit Datum und Temperatursumme

Datum	Temperatursumme nach Saat [°C×d]	Maßnahme
25.05.2021	48,4	Striegel
30.05.2021	101,6	Striegel
16.06.2021	415,1	Striegel
18.06.2021	466,6	1. Hackgang mit Scharhacke
23.06.2021	570,9	2. Hackgang mit Scharhacke
29.06.2021	683,6	3. Hackgang mit Rollhacke + Untersaat

In allen Varianten wurde im Voraufbau (VA) diagonal zur Aussaatrichtung gestriegelt. In der kritischen Phase von BBCH 8 bis 11 des Mais wurde keine Striegelmaßnahme durchgeführt. Danach wurde noch zweimal diagonal im Nachaufbau gestriegelt, um ein erneutes Auflaufen von Unkräutern zu minimieren. Die erste Keimung des Weißen Gänsefußes (*Chenopodium album*) konnte gut gebrochen werden. Die 2. Welle wurde im letzten Striegeldurchgang im BBCH 14 bekämpft. Durch die intensive Striegelstellung waren Pflanzenverluste zu verzeichnen. Gestriegelt wurde mit einem 12 Meter Treffler-Präzessionsfederzinkenstriegel. Anschließend wurden die Varianten 1 und 2 mit 3 Hackdurchgängen gepflegt. Die ersten beiden Durchläufe wurden mittels einer klassischen Scharhacke an einem Geräteträger Fendt GT durchgeführt. Im letzten Hackdurchgang wurde eine Sternrollhacke mit aufgebautem pneumatischem Streuer für Feinsämereien verwendet. Mit diesem wurde die Untersaat vor den Rollsternen in den Zwischenreihen der Parzellen der Untersaat-Variante („mit Untersaat“) ausgebracht. Die Verunkrautung in den Varianten konnte dadurch in der kritischen Phase gut reguliert werden. In der „Strip-T“-Variante war nach dem letzten Striegeldurchgang der Boden komplett mit Weißklee bedeckt und es wurde keine Maßnahme mehr durchgeführt. Die Samenunkräuter konnten durch den Weißklee gut unterdrückt werden.

3.7 Bonitur Durchführung

Die Bonitur- und Beprobungstermine wurden mittels eines Bonitur- und Beprobungsplanes erfasst. Insgesamt wurde zu 10 Beprobungsterminen eine Erhebung von Daten durchgeführt. Der Bonitur- und Beprobungsplan ist im Anhang 3 ersichtlich.

3.7.1 Bonitur Bedeckungsgrad

Der Bedeckungsgrad des Bodens wurde mit dem „Göttinger Schätzrahmen“ (Fläche 1/10 m²) erfasst. Bonitiert wurde an sechs Terminen (Tabelle 7). Die erste Erfassung der Bodenbedeckung wurde vor dem 1. Mulchen des Weißklee durchgeführt, um den Ausgangsbestand zu erfassen. Pro Parzelle wurden vier Bedeckungsgradschätzungen vorgenommen und aus diesen ein arithmetisches Mittel gebildet. Erfasst wurde der prozentuale Anteil der bonitierten Fläche des Klee, des Unkrautes, des Mais und der Anteil der unbedeckten Fläche. Je nach Wachstumsstadium wurde der Mais einbezogen und auch in der Reihe bonitiert. Nach dem Reihenschluss konnte der Mais methodisch nicht mehr erfasst werden und es wurde ausschließlich der Unterwuchs zwischen den Reihen bonitiert.

Tabelle 7: Boniturtermine der Bedeckungsgradbonituren mit dem Betrachtungsbereich und den erfassten Daten zur Bonitur

Boniturtermine	Betrachtungsbereich	Erfasste Daten
05.05.2021	Vorsaat	Bedeckung [%], Klee, Unkraut
03.06.2021	In der Reihe	Bedeckung [%], Klee, Mais, Unkraut
18.06.2021	In der Reihe	Bedeckung [%], Klee, Mais, Unkraut
02.07.2021	In der Reihe	Bedeckung [%], Klee, Mais, Unkraut
23.07.2021	Zwischenreihe	Bedeckung [%], Klee, Unkraut
18.08.2021	Zwischenreihe	Bedeckung [%], Klee, Unkraut

3.7.2 Bestandsdichte

Vier Wochen nach der Aussaat wurde der Feldaufgang und die Bestandsdichte erfasst. Zum Beprobungszeitpunkt traten schon Pflanzenverluste durch die Bestandspflege und durch Vogelfraß auf. Diese Faktoren stressten im 1-Blattstadium den Mais. Die Bestandsdichte der Maispflanzen wurde mittels eines Meterstabes ermittelt. Es wurden an drei Bonitur stellen pro Parzelle die Pflanzen pro laufenden Meter einer Maisreihe ausgezählt.

Nach Abschluss aller Bestandspflege- Maßnahmen wurde ein zweites Mal die Bestandsdichte erfasst, um die mechanischen Pflanzenverluste zu erfasse. Hierbei wurde für ein valideres Ergebnis die Auszählung der Pflanzen auf zwei Meter pro Boniturstelle erweitert. Zur Ernte des Maises wurde die Bestandsdichte ein letztes Mal erfasst, um den Kolbenertrag pro Pflanze zu ermitteln. Die Termine sind dem Boniturplan zu entnehmen (Anhang 3)

3.7.3 Pflanzenhöhe

Die Pflanzenhöhe wurde mittels eines Zollstocks ausgemessen (+/- 1cm). Die Bonitur erfolgte wie die Bestandsdichte an den drei Terminen. Die erste Bonitur erfolgte am 02.07.2021 zum Bestandsschluss, der zweite zum Rispenschieben und die dritte Bonitur zur Ernte. Erfasst wurden je vier Pflanzen pro Parzelle.

3.7.4 N_{min}-Vorrat im Boden

Der N_{min}-Vorrat im Boden der Versuchsfläche wurde an zwei Terminen erhoben. Der Start-N_{min} wurde vor Versuchsbeginn entnommen. Dieser dient als Referenzwert im Frühjahr. Dabei wurde eine Mischprobe aus mehreren Teilproben erstellt, welche über die Fläche verteilt entnommen wurden. Zur Zwischenernte am 07.09.2021 wurde das zweite Mal der N_{min} beprobt. Ziel war es, eventuelle Unterschiede der einzelnen Varianten hinsichtlich des N_{min}-Vorrates zu untersuchen. Aus dem Grund wurde jede Einzelparzelle mit je vier Pürckhauer Bohrstöcken beprobt, um eine ausreichende Mischprobe pro Parzelle zu generieren. Der N_{min}-Vorrat wurde im 30 cm Raster bis in 90 cm Tiefe erfasst. Als Beprobungsfenster zur Zwischenernte des Maises wurde die Fläche der Biomassebestimmung von 2,25 m² verwendet. Beprobt wurde immer in der Maisreihe (Abbildung 8). Je Parzelle wurden vier Proben entnommen nach Bodentiefe als Mischprobe zusammengefasst, homogenisiert und anschließend bei -18°C tiefgefroren.



Abbildung 8: N_{min} -Beprobung zur Zwischenernte des Maises (Aufnahmedatum 07.09.2021)

Die Bodenproben wurden im Labor nach VDLUFA aufgearbeitet. Dabei wurde 100g (+/- 0,05g) des Bodens jeder Probe in 500 ml Weithalsflaschen eingewogen. Anschließend wurde 250 ml 0,0125 molare Calciumchloridlösung ($CaCl_2$) hinzugegeben und die Proben eine Stunde im Schüttler durchmischt. Die aufbereitete Bodenlösung wurde anschließend filtriert und je Probe in 10ml- Gefäße abgefüllt. Die so hergestellten Filtrate wurde bei $-1^{\circ}C$ eingefroren. Die Analyse der Filtrate auf NO_3^- und NH_4^+ erfolgte in der Staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Nossen. Nach Herstellung der Filtrate wurde ein Teil der Ausgangsprobe, für die Bestimmung der TM in Becher (50 ml) eingewogen und anschließend bei $105^{\circ}C$ im Trockenschrank (Kelvitron der Firma Heraeus Instruments) 24 h bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wurden die Proben ausgewogen, um die Trockenmasse zu erfassen. Mit den bestimmten Nitrat- und Ammonium-Konzentrationen der Filtrate und der Trockensubstanz (TS) des Bodens wurde mittels folgender Gleichung der N_{min} -Vorrat im Boden den drei Bodentiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm berechnet.

$$N_{min} \left[\frac{kg}{ha} \right] = c_L * d * \frac{dB}{TS} * f * S$$

c_L = NO_3^- und NH_4^+ -Konzentration in der Messlösung [mg l⁻¹]

d = Mächtigkeit der beprobten Schicht [dm]

dB = Lagerungsdichte der beprobten Schicht [g cm⁻³]

TS = Trockensubstanzgehalt des Bodens [%]

f = Ausschüttelungsverhältnis (Extraktionsmittel [ml]/ Bodeneinwaage [g])

S = Steingehalt [%]

3.7.5 Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte wird als Verhältnis des Wasseranteils zu einer Bezugsgröße (in der vorliegenden Arbeit: trockener Boden) angegeben. Je nach Bezugsgröße unterscheidet man unterschiedlich definierte Feuchtebegriffe (GRÄBER, 2005). In diesem Feldversuch wurde die Bodenfeuchte gravimetrisch untersucht. Das Verfahren bestimmt den prozentualen Wassergehalt des Bodens. Um das volumetrische Wasserspeichervermögen in Liter und die nutzbare Feldkapazität (nFK) zu bestimmen wurde das Porenvolumen des Bodens untersucht. In den folgenden Unterpunkten werden die Methoden zur Bodenfeuchtebestimmung erläutert. Die Bodenfeuchte wurde an vier Terminen von Aussaat bis Zwischenernte beprobt. Es wurden nur die Parzellen der Variante 1 (klassische Mulchsaat) und der Variante 3 („Strip-T“) untersucht, da in diesen die größten Unterschiede erwartet wurden.

3.7.5.1 gravimetrische Bodenfeuchte

Die gravimetrische Bodenfeuchteermittlung ist das Standardverfahren. Auf dem Versuchsfeld wurden den Parzellen der Variante 1 und 3 bis in 60 cm Tiefe Bodenproben entnommen. Diese wurden in einem 10 cm Raster in Behälter abgefüllt. Pro Parzelle wurden jeweils zwei Proben entnommen. Zur Entnahme wurde ein Pürckhauer-Bohrstock verwendet. Der Einstich erfolgte immer in der Maisreihe, um den Wassergehalt unter der Maispflanze zu bestimmen. Die gewonnenen Proben wurden anschließend eingewogen. Um den prozentualen Wassergehalt der gewonnenen Bodenproben zu berechnen, wurde das Feuchtgewicht (G_f) vor der Trocknung und das Trockengewicht (G_t) danach mittels einer Präzessionswaage (Denver Instruments, Wägebereich bis 6000 g, Genauigkeit: +- 0,01g) erfasst. Das Gewicht der Beprobungsbehälter wurde jeweils als Tara abgezogen (GRÄBER, 2005). Um die Trockengewichte zu ermitteln, wurden die Proben bei 105°C für 24 Stunden bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die getrockneten Proben wurden mit der oben genannten Waage ausgewogen. Die Berechnung des gravimetrischen Wassergehalts für die einzelnen Bodentiefenstufen in Gewichtsprozent erfolgte nach folgender Gleichung.

$$\text{grav. Wassergehalt(\%)} = \frac{G_f - G_t}{G_t} * 100\%$$

3.7.5.2 Bestimmung des volumetrischen Wassergehalts und der nutzbaren Feldkapazität (nFK)

Die Bezugsgrößen zur Bestimmung des volumetrischen Wassergehalts sind die Trockenroh-dichte (TRD), die Wasserspannungskurve (pF-Kurve) des Bodens und die oben berechneten gravimetrischen Wassergehalte. Zur Bestimmung der ersten beiden Bezugsgrößen wurden jeweils acht ungestörte Bodenproben mittels Stechzylinder (100 cm³) in zwei Tiefenstufen entnommen (0 cm bis 30 cm und 30 cm bis 60 cm). Die pF-Kurve des Bodens wurde für die Wasserspannung von 1,0 bis 2,7 mit der pF- Laborstation der Firma ecoTech Bonn und für pF 3 in einer Drucktopfanlage der Firma Soilmoisture Equipment Corp. ermittelt. Den Wassergehalt bei pF 3,5 und 4,2 wurde mittels einer Membranpresse der Firma Eijkelkamp über eine gestörte Bodenprobe erfasst. Zur Bestimmung der TRD wurden die gestörten Bodenproben ebenfalls 24 h bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, gewogen und aus den ermittelten Werten anschließend ein arithmetischer Mittelwert gebildet.

Das angewendete Verfahren zur Bestimmung der pF-Kurve und der TRD erfolgte nach VDLUFA und der DIN ISO 11272.

Die Umrechnung vom gravimetrischen Bodenwassergehalt zum volumetrischen Bodenwassergehalt in Volumen % ist in folgender Gleichung angegeben. Die TRD ist je nach Tiefenstufe unterschiedlich.

$$\text{vol. Wassergehalt}(\%) = \text{grav. Wassergehalt}(\%) * \frac{TRD}{\rho_{Wasser}}$$

$$TRD_{0-30} = 1,55 \text{ g/cm}^3$$

$$TRD_{30-60} = 1,36 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{Wasser} = 1 \text{ g/cm}^3$$

Der Totwassergehalt wurde ebenfalls in jeder Tiefenstufe bestimmt. Dieser ergibt sich aus dem gravimetrischen Wassergehalt der Proben am Permanenten Welkepunkt (PWP) bei pF 4,2 welcher mit der Membranpresse simuliert wird. Multipliziert man diesen mit der TRD der jeweiligen Tiefenstufe erhält man den volumetrischen Totwassergehalt. Wird dieser auf das Volumen der beprobten 30 cm Bodentiefe bezogen, errechnet man für die erste Tiefenstufe 0-30 cm, eine Totwassermenge von 47,0 Liter pro Quadratmeter und bei 30-60 cm Bodentiefe eine Totwassermenge von 36,6 Liter. Das pflanzenverfügbare Wasser oder auch nutzbare Feldkapazität (nFK) der einzelnen Bodenproben, bezogen auf das 10 cm Beprobungsraster, berechnet sich nach folgender Formel.

$$\text{nutzbare Feldkapazität} \left(\frac{l}{100\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{vol Wassergehalt}(\%) * \text{Mächtigkeit}_{\text{Boden}} - \text{Totwassergehalt}}{3}$$

$$\text{Mächtigkeit} = 300 \text{ cm}^3$$

$$\text{Totwassergehalt}_{0-30} = 47,0 \text{ l/cm}^3$$

$$\text{Totwassergehalt}_{30-60} = 39,6 \text{ l/cm}^3$$

Die gesamte nutzbare Feldkapazität des Bodens ergibt sich aus gesamten Porenvolumen des Bodens abzüglich der Grobporen > 50 µm bei pF 1 bis 1,8 und abzüglich des PWP. Der Boden im Versuch hatte ein Porenvolumen im beprobten in Vol.-% von 19,46 % (0-30cm) und 20,99 %. Die maximale nutzbare Feldkapazität ist bei Wasser gesättigtem Boden erreicht. Für die Bodentiefe von 0 bis 60 cm ergibt das eine maximale pflanzenverfügbare Wassermenge von 120 Liter, die der Boden an diesem Standort speichern kann.

3.7.6 Ernte und Kornertragsmessung

Der Mais wurde am 2. November zur physiologischen Reife der Körner geerntet. Die Ernte erfolgte mit einer Handernte der Kolben von zwei Maisreihen auf einer Länge von 3 Metern pro Parzelle. Die beerntete Fläche berechnet sich wie folgt:

$$\text{Erntefläche} = 3 \text{ m} * 0,75 \text{ m} * 3 = 6,75 \text{ m}^2$$

In Tabelle 8 sind die zur Ernte erhobenen Versuchsdaten aufgeführt

Tabelle 8: Erhobene Versuchsdaten zur Kolbenernte und Kornertragsmessung

Parameter	Einheit
Kolbenanzahl	Anzahl
Kolbenmasse	kg
Pflanzenlänge	cm
Pflanzenanzahl	Anzahl
Kornertrag	dt/ha
Trockenmasse	kg/ha

Bei der Kolbenernte wurde die Anzahl der geernteten Pflanzen und die Pflanzenhöhe von vier Referenzpflanzen erfasst. Die Kolben wurden gezählt und die Frischmasse mittels einer Waage (bis 50 kg +/- 20g) erfasst. Anschließend wurden die Kolben im Trockenschrank bei 55°C für 48h bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die Trockenmasse wurde mit der gleichen Waage ermittelt. Der Tara- Wert für Sack und Beschriftungszettel wurde jeweils abgezogen.

Anschließend wurden die Kolben mit einer Hand- Maisentkörnungsmaschine gerebelt und die Korngewichte (TM) jeder Parzelle erfasst.

Folgende Abbildungen zeigen Beispiel Kolben der einzelnen Varianten (Abbildung 9) und die Vorgehensweise bei der Entkörnung der Kolben (Abbildung 10 und Abbildung 11).



Abbildung 9: Kolbenauswahl der Varianten 1 bis 3, von links nach rechts Variante 1 (Parzelle 9), Variante 2 (Parzelle 12), Variante 3 (Parzelle 10)



Abbildung 10: Kolbenentkörnungsgeschäft



Abbildung 11: Entkernen mit dem Kolbenentkörnungsgeschäft mit Sack zum Auffangen der Körner

3.7.7 Bestimmung des Biomasseaufwuchses und des Nährstoffgehalts

Im Versuch wurde der Biomasse aufwuchs an zwei Terminen erfasst. Die erste Biomassebestimmung erfolgte am 05.05.2021 vor dem Mulchen des Bestands auf den „Strip-T“-Parzellen, um den Frühjahrswachstum von Weißklee und Unkraut zu erfassen. Pro Parzelle wurde ein Quadratmeter des Aufwuchses bodennah abgeschnitten. Zum ersten Termin waren dabei nur die Aufwüchse der Parzellen 3, 5, 8, und 10 der Variante 3 zu berücksichtigen. Auf den Parzellen der Variante 1 und 2 war der Weißklee umgebrochen wurde und eine Schwarzbrache vorlag. Die entnommenen Proben wurden gewogen und nach Unkraut und Klee sortiert. Zur Zwischenernte am 07.09.2021 wurde das zweite Mal die Biomasse bestimmt. Ziel war die Erfassung des gesamten Aufwuchses pro Quadratmeter der Parzellen um den im gesamten Aufwuchs gebunden Stickstoff zu erfassen. Zur Beprobung wurde in jeder Parzelle auf einer Fläche von 2,25 m² der gesamte Aufwuchs bodennah abgeschnitten. In Tabelle 9 sind die erfassten Versuchsparameter aufgelistet.

Tabelle 9: Versuchsparameter zur Biomassebestimmung

Versuchsparameter	Einheit
Biomassegesamt	kg
Biomasse- Maispflanze	kg
Biomasse- Kolben	g
Biomasse- Klee	g
Biomasse Unkraut	g
TS- Gehalt Biomassen	%
N-Gehalt der Biomassen	mg N/g
C/N-Verhältnis	

Sofort nach der Ernte wurde die Frischmasse (FM) der Proben bestimmt. Die Proben wurden dabei in folgende Bestandteile untergliedert: Maispflanze, Maiskolben, Unkraut und Klee. Die Bestandteile wurden mit einem Scheibenradhäcksler der Firma Baumann Saatzucht homogenisiert und die FM erfasst. (Waage für Klee und Unkraut: Denver Instruments, Wägebereich bis 6000 g, Genauigkeit: +- 0,01g; Kolben und Maispflanze: Wägebereich bis 50kg). Die Gesamtmasse des Aufwuchses ergibt sich aus den Summen der Gewichte der Einzelbestandteile. Zur TS- Bestimmung wurde eine Teilmenge der Proben eingewogen (Waage: Denver Instruments, Wägebereich bis 6000 g, Genauigkeit: +- 0,01g) und im Trockenschrank bei 55°C für 48 h getrocknet. Die Proben wurden anschließend mit der beim Einwiegen verwendeten Waage ausgewogen. Der Tara-Wert für Zettel und Tüte wurde abgezogen. Zur Bestimmung des N-Gehaltes und des C/N-Verhältnis wurden die getrockneten Proben anschließend

gemahlen. Für die erste Mahlstufe wurde eine Schneidmühle der Firma Retsch, Typ SM 100 mit einer Partikelgröße < 5 mm verwendet. Die zweite Mahlstufe erfolgte mit einer Ultrazentrifugalmühle der Firma Retsch, Typ ZM 200, auf eine Partikelgröße $< 0,2$ mm. Zur C/N Analyse wurde eine Teilprobe mit 3 mg ($\pm 0,2$ mg) von den vermahlenden Proben in je zwei Zinnkapseln mit Abmessungen von 4 x 9 mm eingewogen. Der Stickstoff- und Kohlenstoffgehalt wurde anschließend mittels Elementaranalyse (Euro-EA der Firma Hekatech) bestimmt. Bilder des Verfahrens sind dem Anhang 5 beigelegt.

3.8 Datenaufbereitung und statistische Analyse

Die erhobenen Daten und Messergebnisse wurden in Microsoft Excel (Microsoft Office 365) digitalisiert aufbereitet und auf übliche Einheiten umgerechnet. Anschließend wurden die Daten für die Statistische Untersuchung in MS Excel aufbereitet. Die Statistische Auswertung erfolgte im Statistikprogramm SPSS (IBM SPSS Statistics Version 28.0.0.0). Als Voraussetzung einer Varianzanalytischen Untersuchung wurde eine Prüfung auf Normalverteilung mittels Shapiro-Wilk-Test und auf Varianzgleichheit vorausgeschoben. Für die Daten, die keine Normalverteilung aufwiesen, wurden keine Varianzanalyse durchgeführt. Es erfolgte keine Transformierung der Datensätze. Anschließend erfolgte ein einfaktorieller Mittelwertvergleich mit mehreren Stichproben (Einfaktorielle Anova), der Varianten „Kontrolle“, „mit Untersaat und „Strip-T“. Ein multipler Mittelwertvergleich auf Basis von Poc-Hoc-Test zur Beurteilung der Mittelwertsunterschiede erfolgte mittels Tukey-Tests. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde auf ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ für alle statistischen Analysen festgesetzt. Signifikante Unterschiede wurden mit verschiedenen Buchstaben dargestellt. Nicht signifikante Zusammenhänge wurden mit der Abkürzung n.s. für nicht signifikant in den Grafiken abgekürzt. Die Auswertung der Bodenfeuchte Daten mit nur zwei Stichproben „Kontrolle“ und „Strip-T“ wurden mit einem zweiseitigen T-Test ausgewertet. Die Tabellen und grafischen Abbildungen dieser Arbeit wurden mit MS Excel erstellt.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse Bedeckungsgrad

Am 5. Mai 2021, 17 Tage vor der Aussaat des Mais, wurde der Klee in der Variante „Strip-T“ das erste Mal gemulcht. Die Bedeckung des Bodens zeigte vor dem Mulchen auf diesen Parzellen eine Weißkleebedeckung von 59 % bezogen auf die bonitierte Fläche im „Göttinger Schätzrahmen“. Der Unkrautdeckungsgrad war vor dem ersten Mulchen noch sehr hoch, er betrug 38 %. Leitunkräuter waren zu dem Zeitpunkt die Vogelmiere, Kamille und Taubnessel. Die Narbe war vor dem Mulchen bereits fast vollständig geschlossen, nur 3% des Bodens waren unbedeckt. Die Varianten „mit Untersaat“ und die „Kontrolle“ wiesen zu diesem Termin noch keine Bodenbedeckung auf (Abbildung 12 (05. Mai)).

Am 03. Juni, 12 Tage nach der Saat, lief der Mais auf (BBCH 11). Der Bedeckungsgrad des Mais erreichte in den 3 Varianten jeweils 1 %. In den beiden Varianten „Kontrolle“ und „mit Untersaat“, wurde keine Bedeckung mit Unkraut und Klee festgestellt. Die „Strip-T“-Variante erreichte eine Bedeckung von 3 % Klee und 1 % Unkraut. Die restlichen 95 % der Fläche waren unbedeckt (Abbildung 12 (03. Juni)).

Die Bedeckung des Bodens durch den Mais stieg mit fortschreitender Vegetationszeit an. Am 18. Juni lag die Bedeckung in der „Strip-T“ Variante bei 7 %, im Vergleich zu den anderen beiden Varianten die mit 26 % („mit Untersaat) und 21 % („Kontrolle“). Der Unkrautdeckungsgrad stieg bei allen Varianten leicht an und lag bei 1 bis 2 %. Der Aufwuchs des Klees in der „Strip-T“- Variante nahm zu und bedeckte die Fläche in der Reihe zu 14 %. Über 70 % des Bodens war zu diesem Zeitpunkt unabhängig von der Variante unbedeckt (Abbildung 12 (03. Juni)).

Am 2. Juli kurz vor Bestandsschluss bedeckte der Mais 53 % der Fläche in der „Kontrolle“. Die Variante „mit Untersaat“ erreichte 57 %. Die „Strip-T“- Variante fiel immer deutlicher zurück, mit nur 28 % Bedeckung. Der Weißklee hatte in dieser Variante die Maisreihe mit 53% Deckungsgrad zu diesem Zeitpunkt fast vollständig geschlossen. Der Unkrautanteil lag bei 13 % und 7 % der Fläche waren völlig unbedeckt. Die beiden anderen Varianten waren zu 33 % unbedeckt. Den höchsten Unkrautdeckungsgrad von 15 % wies die „Kontrolle“ auf. In der Untersaatvariante bedeckte der neu aufgelaufene Weißklee 5 % der Fläche. Der Unkrautdeckungsgrad wurde ebenso mit 5 % bonitiert (Abbildung 12 (03. Juni)).

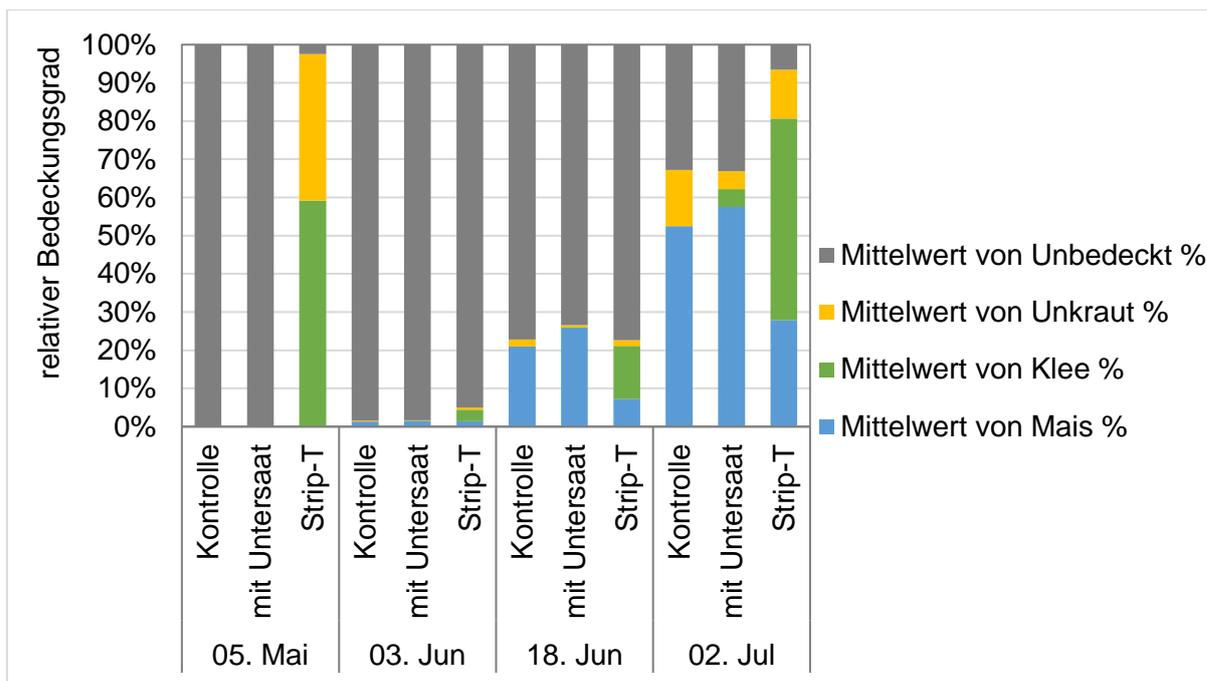


Abbildung 12: Mittelwert des relativen Bedeckungsgrades in der Reihe von Mais; Klee, Unkraut und unbedeckte Fläche bezogen auf die Gesamtfläche des Bonitierahmens, der Bonituren der jeweiligen Variante zum Boniturdatum (n=4)

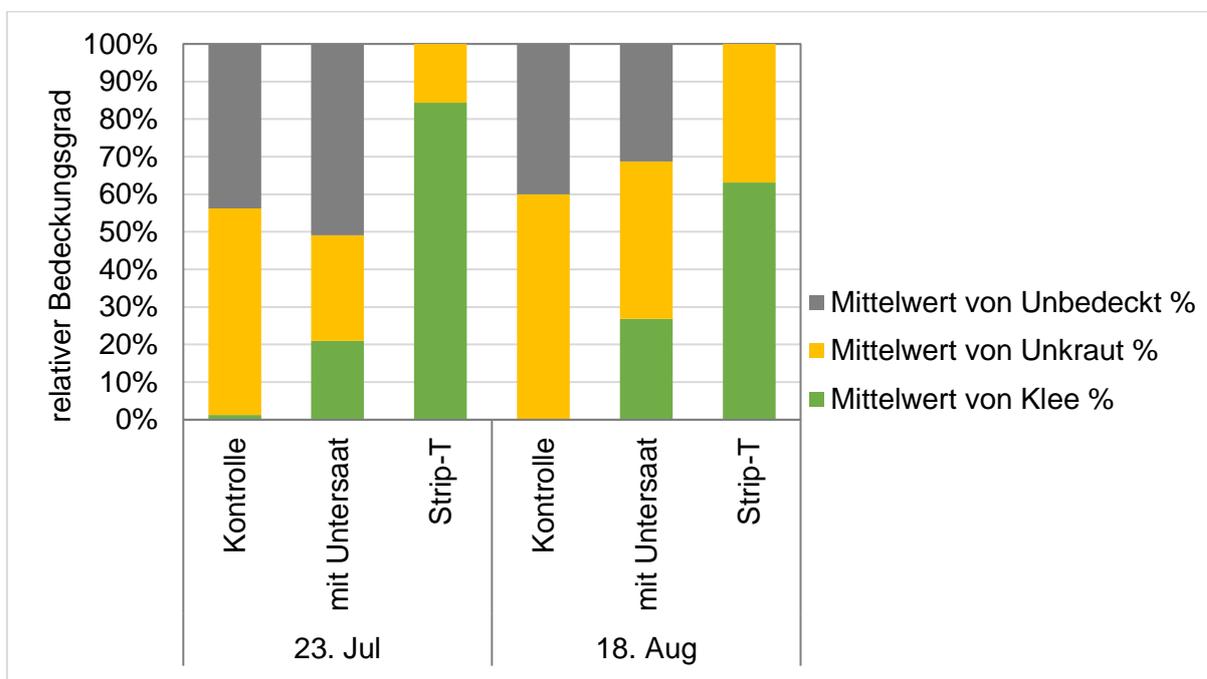


Abbildung 13: Mittelwert des relativen Zwischenreihen -Bedeckungsgrades von Klee; Unkraut und unbedeckte Fläche bezogen auf die Gesamtfläche des Bonitierahmens, der Bonituren der jeweiligen Variante zum Boniturdatum (n=4)

Die Bonituren am 23.06. und 18.08. wurden nach dem Bestandsschluss des Maises durchgeführt. Bonitiert wurde der Reihenzwischenraum unter den Maispflanzen. Die „Strip-T“- Variante wies eine 100 % Bedeckung auf. Der Kleeanteil lag am 23. Juni bei 84 %. Zum 2. Boniturtermin nahm die Spätverunkrautung zu und der Kleeanteil sank auf 63 %. Den schließenden Anteil nahm das Unkraut ein. Die Unkrautbedeckung durch Spätverunkrautung war in den Varianten „Kontrolle“ und „mit Untersaat“ deutlich höher, und betrug 60 % bzw. 42 %. Die Weißkleeuntersaat in der Variante „mit Untersaat“ schaffte eine relative Bedeckung von 27 % zum letzten Boniturtermin, unbedeckt blieben 31 %. Die „Kontrolle“ wies am 18.08. 40 % unbedeckter Boden im Reihenzwischenraum auf (Abbildung 13).

4.2 Bestandsdichte und Pflanzenhöhe

Die Bestandsdichte reichte von 7,3 bis 2,2 Pfl./m² über alle Bonituren hinweg. Das Ziel von acht Pflanzen je m² wurde somit nicht erreicht. Die mittlere Pflanzenzahl der Variante „mit Untersaat“ wies mit 5,53 Pfl./m² die höchste Bestandsdichte auf. Diese unterschied sich signifikant von der „Strip-T“ Variante mit 3,8 Pfl./m². Die Bestandsdichte der „Kontrolle“ hob sich nicht signifikant ab. Die Daten sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Mittelwert, Min. und Max. der Pflanzenanzahl [Anzahl/m²] der Varianten „Kontrolle“, „mit Untersaat“ und „Strip-T“ im Mittel der 3 Boniturtermine (N = 12), sowie Mittelwertvergleich (Tukey), $\alpha = 0,05$

Variante	n	Mittelwert	Untergrenze	Obergrenze	Min.	Max.
„Kontrolle“	12	4,8 ab	4,1	5,4	3,1	6,7
„mit Untersaat“	12	5,5 a	4,6	6,4	3,1	7,3
„Strip-T“	12	3,8 b	3,1	4,5	2,2	6,7

(Unterschiedliche Buchstaben weisen auf einen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten hin)

Die Bestandsdichte variierte zu den einzelnen Boniturterminen. Die Pflanzenzahl der „Strip-T“- Variante unterschied sich besonders stark zwischen dem ersten (18. Juni) und dem zweiten Boniturtermin (2. Juli). An diesem Termin besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der „Kontrolle“ (5,3 Pfl./m²) und der Variante „mit Untersaat“ (6,3 Pfl./m²) zur „Strip-T“ Variante (3,4 Pfl./m²) (Abbildung 14). Zum letzten Boniturtermin am 02. November zur Ernte des Maises wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Die Ergebnisse der einzelnen Bonituren werden in Abbildung 14 dargestellt.

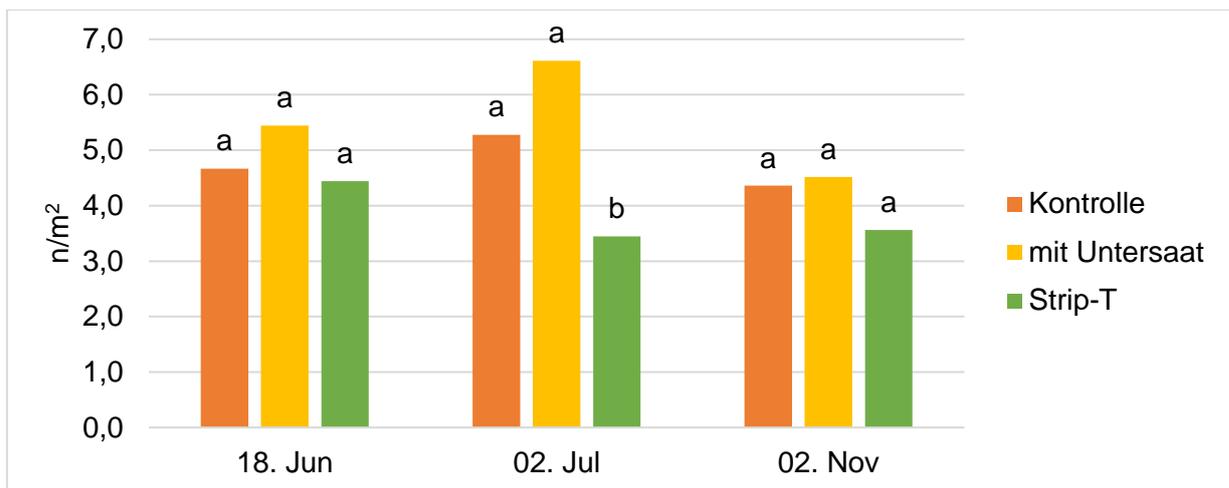


Abbildung 14: Mittelwert der Pflanzenanzahl pro m² der Varianten zu den Boniturterminen (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ Unterschiedliche Buchstaben weisen auf einen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten hin)

Die Pflanzenhöhe stieg mit fortlaufender Pflanzenentwicklung. Die höchsten Pflanzenhöhen wurden in den Varianten „Kontrolle“ und „mit Untersaat“ von 295 cm am 02.11. zur Ernte gemessen. Die „Strip-T“- Variante zeigte zur ersten Bonitur am 02.07.2021 mit 48,8 cm eine signifikant geringere Höhe, die Differenz zur „Kontrolle“ mit 73,3 cm betrug -28 cm Höhe. Dieser Wachstumsrückstand vergrößerte sich noch während der Vegetationsperiode auf 84 cm bis zur Ernte des Mais. Die mittlere Pflanzenhöhe der „Strip-T“- Variante war zu jeder Bonitur signifikant niedriger, was die visuellen Beobachtungen auf dem Feld bestätigten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 angegeben.

Tabelle 11: Mittelwert, Min. und Max. der Pflanzenhöhen [cm] der Varianten „Kontrolle“, „mit Untersaat“ und „Strip-T“ (N = 4) zu den Boniturterminen, sowie Mittelwertvergleich (Tukey), $\alpha = 0,05$

Datum	Variante	N	Mittelwert	Min	Max
02.07.2021	„Kontrolle“	4	73,3 a	57,5	87,5
	„mit Untersaat“	4	73,2 a	55,0	86,3
	„Strip-T“	4	45,2 b	37,0	48,4
23.07.2021	„Kontrolle“	4	210,3 a	192,5	231,5
	„mit Untersaat“	4	206,9 a	190,0	230,0
	„Strip-T“	4	131,3 b	111,3	148,8
02.11.2021	„Kontrolle“	4	268,1 a	245,0	295,0
	„mit Untersaat“	4	279,4 a	247,5	295,0
	„Strip-T“	4	184,4 b	172,5	197,5

(Unterschiedliche Buchstaben weisen auf einen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten hin)

4.3 Sprossmasse Mais und oberirdischer Biomasseaufwuchs

Der Gesamt-Biomasseaufwuchs (Abbildung 15) und der N-Ertrag der Biomasse pro Hektar ist eng gekoppelt an die Bestandsentwicklung des Mais. Die Spross-Erträge in der der „Strip-T“- Variante (99,6 dt TM/ha) waren in der Gesamt- TM signifikant ($p = < 0,01$) geringer. Die Variante „mit Untersaat“ erreicht den höchsten TM Ertrag von 254,4 dt/ha. Dieser unterschied sich nicht signifikant von der „Kontrolle“ (226,0 dt TM/ha). Betrachtet man die TM- Anteile partiell, waren statistische Unterschiede zwischen den Pflanzenbestandteilen Kolben und Restpflanze unter den Varianten am größten. In diesen war der Sprossmasseertrag der „Strip-T“- Variante wieder deutlich geringer. Der Restpflanzen TM-Ertrag lag bei nur 32,2 dt TM/ha. Das war mit einer Signifikanz von $p = 0,01$ zu den Varianten „Kontrolle“ (95,3 dt/ha) und „mit Untersaat“ (114,0 dt TM/ha) statistisch abgesichert. Der TM-Ertrag des Kolbens bei „Strip-T“ ist ähnlich stark vermindert mit 72,42 dt TM/ha weniger im Vergleich zur „Kontrolle“. Dies ist ebenso hoch signifikant mit einem Wert von $p = 0,01$. Der TM-Ertrag des Unkrautbesatzes unterscheidet sich nicht wesentlich in den Varianten, obwohl in der Messung des Bedeckungsgrades auf den „Strip-T“-Parzellen eine geringere Unkrautdicke bonitiert wurde. Die Unkrautmasse war in allen Varianten im Vergleich zu den anderen Pflanzenanteilen sehr gering mit 19,3 dt TM/ha („Kontrolle“), 7,3 dt TM/ha („mit Untersaat“) und 17,2 dt TM /ha („Strip-T“). Die Kleebedeckung in der Untersaat sowohl als Unterkultur im „Strip-T“ erreichte nur sehr geringe TM-Erträge trotz eines optisch starken Bestands. Mit 0,3 dt TM/ha war der Kleeanteil in der Untersaat verschwindend gering. Im „Strip-T“- Verfahren erreichte die Unterkultur 12,2 dt TM/ha. Damit ist der Kleeanteil signifikant höher im Vergleich zu den anderen Varianten. Im Gesamt-Biomasseertrag der Parzellen nimmt dieser jedoch einen sehr kleinen Anteil ein.

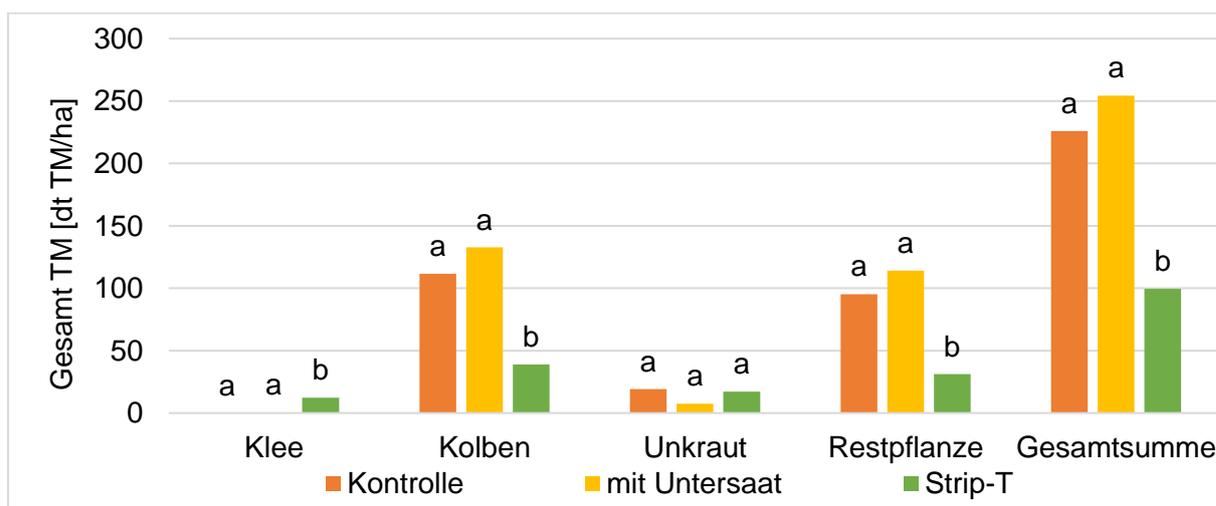


Abbildung 15: Gesamtertrag der oberirdischen Biomasse in dt TM/ha in den Varianten „Kontrolle“, „mit Untersaat“ und „Strip-T“ für die Pflanzenbestandteile und der Summe der Bestandteile (Tukey-Test, verschiedene Buchstaben geben einen signifikanten Unterschied in den Gruppen an, $\alpha = 0,05$) ($n = 4$)

In Abbildung 16 ist die N-Menge in der oberirdischen Biomasse in den untersuchten Varianten dargestellt. In Summe aller Bestandteile wurde der höchste N-Ertrag im Mais „mit Untersaat“ erreichen. Diese Variante hatte den höchsten Biomasseertrag und hat 262,2 kg N/ha gebunden. Eine ähnlich hohen Biomasseertrag erreichte die „Kontrolle“ mit 247,4 kg N/ha. Einen signifikant geringeren N-Menge leistete die „Strip-T“- Variante mit 147,8 kg N/ha ($p = <0,01$). Der Weißklee als Unterkultur konnte einen Stickstoffertrag von 33,6 kg N/ha in der Biomasse, im Zeitraum vom letzten Mulchen bis zur Zwischenernte binden. In der Variante „mit Untersaat“ war der Stickstoffertrag der Untersaat bis zur Zwischenernte mit 0,6 kg/ha. sehr gering. Der gebundene Stickstoff im Unkraut unterschied sich nicht signifikant und lag in Höhe der N-Menge in der oberirdischen Biomasse des Weißklee von 37,6 kg N/ha in der „Kontrolle“ und 34,6 kg N/ha im „Strip-T“. Durch den geringen Unkrautbesatz in der Variante „mit Untersaat“ war der N-Ertrag zudem am geringsten. Der meiste Stickstoff wurde in den Kolben gebunden mit 123,1 kg N/ha in der „Kontrolle“. 50,5 kg N/ha konnten die „Strip-T“ Variante in der Biomasse festlegen und unterschied sich damit signifikant. Der in der Restpflanze gespeicherte Stickstoff lag in der „Kontrolle“ bei 86 kg N/ha. Zur „mit Untersaat“ Variante bestand kein signifikanter Unterschied. Diese konnte einen etwas höheren N-Ertrag erzielen. Bei der „Strip-T“ Bearbeitung wurde signifikant weniger Stickstoff in der Restpflanze gespeichert was zudem auf die geringen TM-Erträge zurückzuführen ist.

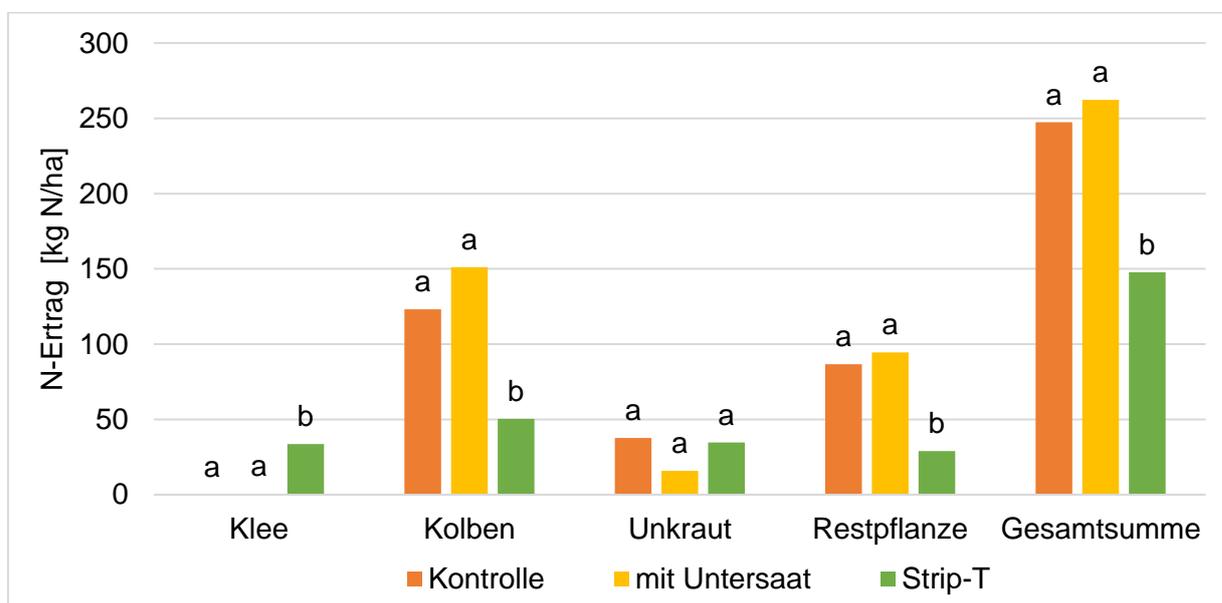


Abbildung 16: N-Ertrag der Versuchsvarianten in Bezug auf die Einzelbestandteile und der Gesamtleistung (Tukey-Test, verschiedene Buchstaben geben einen signifikanten Unterschied in den Gruppen an, $\alpha = 0,05$) ($n = 4$)

Die C/N- Verhältnisse der einzelnen Biomasseschnitte unterscheiden sich nicht wesentlich zwischen den Versuchsvarianten (Abbildung 17). Es gibt eine Tendenz, dass in den Pflanzen in der „Strip-T“ Variante ein etwas geringeres C/N Verhältnis im Vergleich zu den anderen Pflanzen vorlag. Im Mittel der einzelnen Partien liegt das C/N- Verhältnis zwischen 37 in der „Kontrolle“ und 30 in der „Strip-T“ Variante. Das geringste C/N- Verhältnis wies der Weißklee, mit einem Verhältnis von 14 bis 16, auf. Das C/N-Verhältnis vom Unkraut lag bei 22 („Kontrolle“). Die Kolben und die Restpflanze besaßen einen deutlich höheres C/N von 41 (Kolben) und 50 (Restpflanze) in der „Kontrolle“. Das C/N-Verhältnis der anderen Varianten war auf ähnlichem Niveau.

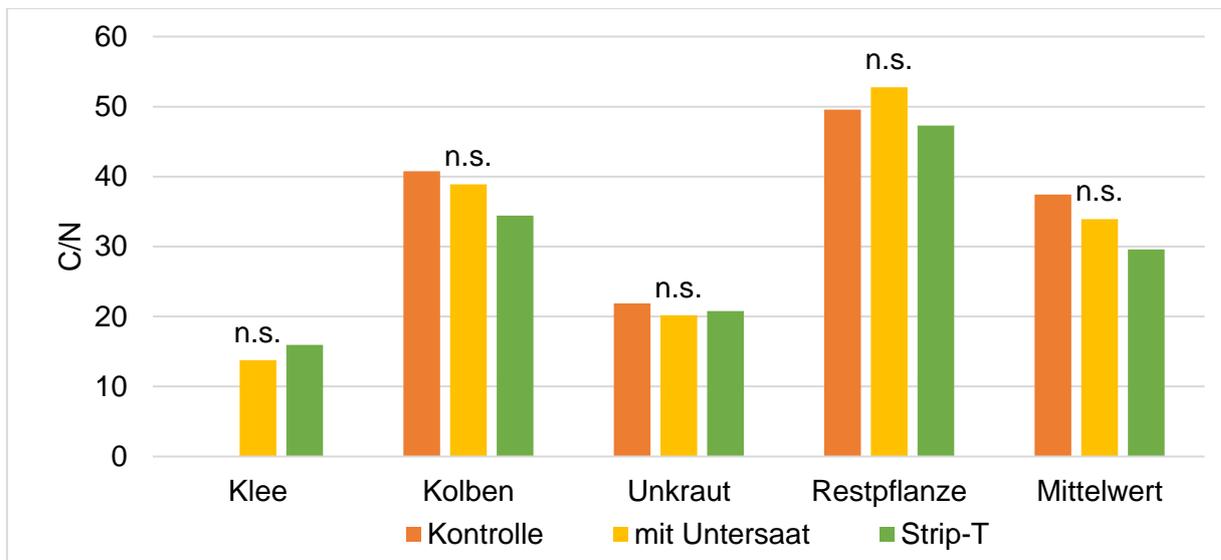


Abbildung 17: C/N- Verhältnis der Versuchsvarianten in Bezug auf die Einzelbestandteile und der Gesamtmittelwert (Tukey-Test keine signifikanten Unterschiede (n.s.) bei $\alpha = 0,05$) ($n = 4$)

Der Aufwuchs der „Strip-T“- Variante, der vor dem ersten Mulchdurchgang ermittelt wurde, kann der Variante im Biomasseaufwuchs angerechnet werden. Dadurch kann die Gesamtbindungsleistung der oberirdischen Biomasse der Variante während des gesamten Vegetationszeitraum erfasst werden. Von der Saat des Weißkleees im Herbst 2020 bis zum Mulchdurchgang am 05. Mai 2021, konnten 20,9 dt TM/ha Aufwuchs im Versuchsjahr erreicht werden. 11,1 dt TM/ha waren dabei Klee, die Restlichen 9,8 dt TM, die fast 50% der Masse ausmachten war der starke Unkrautbesatz vor dem ersten. Mulchdurchgang. In Summe hat die Fläche von vor der Saat bis zum Mulchdurchgang 48,6 kg N/ha gebunden. Der Klee hat 20,6 kg N/ha in seiner Biomasse aufgenommen. Das Unkraut nahm den größeren Anteil, mit 28,0 kg N/ha, ein. Wird der N-Ertrag vom ersten Schnitt, dem zweiten Biomasseschnitt mit angerechnet, erreicht man eine Gesamtsumme 196,4 kg N/ha. Die signifikanten Unterschiede im N-Ertrag der Varianten verändern sich dadurch. Die Variante „mit Untersaat“ besitzt einen leicht signifikant

höheren N-Ertrag mit $p = 0,02$ als die „Strip-T“ Variante. Die „Kontrolle“ weist keine signifikanten Unterschiede zum „Strip-T“ auf (Abbildung 18).

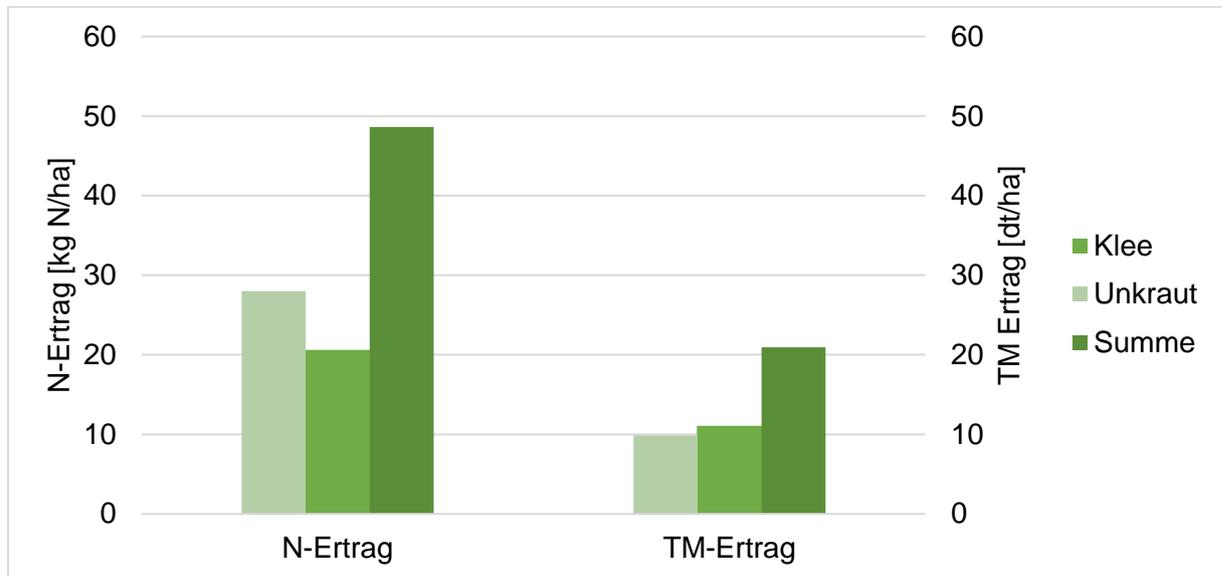


Abbildung 18: Mittlerer N-Ertrag und TM- Ertrag des 1. Biomasseschnitt am 05.05.2021 vor dem 1. Mulchdurchgang (n = 4)

4.4 Kornertrag

Die Ertragsstruktur der betrachteten Anbauverfahren unterschied sich besonders in den Kolbengewichten (Abbildung 20). Der Mittelwert dieser lag in der Variante „Kontrolle“ mit betriebsüblichem Anbau bei 185,1 g/Kolben. Die ausgebrachte Untersaat in Variante „mit Untersaat“ hatte keinen signifikanten Einfluss auf das Kolbengewicht und erbrachte mit 194,2 g/Kolben ein ähnlich hohes Niveau wie die „Kontrolle“. Das „Strip-T“-Anbauverfahren hat deutlich geringere TM-Gewichte der Kolben erzielt. 131,4 g/Kolben erbrachte diese Variante, das war zu den Versuchspartnern bei einem Signifikanzniveau von $p = 0,2$ signifikant. Die Kolbenanzahl pro Pflanze (Abbildung 19) unterschied sich nicht signifikant voneinander und lag im Mittel zwischen 1,1 Kolben und 1,0 Kolben pro geerntete Pflanze. Die Kolben Anzahl pro Quadratmeter (Abbildung 21) war in der „Strip-T“ Variante geringer kann, aber nicht signifikant bestätigt werden. Die Tendenz besteht jedoch mit $p = 0,13$. Die Streuung der Werte und somit eine hohe Standardabweichung lässt den Unterschied nicht statistisch absichern. Die „Kontrolle“ und die Variante „mit Untersaat“ erreichten fast gleiche Werte mit 30,5 und 29,5 Kolben. Die „Strip-T“-Variante hat nur 21,5 Kolben im Mittel auf dem Quadratmeter. Die Standardabweichung von 6,2 ist damit sehr hoch in der „Strip-T“ Variante.

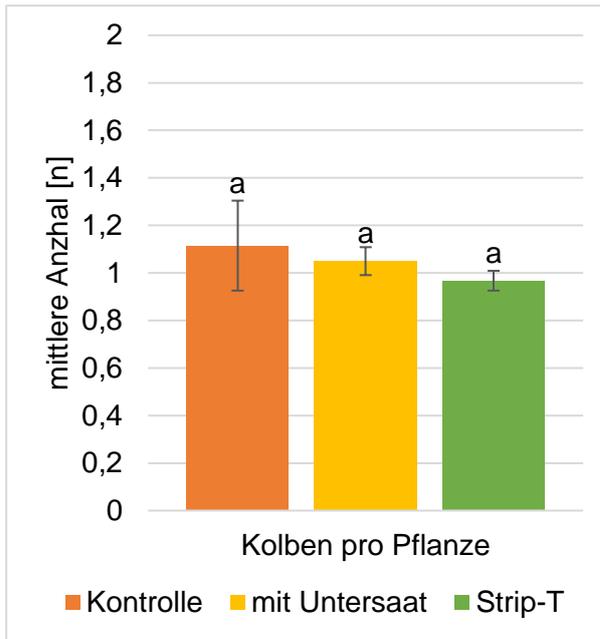


Abbildung 19: Mittlere Kolbenanzahl pro Pflanze der Versuchsglieder (Einfaktorielle Varianzanalyse Tukey-Test ungleiche Buchstaben signifikanten Unterschied, $\alpha = 0,05$)

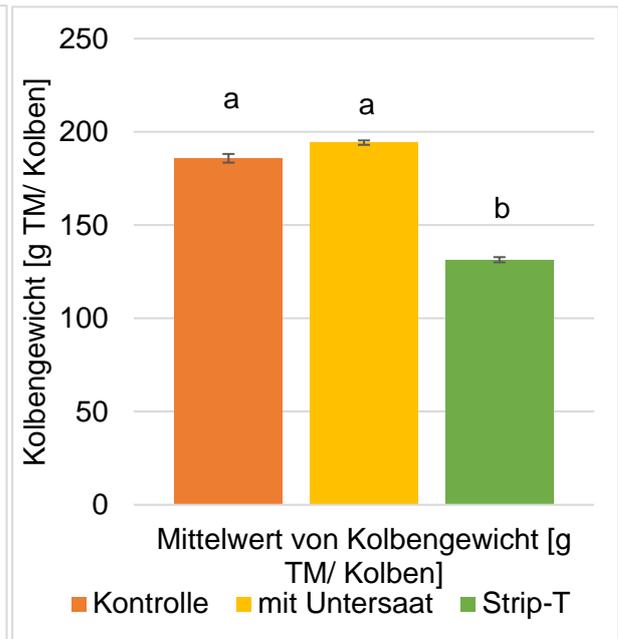


Abbildung 20: Mittlere Kolbengewichte [g TM/Kolben] (Einfaktorielle Varianzanalyse Tukey-Test ungleiche Buchstaben signifikanten Unterschied, $\alpha = 0,05$)

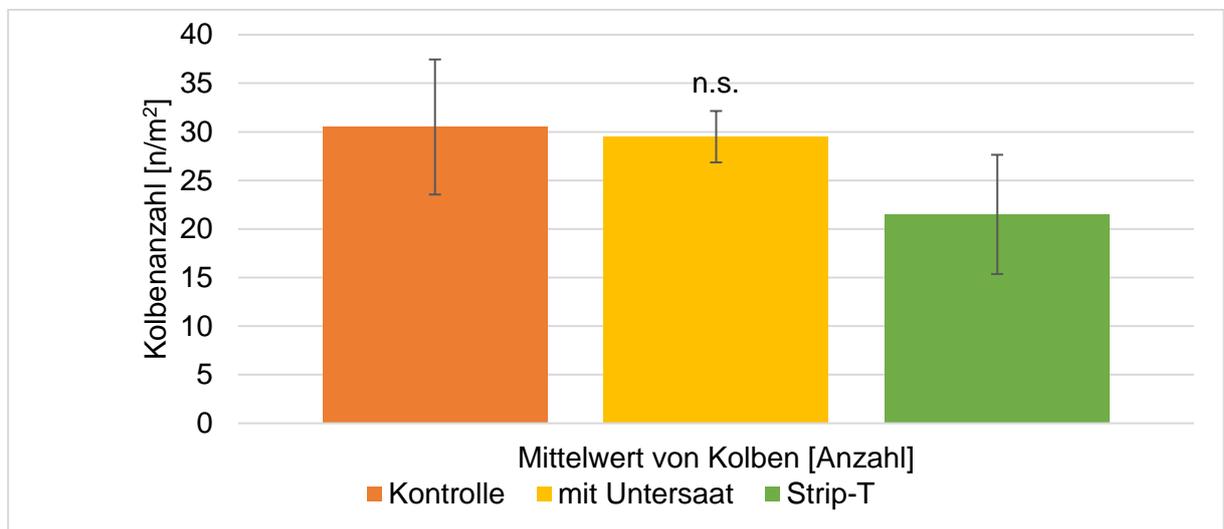


Abbildung 21: mittlere Kolbenanzahl pro m^2 der Versuchsglieder (Einfaktorielle Varianzanalyse Tukey-Test $\alpha = 0,05$) (n= 4)

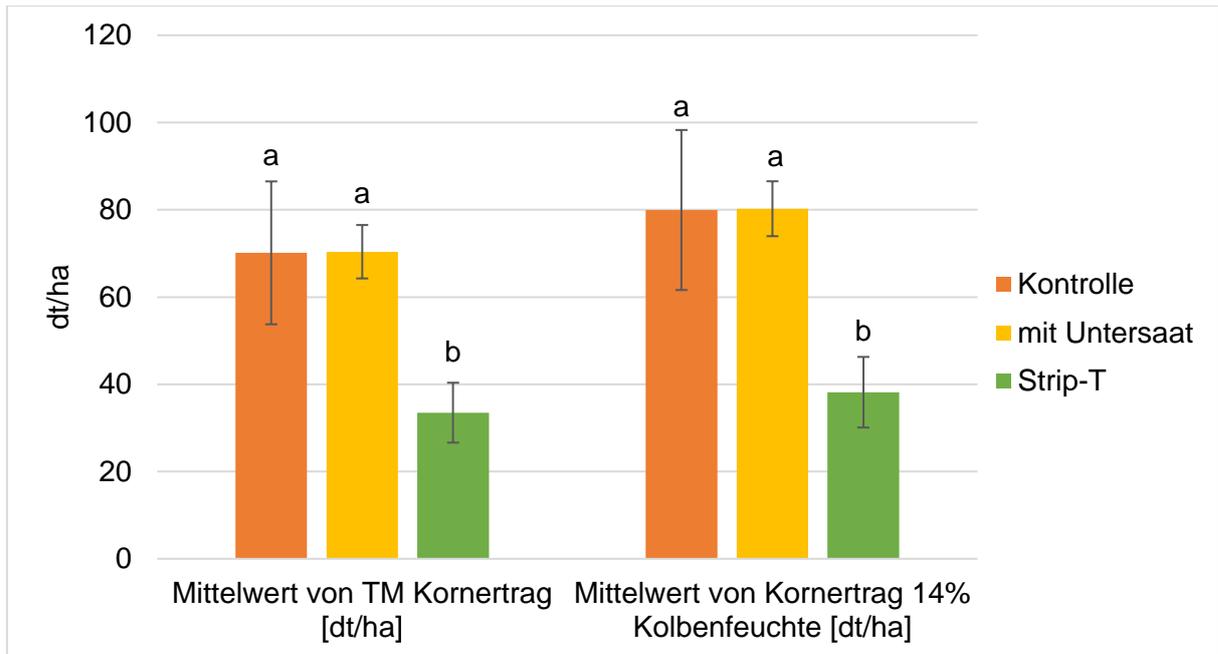


Abbildung 22: TM-Kornertrag und Kornertrag bei 14% feuchte der Versuchsvarianten „Kontrolle“, „mit Untersaat“ und „Strip-T“, Einfaktorielle Varianzanalyse (Tukey-Test verschiedene Buchstaben geben einen signifikanten Unterschied in den Gruppen an $\alpha = 0,05$) ($n = 4$)

Die Ergebnisse aus der Ertragsstruktur spiegeln den Kornertrag wider (Abbildung 22). Die „Strip-T“-Variante war mit 33,5 dt/ha TM-Ertrag, signifikant geringer. Das Signifikanzniveau lag zur „Kontrolle“ bei $p = 0,3$ und zur Untersaat bei $p = 0,2$, welche einen guten TM- Kornertrag von 70,1 dt/ha („Kontrolle“) und 70,4 dt/ha („mit Untersaat“) erzielen konnten. Hoch gerechnet auf die Trockenfeuchte von 14%, lagen die Kornerträge für die „Kontrolle“ bei 70,0 dt/ha. Die „mit Untersaat“ Variante erreichte leicht höhere Erträge von 80,2 dt/ha. Der „Strip-T“ Anbau zeigte sich deutlich geringer mit 38,2 dt/ha im Vergleich zu den Versuchspartnern.

4.5 Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte unterlag sehr hohen Schwankungen zwischen den Versuchsterminen und in den einzeln untersuchten Bodentiefen. Es konnten in den Bodenfeuchteuntersuchungen dennoch signifikante Unterschiede in den „Strip-T“-Parzellen und der Kontroll-Variante erfasst werden. Die Variante „mit Untersaat“ wurde nicht mit untersucht. Die analysierte pflanzenverfügbare Wassermenge in Liter im Mittel aller Beprobungstermine erreichte für alle untersuchten Bodentiefen im 10 cm Raster bis 60 cm Bodentiefe einen signifikanten Unterschied (Abbildung 23). Die „Strip-T“-Variante enthielt über alle Bodentiefen hinweg im Mittel weniger Bodenfeuchtigkeit als die Kontrollvariante. Die Bodenfeuchtigkeit der Schichten lag im Mittel zwischen 24 Liter bis 31 Liter in der „Kontrolle“, Die „Strip-T“ Variante hatte eine geringe

Bodenfeuchte von 17 Liter bis maximal 22 Liter in der Bodenschicht 20 bis 30 cm. In Summe der Bodenschichten von 0 cm bis 60 cm wurden mittlere Wassergehalte von 169 Liter in der Variante „Kontrolle“ gemessen. Das pflanzenverfügbare Wasser der „Strip-T“- Variante war mit 115 Liter signifikant geringer.

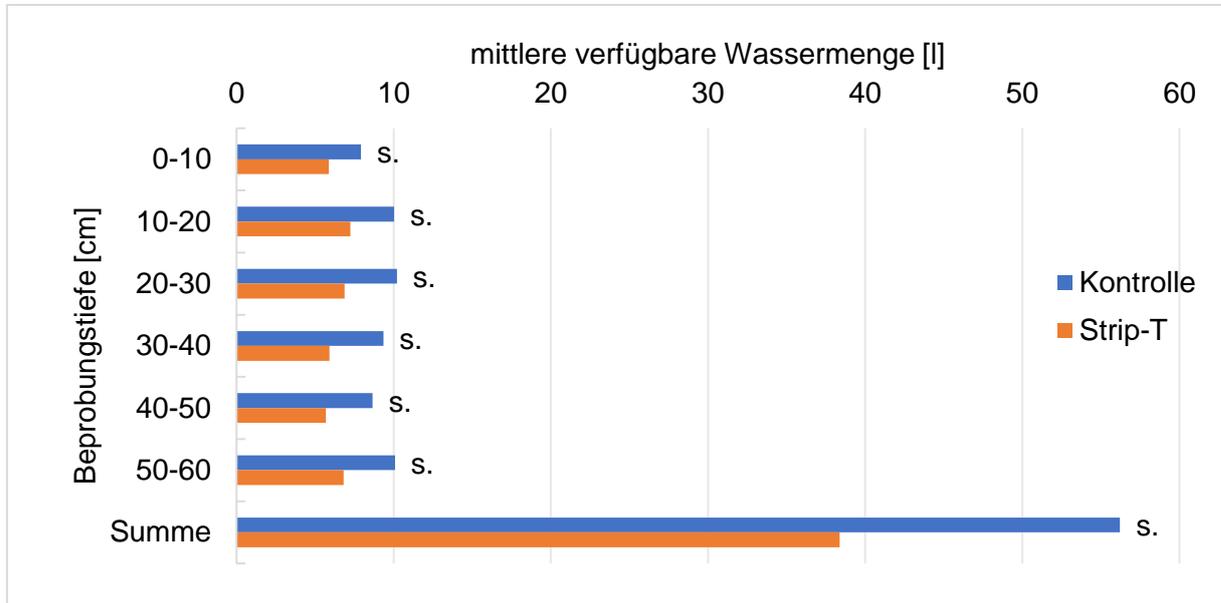


Abbildung 23: Pflanzenverfügbare Wassermenge [Liter /m²] in den Bodentiefen 0-60 cm und in Summe für die Versuchsvarianten „Kontrolle“ und Strip -T (s. für signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 16)

Am 03. Juni unterschieden sich die Bodenfeuchten in den Beprobungstiefen 0-10 cm, 30-40 cm und 40-60 cm nicht signifikant (Abbildung 24). Signifikante Unterschiede konnten in den übrigen Bodenschichten festgestellt werden. Die geringste Bodenfeuchte war in den ersten 10 cm Boden in beiden Varianten zu verzeichnen, mit 22 Liter in der „Kontrolle“ und 20 Liter pro m² in der „Strip-T“ Variante. In den Bodenschichten 10-20 cm und 20-30 cm war zum Beprobungszeitpunkt der höchste Wassergehalt. Die „Kontrolle“ erreichte in der Bodentiefe 20-30 cm 37 l/m², die „Strip-T“-Variante mit 28 l/m² signifikant weniger. Die „Strip-T“-Variante zeigte besonders in der Bodentiefe 50-60 cm geringere Werte und lag zum Beginn der Vegetation des Maises bei 20 Liter pflanzenverfügbaren Wassers. Zur „Kontrolle“ bestand somit ein Defizit von 12 Liter in dieser Bodenschicht.

Zum 2. Beprobungstermin am 18.06.2021 waren in den ersten vier Bodenschichten von 0 cm bis 40 cm signifikante Unterschiede zu verzeichnen (Abbildung 25). Die ersten 10 cm besaßen die niedrigste Bodenfeuchte. Besonders die „Strip-T“- Parzellen zeigten mit 12 l/m² in der Bodenschicht sehr geringe Werte. 28 l/m² wurden in der Variante „Kontrolle“ gemessen. Die „Strip-T“ Variante erreichte zu diesem Beprobungstermin die höchste Bodenfeuchte, in den letzten beiden Bodenschichten 40-50 cm (22 l/m²) und 50-60 cm (26 l/m²). Der Unterschied

zwischen den Varianten war in der Tiefe nicht mehr signifikant. Die Parzellen der „Kontrolle“ erreichten den höchsten pflanzenverfügbaren Wassergehalt in der Bodenschicht 20-30 cm mit 38,90 l/m².

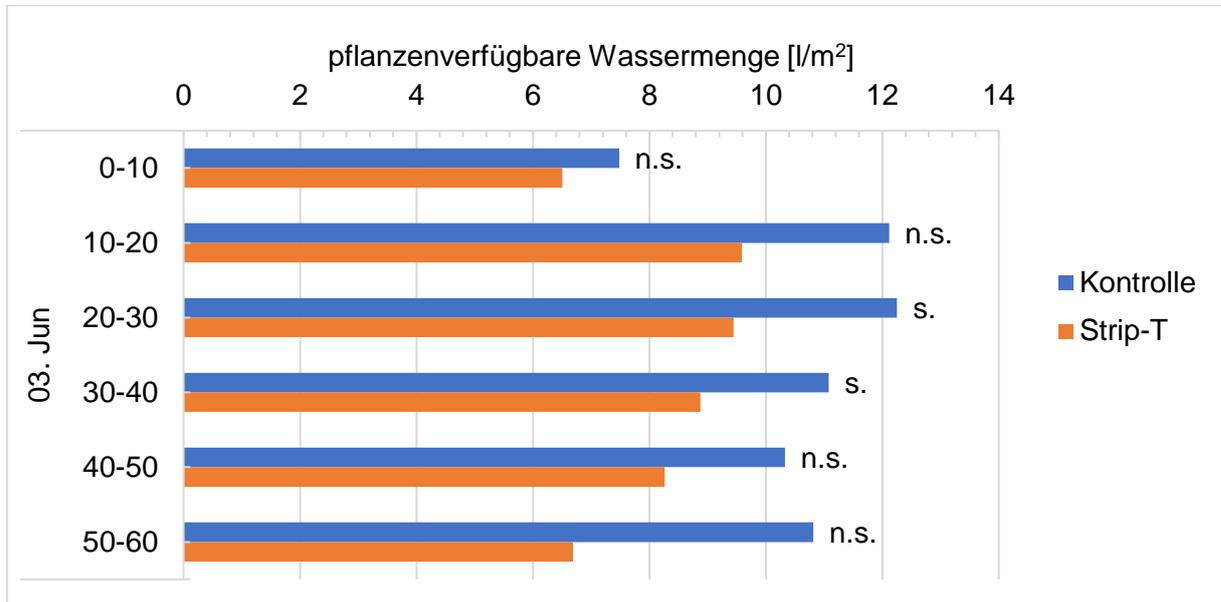


Abbildung 24: pflanzenverfügbare Wassermenge [Liter /m²] in den Bodentiefen 0-60 cm am 03.06.2021 für die Versuchsvarianten „Kontrolle“ und „Strip-T“ (s. für signifikant und n.s. für nicht signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 4)

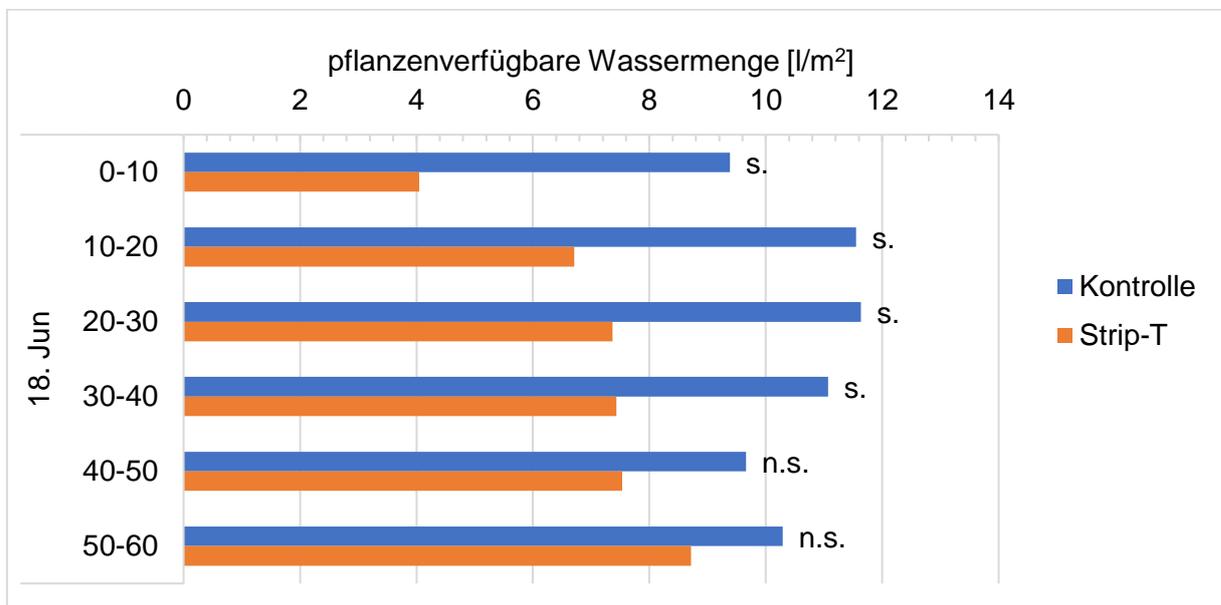


Abbildung 25: pflanzenverfügbare Wassermenge [Liter/m²] in den Bodentiefen 0-60 cm am 18.06.2021 für die Versuchsvarianten „Kontrolle“ und „Strip-T“ (s. für signifikant und n.s. für nicht signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 4)

Am 01. Juli, während des Bestandsschlusses, wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten in den ersten 10 cm Boden festgestellt (Abbildung 26). Die pflanzenverfügbare Wassermenge lag bei 22 l/m^2 in der „Kontrolle“, was in dieser Variante den niedrigsten Wert zum Beprobungszeitpunkt darstellt. Die „Strip-T“-Variante ist mit 17 l/m^2 nicht signifikant geringer. In den Bodentiefen von 10 cm bis 50 cm zeigten die Messergebnisse signifikante Unterschiede in der Bodenfeuchte. In der Kontrollvariante war die pflanzenverfügbare Wassermenge mit Werten zwischen 31 l/m^2 und 29 l/m^2 auf ähnlichem Niveau. Die Bodenfeuchte der „Strip-T“-Variante lag zwischen 19 l/m^2 und 15 l/m^2 . Der höchste Wassergehalt war in beiden Varianten in 50 bis 60 cm zu verzeichnen. 35 l/m^2 erreichte die Kontrollvariante, diese unterschied sich in dieser Bodenschicht nicht signifikant von Parzellen der Streifensaat.

Der letzte Beprobungstermin der Messreihe zur Bodenfeuchte am 23.07.2021, fand während Ende des Rispschiebens, kurz vor der Blüte des Maises (Abbildung 27) statt. Hier konnten kaum noch signifikante Unterschiede in der Bodenfeuchte festgestellt werden. Die pflanzenverfügbare Wassermenge der „Strip-T“-Variante war zum Termin stetig geringer als die der „Kontrolle“, einen signifikanten Unterschied konnte nur in der Bodentiefe 40 cm bis 60 cm festgestellt werden. Dort waren nur 3 l/m^2 pflanzenverfügbares Wasser im Boden vorhanden. In der „Kontrolle“ waren 14 l/m^2 gespeichert. Die pflanzenverfügbaren Wassermengen in den ersten 30 cm unterschieden sich zwischen den Varianten kaum. Die „Kontrolle“ lag zwischen 19 l/m^2 und 22 l/m^2 .

17 l/m^2 bis 21 l/m^2 Wasser hatte die „Strip-T“-Variante im Boden gespeichert. In 50-60 cm Tiefe war ein deutlicher Unterschied im Bodenwassergehalt festzustellen „Strip-T“: $11,5 \text{ l/m}^2$ und „Kontrolle“: 23 l/m^2 . Jedoch war dieser mit $p = 0,09$ nicht signifikant.

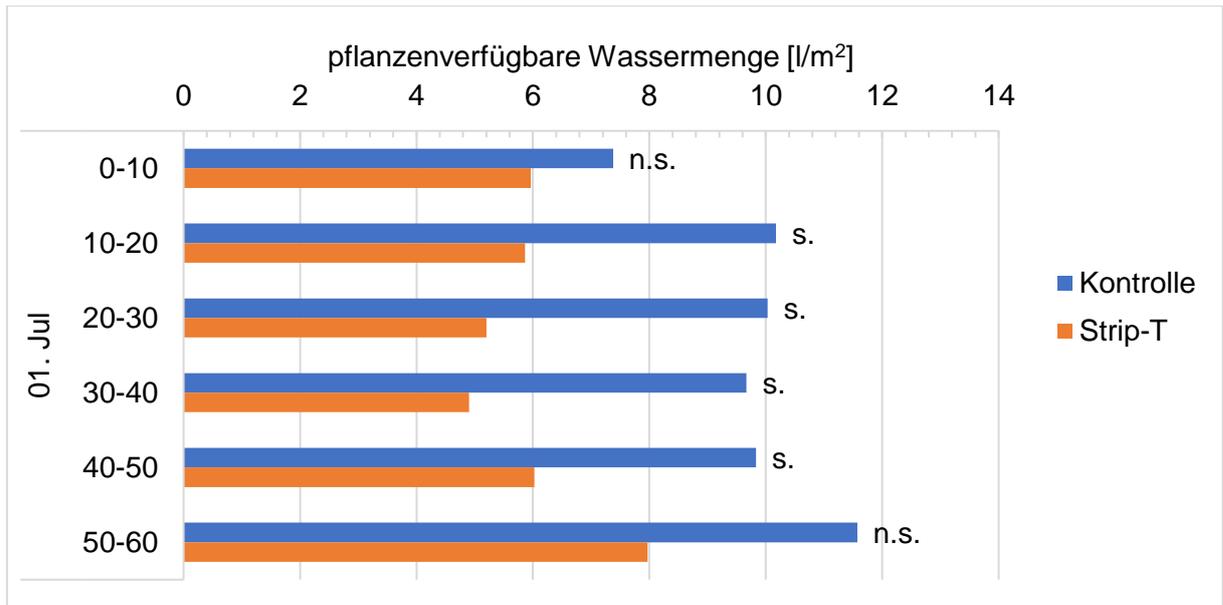


Abbildung 26: pflanzenverfügbare Wassermenge [Liter /m²] in den Bodentiefen 0-60 cm am 01.07.2021 für die Versuchsvarianten „Kontrolle“ und „Strip-T“ (s. für signifikant und n.s. für nicht signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 4)

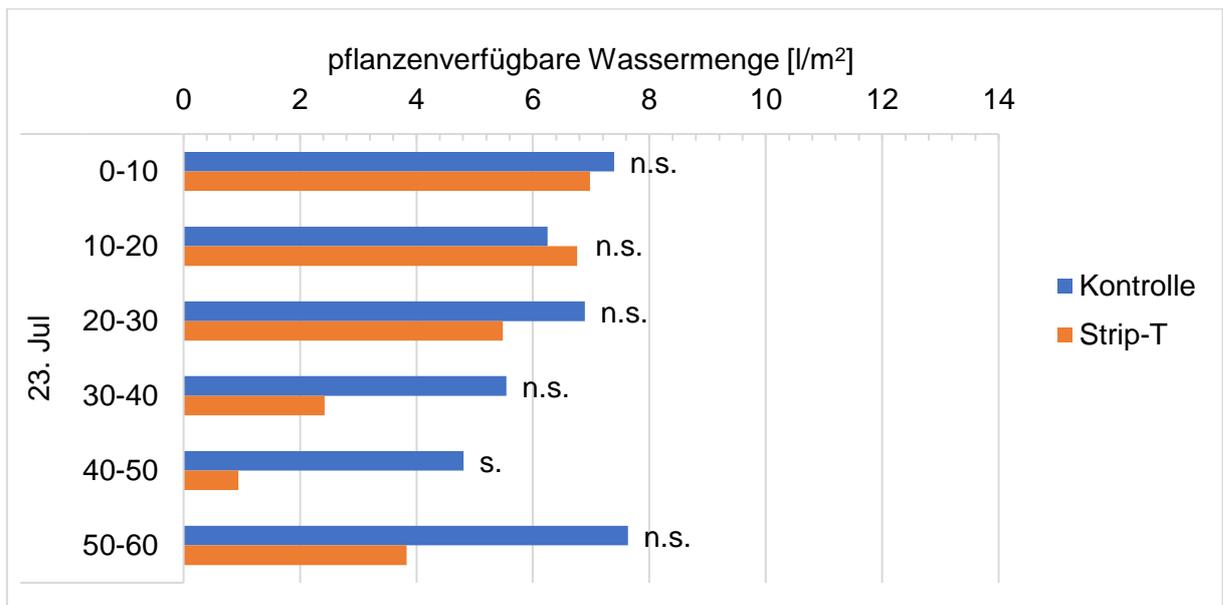


Abbildung 27: pflanzenverfügbare Wassermenge [Liter /m²] in den Bodentiefen 0-60 cm am 23.07.2021 für die Versuchsvarianten „Kontrolle“ und „Strip-T“ (s. für signifikant und n.s. für nicht signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 4)

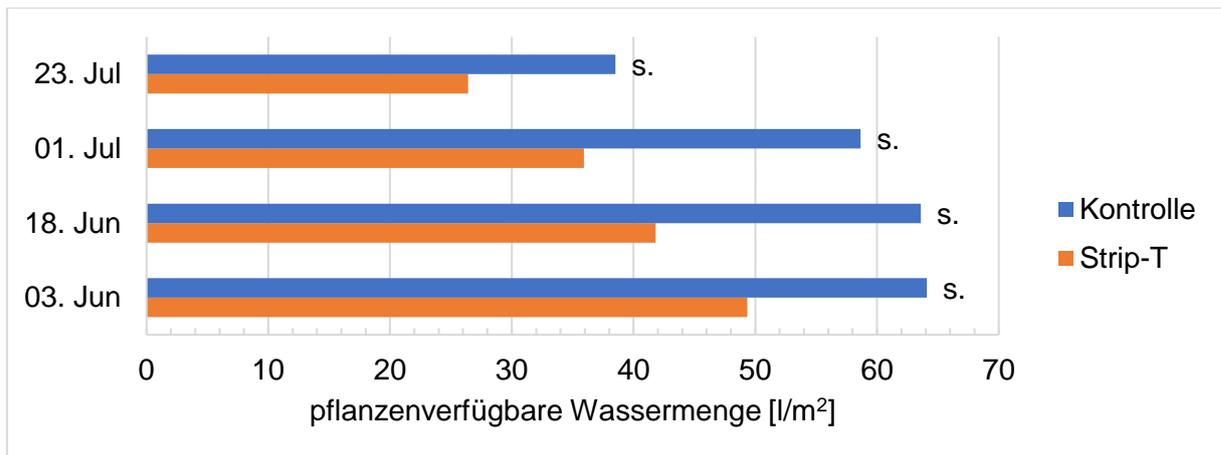


Abbildung 28: mittlere pflanzenverfügbare Wassermenge [Liter /m²] in Summe der Beprobten Schicht bis 60 cm der Versuchsvarianten „Kontrolle“ und „Strip-T“ (s. für signifikant und n.s. für nicht signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) (n = 4)

Die im Boden gehaltene Wassermenge der beiden Varianten, in Summe der beprobten Bodentiefe bis 60 cm ist für die einzelnen Beprobungstermine in Abbildung 28 dargestellt. Im Mittel konnte die Variante „Kontrolle“ 169 l/m² im Boden gehalten werden. Die „Strip-T“ Variante hatte zu allen Beprobungsterminen einen signifikant niedrigeren Wassergehalt. Im Mittel der Termine erreichte die Variante 115 l/m².

Am 3. Juni zur ersten Probennahme hatte der Boden 148 l/m² („Strip-T“) und 192 l/m² („Kontrolle“) gespeichert. Im Laufe der Vegetation nahm der Bodenwassergehalt ab. Zum zweiten Termin hatte die „Kontrolle“ noch einen hohen Wassergehalt von 190 l/m². In der „Strip-T“-Variante betrug das verfügbare Bodenwasser nur 125 l/m².

Am 1. Juni nach Bestandsschluss hatte die „Kontrolle“ 176 l/m² im Boden gespeichert. Der „Strip-T“ Mais hatte im Boden 108 Liter zur Verfügung. Zum Letzten Termin, kurz vor der Blüte des Mais war das verfügbare Bodenwasser also stark gesunken. Der „Kontrolle“ standen zu dem Zeitpunkt 116 l/m² im Boden zur Verfügung. Die Streifensaat hatte 79 l/m² in den ersten 60 cm Boden zur gespeichert.

4.6 N_{\min} -Bodenvorrat

Die Untersuchungen zum N_{\min} -Gehalt des Bodens, zeigten einen hohen Stickstoffvorrat im Boden zur Anlage des Versuchs am 09.04.2021 (Abbildung 29). Der N_{\min} -Gehalt in Summe der beprobten Bodenschichten 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm lag bei 97 kg N/ha. Den größten Bestandteil bildete davon der leicht lösliche Nitrat-Stickstoff (NO_3^-) mit 90 kg/ha. Der Ammoniumstickstoff (NH_4^+) lag mit 7 kg/ha in nur sehr geringem Anteil vor. Der größte Stickstoffanteil lag zum Beprobungszeitpunkt im Bereich 30-60 cm Bodentiefe. 58 kg N/ha wurden in dieser Bodenschicht ermittelt. In den obersten 30 cm Boden standen 27 kg N/ha den Pflanzen zur Verfügung. Nur sehr geringe N_{\min} -Gehalte waren in der untersten Bodenschicht 60-90 cm, zu verzeichnen. In dieser trat zugleich der höchste NH_4^+ -Gehalt auf (3 kg/ha) auf. Der gesamt mineralisierte Stickstoffgehalt in dieser Schicht lag bei 11 kg N/ha.

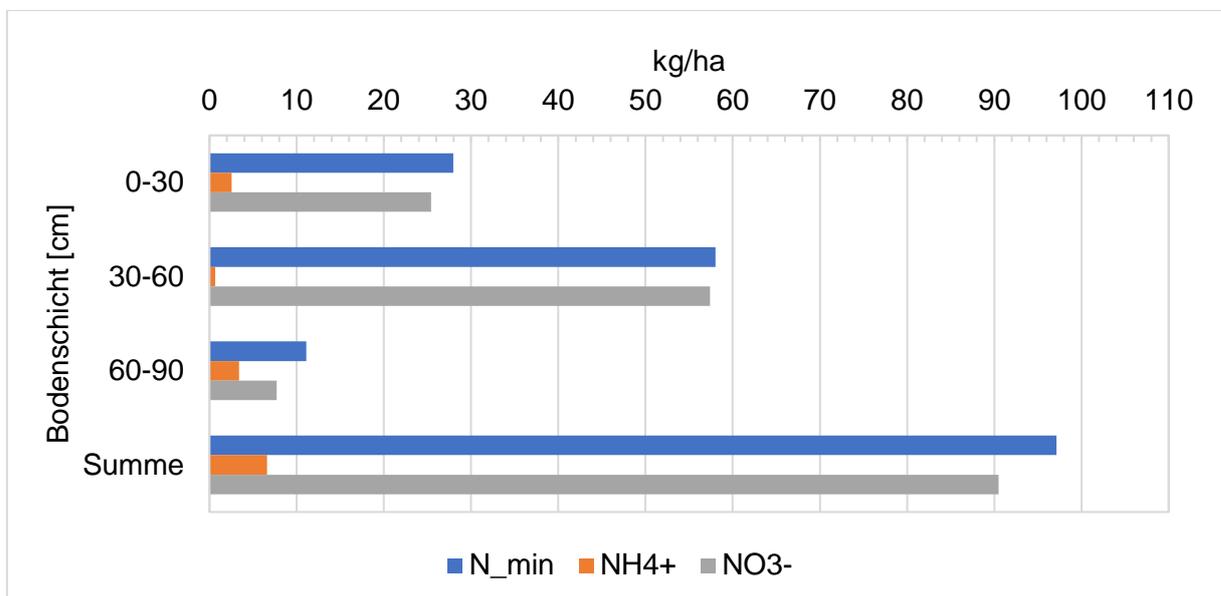


Abbildung 29: N_{\min} -Bodenuntersuchung vom 09.04.2021 Mischprobe der Versuchsfläche zur Anlage des Versuchs (n = 1)

In der Betrachtung der N_{\min} -Gehalte der einzelnen Versuchsvarianten „Strip-T“, „mit Untersaat“ und die „Kontrolle“ zum EC -Stadium 85-87 am 07.09.2021, konnten in einer Bodenschicht signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abbildung 30). Die „Strip-T“-Variante zeigte mit 20 kg N/ha in der ersten Bodenschicht 0-30 cm signifikant höhere Werte wie die Kontrollvariante (13 kg N/ha). Zur Variante „mit Untersaat“ (15 kg N/ha) bestand kein signifikanter Unterschied bei diesem Beprobungstermin. In den tieferen Bodenschichten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. In der Bodenschicht 30-60 cm war der Stickstoffgehalt in der Bodenlösung zur Start - Untersuchung im April deutlich geringer. Der N_{\min} -Gehalt aller Varianten lag, mit 7 kg N/ha in der „Kontrolle“, und mit 8 kg N/ha in der Variante „mit Untersaat“ sehr nah beieinander.

In der oberen oberen Bodenschicht war der Stickstoffgehalt im September deutlich reduziert. In 60-90 cm Tiefe kam es zu einer Konzentration des Stickstoffs in allen Varianten. Die Strip-T -Variante besaß den höchsten N_{\min} -Gehalt in dieser Schicht mit 26 kg N/ha. Die Variante „mit Untersaat“ hatte die geringste Verlagerung des Nährstoffs mit 19 kg N/ha. In Summe lag zum Beprobungszeitpunkt der höchste N_{\min} -Gehalt. (53 kg N/ha), unter dem „Strip-T“ -Verfahren vor. Die „Kontrolle“ und die Variante „mit Untersaat“ besaßen ähnlich hohe N_{\min} -Gehalte (43 kg N/ha und 42 kg N/ha). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten in der N_{\min} -Summe der Bodenschichten.

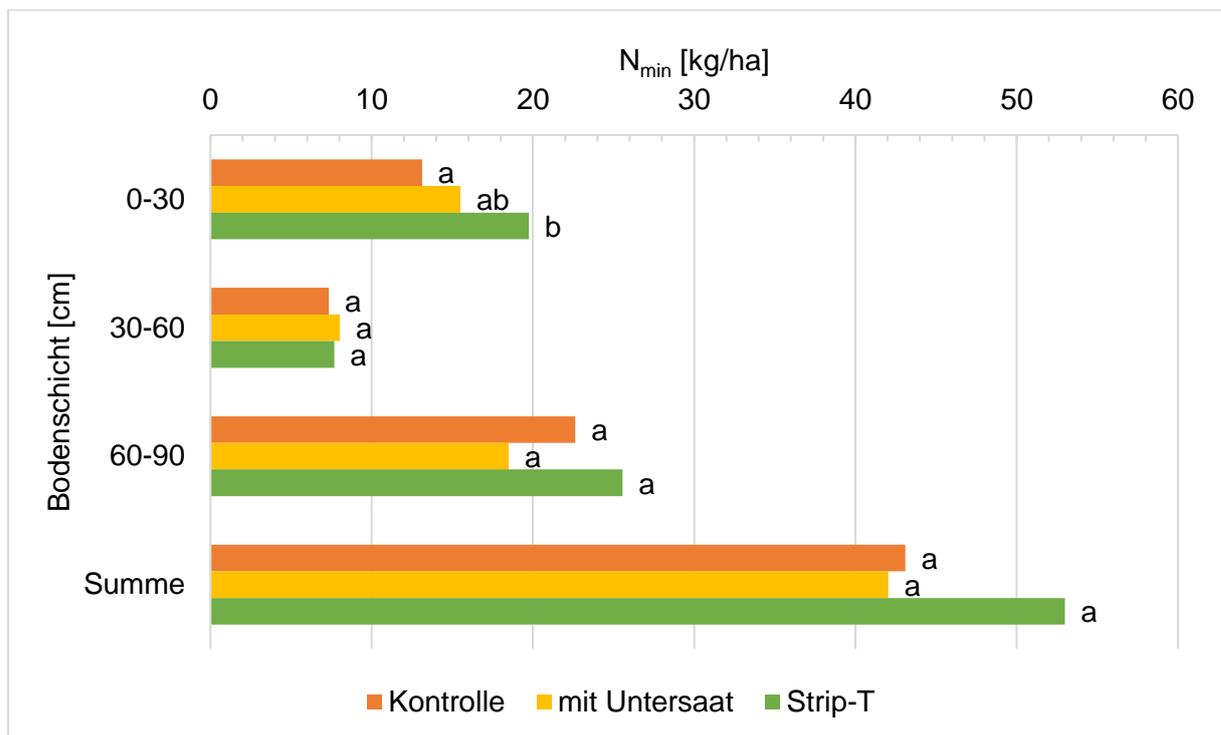


Abbildung 30: N_{\min} -Bodenvorrat am 07.09.2021 zur Zwischenernte in kg/ha der beprobten Bodenschichten (ungleiche Buchstaben kennzeichnen einen signifikanten Unterschied bei einem Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) ($n = 4$)

Betrachtet man die Nährstoffzusammensetzung des Stickstoffes wird der sehr geringe Ammoniumstickstoff von maximal 5 kg NH_4^+ /ha in der „Strip-T“ Variante deutlich (Abbildung 31). In der obersten Bodenschicht war der Ammoniumanteil am höchsten und lag in einem Bereich von 3 kg NH_4^+ /ha („Strip-T“) bis 2 kg NH_4^+ /ha („mit Untersaat“). In den anderen Bodenschichten waren kaum Unterschiede im NH_4^+ -Gehalt festzustellen. Diese lagen sehr niedrig mit zwischen 0,8 kg NH_4^+ /ha bis 1,8 kg NH_4^+ /ha. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten in allen Bodenschichten bestanden keine.

Den überwiegenden Anteil des N_{\min} in der Bodenlösung machte der Nitrat-Stickstoff (NO_3^-) aus. In der Bodenschicht 0-30 cm hatte die „Strip-T“ Variante den höchsten N-Gehalt mit 17 $\text{kg NO}_3^-/\text{ha}$. Die „Kontrolle“ erreichte nur 11 $\text{kg NO}_3^-/\text{ha}$. Der höchste NO_3^- -Gehalt wurde in der Bodenschicht 60-90 cm gemessen. Die „Strip-T“-Variante erreichte mit 24 $\text{kg NO}_3^-/\text{ha}$ die höchste Konzentration. Die geringste Verlagerung in tiefere Schichten wies die Variante „mit Untersaat“ auf. Mit 17 kg /ha erreichte sie den niedrigsten Wert in der Bodenschicht im Vergleich der Varianten. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten festgestellt werden.

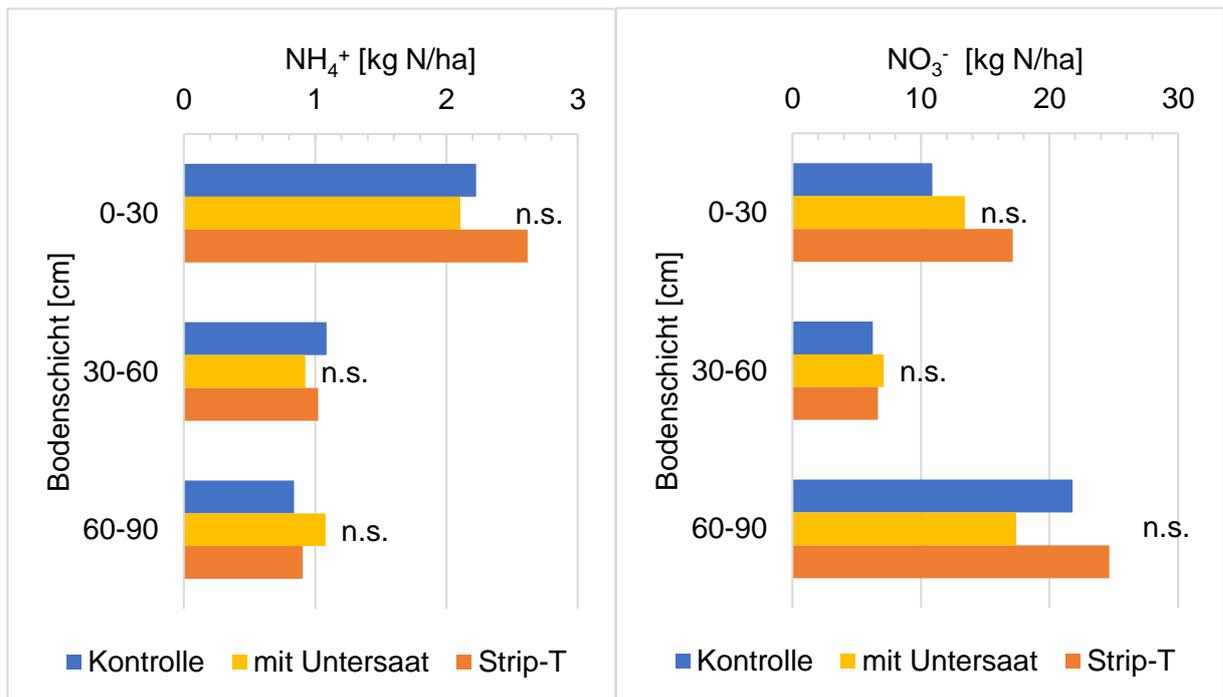


Abbildung 31: N_{\min} -Bodenuntersuchung am 07.09.2021 zur Zwischenernte Ergebnisse der NO_3^- und NH_4^+ -Gehalte in kg/ha der beprobten Bodenschichten (n.s. für nicht signifikant bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) ($n = 4$)

5 Diskussion

5.1 Einordnung der Versuchsergebnisse

Die Einordnung und Bewertung der Versuchsergebnisse wird in den folgenden Kapiteln vorgenommen. Strip-Tillage im ökologischen Landbau ist mit sehr vielen Herausforderungen verbunden und durch die GPS-Technik ein technisch neues Feld, wodurch aktuell noch wenige Versuche durchgeführt wurden. In den USA ist die Streifensaat im ökologischen Landbau stärker verbreitet. Die meisten Versuche werden im Totmulchverfahren durchgeführt. Dabei wird ein starker entwickelter Zwischenfruchtaufwuchs mittels einer Walze oder einem ähnlichen Verfahren abgetötet und die Mulchauflage zur Unkrautunterdrückung genutzt. Lebendmulchsysteme sind durch die schwierige Pflege der Unterkultur und dem Konkurrenzdruck auf die Hauptkultur mit einigen Problemen verbunden.

5.1.1 Bedeckungsgrad und Unkrautunterdrückung

Der Weißklee-Bedeckungsgrad vor der Saat, in der „Strip-T“-Variante, war durch die schwache Vorwinterentwicklung des Weißkleees nicht optimal. Zur Verbesserung des Weißkleeaufwuchses und zum Erreichen einer besseren Unkrautunterdrückung, müsste dieser im August bis Mitte September gesät werden. Eine weitere Möglichkeit wäre den Weißklee in der Vorkultur als Untersaat zu etablieren. Die Kultur kann seine höchsten Zuwachsraten unter sehr häufiger Schnittnutzung hervorbringen. Das führt zu hoher Konkurrenzkraft gegen nicht-schnittverträglichen Unkräuter (LÜTKE ENTRUP, 2000). Nach dem ersten Schröpfungsschnitt im Frühjahr konnte der Weißkleebestand von Unkräutern bereinigt werden. Der Unkrautbesatz 10 Tage nach dem Schröpfungsschnitt war sehr gering. Der Klee konnte Unkräuter folglich sehr gut unterdrücken. Trotz keiner weiteren Pflegemaßnahmen der „Strip-T“ Parzellen, wurde kein höherer Unkrautdruck gemessen als in den Vergleichsparzellen mit mechanischer Unkrautkontrolle.

Nach Bestandsschluss wurde in der „Strip-T“-Variante eine deutlich geringere Unkrautbedeckung, im Vergleich zu den beiden anderen Varianten, „Kontrolle“ und „mit Untersaat“ bonitiert. JUNG (2015) untersuchte ebenso den Einfluss einer Unterkultur auf die Unkrautentwicklung in einem Maisbestand. Er prüfte dabei zwei Maissorten und acht Untersaat-Varianten. Er konnte bei allen Varianten einen Einfluss auf den Unkrautbedeckungsgrad feststellen. Den größten Effekt erreichte er in den Untersaaten Weidelgras und Erdklee. In einjährigen Lebendmulchsystemen haben BARESEL und REENTS (2006) verschiedene Untersaaten untersucht und konnten allgemein ebenso eine geringere Unkrautbedeckung feststellen.

In der „Strip-T“-Variante dieser Arbeit, war eine zunehmende Spätverunkrautung, zu verzeichnen. Der Weißklee, in der Variante „mit Untersaat“, konnte im Versuch, durch die späte Aussaat nach dem letzten Hack-Durchgang und der hohen Konkurrenzkraft des Maises nach

Bestandsschluss, keine so hohe Unkrautunterdrückung aufzeigen. Der Biomasseaufwuchs des Unkrautes der einzelnen Varianten dieses Versuches unterschied sich nicht signifikant. Somit war die gleiche Unkrautunterdrückung des Weißklees wie mit 3-maliger mechanischer Bearbeitung gegeben. Der geringere Unkrautbedeckungsgrad in der Variante „Strip-T“, spiegelte sich nicht in der Trockenmasseerfassung wider. Begründet werden kann das mit dem geringen Trockenmassegehalt von nur 19% in der Biomasse des Weißklees

BARESEL und REENTS (2006) und JUNG (2015) stellten denselben Effekt in ihren Versuchen fest. Begründet werden kann das mit der späten Aussaat der Untersaat und der geringen Entwicklung dieser. Je früher eine Untersaat ausgebracht wird und je wüchsiger die Untersaat ist, umso stärker ist die Unkrautunterdrückung. Je später die Untersaat ausgebracht wurde und wie schattenverträglich diese ist, umso geringer ist ihre Biomasseentwicklung und Unkrautunterdrückungsfähigkeit. Bei besonders hohem Konkurrenzdruck der Deckfrucht auf die Unterkultur kann es zu Totalausfällen der Unterkultur kommen (LÜTKE ENTRUP, 2000; GRAß, 2003).

5.1.2 Feldaufgang und Bestandsdichteentwicklung

Die angestrebte Bestandsdichte des Maises von 7 bis 8 Pflanze pro Quadratmeter konnte im Versuch nicht erreicht werden. Im ökologischen Landbau sind Pflanzenverlusten durch die mechanische Unkrautbekämpfung und Krähenfraß, aufgrund des Wegfallens einer Beize einzurechnen. Durch den hohen Befall der Fläche von Krähen und dem mehrmaligen Striegeln endstanden auch in diesem Versuch Pflanzenverluste. Diese sollten bei einem Striegeldurchgang nicht über 5% liegen (MÜCKE et al., 2019). Das entspricht eine Pflanze bei 11 Pflanzen pro Quadratmeter. Im Versuch traten in allen Varianten hohe Pflanzenverluste auf. Mit im Mittel 50% Verluste in der Variante „Kontrolle“ und 58% bei der Untersaatvariante, sind diese deutlich über dem eingeplanten Zielwert von maximal 30% und 8 Pflanzen pro Quadratmeter. In der „Strip-T“- Variante waren die Pflanzenverluste noch höher und betrugen 65%.

Die geringen Pflanzenzahlen haben Auswirkungen auf den Ertrag. Besonders hohe Verluste traten in der „Strip-T“-Variante vom ersten zum zweiten Boniturtermin auf. Ein Grund hierfür könnten das intensive Striegeln sein. Zudem fiel diese Variante an allen Boniturterminen, im Vergleich zu den Varianten, stetig ab.

Diese geringere Bestandsdichte kann mit einem schlechteren Saataufgang in einer Streifensaart begründet werden. LAUFER und KOCH (2021) stellten einen deutlich schlechteren Feldaufgang in der Streifensaart von Zuckerrüben im Vergleich zu einer Mulchsaat mit Grubber und Pflugsaat fest, DEMMEL et al. (2018) messen in mehreren Versuchsjahren einen geringfügig kleineren Feldaufgang bei Strip-Tillage- Mais im Vergleich zur Mulchsaat. Begründet wurde die Auswirkung auf den Feldaufgang mit einer schlechteren Bodenstruktur im Streifen und einer ungenaueren Saatgutablage in diesen. Die beiden Versuche wurden im konventionellen

Anbau mit Gülleapplikation im Streifen durchgeführt. DIERAUER et al. (2014) untersuchten eine Maisdirektsaat unter ökologischen Bedingungen, im Totmulchverfahren. Er stellte bei Varianten mit einer höheren Unkrautbedeckung, eine schlechtere Bestandsdichte fest.

Die geringere Bestandsdichte der „Strip-T“ -Variante in diesem Versuch, kann wie die Vergleichsstudien auch auf den verminderten Feldaufgang durch eine schlechtere Bodenstruktur und Saatgutablage im Streifen begründet werden. Zudem entstanden, durch sehr intensive Striegelmaßnahmen, zur Kontrolle des Weißen Gänsefußes und durch Samenprädatoren hohe Pflanzenverluste. Womit die hohen Schwankungen in der Bestandsdichte zwischen 2,4 Pflanzen pro m² und 7,33 Pflanzen pro m² zwischen den Bonituren zu erklären sind.

Die Pflanzenhöhen von 295 cm zur Körnermais Ernte auf der Kontrollvariante war unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus im Versuchsjahr sehr gut. Die „Strip-T“ -Variante liegt mit 197 cm in der Biomasseentwicklung und Pflanzenhöhe signifikant hinter den beiden anderen Varianten zurück. Begründet werden kann das durch die Konkurrenz in Lebendmulchsystemen.

DIERAUER et al. (2014) hatten in ihrer Studie über Direktsaat von Mais unter ökologischen Bedingungen ähnliche Effekte beobachtet. Er erreichte in den Parzellen mit höherem Unkrautdurchwuchs, mit mittlere Wuchshöhen von 200 cm in der Sorte Mellikon und 153 cm in der Maissorte Flaach, ähnlich niedrige Pflanzenhöhe wie die „Strip-T“ -Variante der vorliegenden Arbeit. Die Kontrollvariante mit Pflug kam in dem Versuch auf 313 cm. Er begründete die Wachstumsdepressionen mit zu hohem Konkurrenzdruck durch den Unkräuterdurchwuchs. JUNG (2015) stellte einen negativen Einfluss von Untersaaten auf deren Deckfrüchte, besonders in ertragsschwachen Jahren, fest. FEIL und LIEDGENS M. (2001) haben eine Literaturübersicht über Konkurrenzfaktoren in Lebendmulchverfahren zusammengestellt. Sie nennen als Gründe, hauptsächlich die Konkurrenz um Wachstumsfaktoren wie Wasser und essenzielle Nährstoffe. In stark entwickelten Lebendmulchverfahren ist der Wasserverbrauch durch die Unterkultur hoch und es besteht eine Konkurrenz bei diesem Faktor. Zudem findet durch reduzierte Bodenbearbeitung eine verminderte Stickstoffmineralisierung statt, was die Verfügbarkeit des essenziellen Nährstoffes Stickstoff vermindert. Die Nährstoffversorgung von Kalium und Phosphor muss bei starkentwickelten Unterkulturen für beide Kulturen gegeben sein. Einen verzögerten Feldaufgang und Jugendentwicklung beobachteten RECHBERGER et al. (2022) in ihrem Feldversuch zu Lebendmulchverfahren im ökologischen Landbau. Trotz Regulierung der Unterkultur mit Reihenmulcher und Reihenmesserwalze, wurde ein verzögerter Pflanzenaufgang und eine geringere Biomasseentwicklung festgestellt. Besonders in der Jugendentwicklung beobachteten sie eine starke Stagnierung. Begründet wurde die Konkurrenz auf die Hauptkultur Mais durch den höheren Wasserverbrauch und Beikräuterbesatz

Die Variante „mit Untersaat“, im Versuch dieser Arbeit, zeigte durch den sehr geringen Aufwuchs der Untersaat und dessen späten Ausbringungstermin, keinen Effekt auf die Hauptkultur Mais. LÜTKE ENTRUP (2000) beschreibt eine starke Unterdrückung der Hauptkultur Mais durch Lichtkonkurrenz. Maissorten mit hoher Biomasse beeinflussen ab Bestandsschluss die Lichtverhältnisse im Bestand besonders, was die Entwicklung der Unterkultur entscheidend beeinflusst. Die Konkurrenz zwischen Deckfrucht und Unterkultur, um die Wachstumsfaktoren Licht, Nährstoffe und Wasser, muss beim Einsatz von Lebendmulchsystemen mit berücksichtigt und die Verfahren dementsprechend optimiert werden (FEIL und LIEDGENS M., 2001).

5.1.3 Biomasseleistung und N-Ertrag

Die im vorherigen Kapitel beschriebene hohe Konkurrenz der Unterkultur auf den Mais in den „Strip-T“-Parzellen, wirkte sich direkt auf den Biomasseertrag der Pflanzen aus. Der Weißklee kann trotz guter Entwicklung nicht die Biomasseerträge erreichen, um die Minderleistung der Hauptkultur Mais auszugleichen. Die hoch effiziente C4- Pflanze Mais erreichte TM-Erträge von 207 dt TM/ha in der Kontrollvariante mit betriebsüblicher mechanischer Unkrautbekämpfung. Die Variante „Strip-T“ besaß, mit 70,2 dt TM/ha, weniger als die Hälfte des TM -Ertrags. Die Unterkultur in dieser erreichte zudem nur 12,2 dt TM/ha. Nach LÜTKE ENTRUP (2000) hat Weißklee in Futternutzung das Potenzial in 3 bis 4 Schnitten TM-Erträge von 80-110 dt TM /ha und Wurzelrückstände von 20-40 dt/ha zu bilden. Diese Ertragsleistung konnte als Unterkultur in diesem Versuch nicht erreicht werden. Mit dem ersten Biomasseschnitt vor dem Mulchen, wurde eine Biomasse des Klees von 33,1 dt/ha ermittelt. Das ist ein Drittel des Aufwuchses als in Reinsaat nach LÜTKE ENTRUP (2000). Der Klee zur Biomasseernte hatte schon die generative Phase abgeschlossen. Die Zuwachsraten nach der Blüte des Weißklees sind sehr gering wodurch in Summe nur ein Schnitt gerechnet werden kann, was den geringen Weißklee Biomasseertrag im Versuch erklärt (LÜTKE ENTRUP, 2000). Eine regelmäßige Regulation der Unterkultur, kann die Konkurrenzkraft auf die Hauptkultur reduzieren und den Biomasseaufwuchs des Weißklees und dessen Unkrautunterdrückung deutlich steigern. Ohne Regulierung der Unterkultur in Lebendmulchsystemen, ist mit Ertragsminderung zu rechnen (FEIL und LIEDGENS M., 2001).

Das Strip-Tillage im konventionellen Verfahren, mit chemischer Unkrautbekämpfung, kann die gleichen TM-Erträge wie die klassischen Verfahren mit Grubber erzielen. RÖSELER et al. (2009) erreichten in ihren Versuch am Ihinger Hof in Hohenheim eine Gesamttrockenmasse von 301 dt/ha im klassischen Verfahren mit Grubber, die Strip Tillage-Variante lag nur 31 dt/ha darunter. Untersuchungen des Strip-Tillage- Verfahrens in Cunnersdorf konnten in der Variante mit Unterfuß Gülleapplikation im Frühjahr, den höchsten relativen TM- Ertrag von 153 % erreichen. Die Versuchsvariante mit Breitflächiger Gülle Ausbringung über ein Schlitzgerät und Grundbodenbearbeitung mittels Grubber, stellte den Referenzwert, und lag bei 152 dt TM/ha

(FUCHS et al., 2017). BISCHOFF und TAUCHNITZ (2017) erreichten im Mittel der Versuchsjahre 2014 bis 2016 im konventionellen Strip-Tillage ohne Gülle Ausbringung Trockenmasseerträge von 99 dt/ha. Die Unterfuß -Güllebanddüngung in den Strip-Tillage-Verfahren, erlangte die höchsten Trockenmasse Erträge von 144 dt/ha im Versuchszeitraum, auf den Standorten Lückstedt und Quellendorf. Das zeigt, dass ein Strip-Tillage- Verfahren die gleichen TM Ertragsleistungen hervorbringen kann, wie eine ganzflächige Bearbeitung. Eine Unterfuß Banddüngung im Streifen ermöglicht, bei richtigen Bedingungen und ordentlicher Anlage des bearbeiteten Streifens, eine bessere Pflanzenernährung als in der ganzflächigen Ausbringung. Um diese Effekte geltend zu machen, muss eine gute Bodenstruktur und eine schnelle Erwärmung des Streifens ermöglicht werden. Zudem durchwurzeln die Kronenwurzeln den Reihen Zwischenraum. Dieser muss demzufolge, ebenfalls eine gute Bodenstruktur aufweisen, um den Pflanzen eine Durchwurzelung zu ermöglichen. Sind diese Aspekte gegeben kann ein hoch-effizienter Anbau von Mais im Strip-Tillage -Verfahren erfolgen (HERMANN und BISCHOFF, 2012).

Die Gesamtbindungsleistung von Stickstoff, im oberirdischen organischen Material pro Hektar, ist in den „Strip-T“ Parzellen signifikant unter dem der „Kontrolle“, Begründet werden kann das mit dem geringen Sprossmassenertrag des Maises in dieser Variante. In der „Kontrolle“ konnte der gut etablierte Mais deutlich mehr Stickstoff in der Sprossmasse binden. Der Weißklee kommt ohne Schröpfung nur auf die Leistung von einem Aufwuchs, wodurch die Biomasse Leistung sehr gering ist. Der Weißklee besitzt zwar ein sehr geringes C/N -Verhältnis und hat somit einen hohen N Gehalt pro dt TM, kann aber durch den geringen TM-Ertrag nicht die gewünschte Stickstoffbindungsleistung in der Sprossmasse erbringen. Wird der erste Biomasse- Schnitt vor der Saat mit hinzugerechnet, erreicht man einen Stickstoffertrag von 192,37 kg, was keinen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten aufzeigt. Das Ziel, einen höheren N-Ertrag durch das Lebendmulchsystem mit Weißklee zu erzielen, konnte mit dem Anbauverfahren nicht hervorgerufen werden.

FEIL und LIEGENS M. (2001) beschreiben in Literaturanalyse zu Lebendmulchsystemen, dass ein Stickstofftransfer von Leguminosen zu Nichtleguminosen, keine quantitative Bedeutung aufweist. Eine mechanische Regulierung des Zwischenreihenaufwuchses durch Mulchen des Streifens oder ähnliche Verfahren, würde zu einer Erhöhung der Stickstoffnachlieferung durch die N-Freisetzung aus den Pflanzenmaterial führen. Durch das geringe C/N-Verhältnis des Weißkleeaufwuchses, ist zudem mit einer schnellen N-Freisetzung zu rechnen. NEUMANN (2005) ermittelte in seinem „Bi-cropping“ Verfahren von Weizen in einen Weißkleebestand, besonders positive Effekte des Weißkleees auf die Folgekultur. Mit dieser Vorfruchtleistung des Weißkleees kann auch in diesem Versuch nach Umbruch dessen gerechnet werden.

5.1.4 Ertragsstruktur und Kornertag

Die verminderte Bestandsdichte und der geringere Biomasseaufwuchs der Streifensaatvariante hatte direkten Einfluss auf den Korn und Kolbenertrag der Pflanze. Die mittlere Kolbenanzahl ist bei der „Strip-T“ Variante 21,5 Kolben pro m² geringer als bei den Versuchspartnern Kontrolle und Untersaat. Die Kolbenanzahl pro Pflanze ist jedoch unter den Varianten gleich somit ist dies auf die Pflanzenverluste zurückzuführen der Unterschied lässt jedoch nicht statistisch absichern. Die mittleren TM-Gewichte der Kolben fällt in der „Strip-T“ Variante signifikant zu den beiden Versuchspartnern ab. Die Mindergewichte sind auf den Stress der Pflanzen durch Konkurrenz, um Nährstoffe und Wasser zurückzuführen, was das Biomasse Wachstum und die Kolbenentwicklung der Pflanze beeinträchtigt hat. In der Untersaat -Variante wurden keine signifikanten Unterschiede in Bestandsdichte und Kolbentrockenmasse festgestellt. Die Trockenfeuchte Erträge bei 14% Restfeuchte waren in der Kontrolle mit 80,0 dt/ha und 80,24 dt/ha in der Variante „mit Untersaat“ sehr Gut und erreichte genau den KTBL Richtwert für Standorte mit hohem Ertragsniveau von 80 dt/ha (ACHILLES et al., 2017). Die „Strip-T“ Variante zeigte mit 38,2 dt/ha einen deutlich geringeren Kornertag. Dieses signifikante Ergebnis macht die „Strip-T“ Variante des Versuchs wirtschaftlich nicht tragbar. Die Vorteile in Erosion, Biodiversität und Unkrautunterdrückung können die starke Beeinträchtigung des Maises durch den hohen Konkurrenzdruck des Weißklees im Lebendmulchsystem wirtschaftlich nicht ausgleichen. Das Verfahren muss zur Praxistauglichkeit stark verbessert werden. Ertragsverluste die im Lebendmulchverfahren FEIL und LIEGENS M. (2001) meist nicht vermieden werden können, könnten durch die in NEUMANN (2005) beschriebene Vorfruchtleistung und durch eine die N-Fixierleistung von Leguminosen gedeckt werden (OPITZ VON BOBERFELD und BECKMANN, 1998).

5.1.5 Auswirkungen der Anbausysteme auf die Bodenfeuchte

In diesem Praxisversuch wurden, über alle Boniturtermine hinweg, signifikante Unterschiede im pflanzenverfügbaren Wasser, zwischen den beiden Untersuchten Verfahren „Strip-T“ im Lebendmulchsystem mit Weißklee und dem klassischen Mulchsaatterfahren („Kontrolle“), mit mechanischer Unkrautbekämpfung gemessen. Das „Strip-T“-Verfahren hatte in diesem Versuch stets einen höheren Wasserverbrauch. Dieser war im Mittel, über alle Messungen, in allen Bodentiefen, signifikant. Die erste Bodenschicht von 0-10 cm weist die höchsten Schwankungen in der Bodenfeuchte auf. Dies ist auf den Einfluss von regelmäßigen Niederschlägen zurückzuführen. In den tieferen Schichten besteht, zu Beginn der Vegetation, kein signifikanter Unterschied im pflanzenverfügbaren Wasser. Zur letzten Bonitur am 23.07.2021, zur Blüte des Mais, ist die Bodenfeuchte in beiden Varianten deutlich gesunken. Der Maispflanze in der „Strip-T“-Variante stand in diesem Versuch signifikant weniger pflanzenverfügbares Wasser zur Verfügung.

Wird die nutzbare Feldkapazität (nFK), der im Versuch vorliegenden Tschernosem-Braunerde-Böden, mit Bodenart Ut3 betrachtet, wird nach AMELUNG et al. (2018) 200 mm pflanzenverfügbares Wasser im durchwurzelbaren Bodenraum von 11 dm angegeben. Die Bodenfeuchtemessungen in diesem Versuch beziehen sich auf die ersten 6 dm Boden, umgerechnet ergibt das bei 100% nFK, 108 mm pflanzenverfügbares Wasser.

Zum ersten Bonitur-Termin am 03. Juni lag auf der Variante „Kontrolle“ eine nFK von 59% vor. Die „Strip-T“-Variante erreichte eine nFK von 46%. Zum 2. Boniturtermin sank die nFK in der „Kontrolle“ nicht. 7% nFK verlor der Boden unter der „Strip-T“-Variante zu diesem Termin. Am 01. Juli verlor zudem die „Kontrolle“ leicht an Bodenfeuchtigkeit, die nFK lag zu dem Zeitpunkt bei 54%. Den Pflanzen in der „Strip-T“-Variante stand zu dem Zeitpunkt noch 33% Bodenwasser zur Verfügung. Diese Variante verlor bis zum letzten Bonitur Termin noch weitere 9% nFK. Die „Kontrolle“ hatte in diesem Zeitraum auch einen hohen Wasserbedarf, der mit den hohen Biomasseaufwuchs in diesem Zeitraum, bis zur Blüte, begründet ist. Die nFK fällt zum letzten Termin auf 36% pflanzenverfügbares Wasser.

BÖTTCHER und FRÜHAUF (2017) beschreiben in ihrer Veröffentlichung, dass eine nFK von unter 50% ertragswirksam ist. Besonders hohen Wasserbedarf besitzt der Mais zur Zeit der Blüte. Ein Mangel in dieser Zeit wirkt sich stark auf die Kolbenbildung und Befruchtung aus. In der Jugendphase besitzt der Mais durch die noch schwache Wurzelentwicklung eine geringe Wasseraufnahmefähigkeit. Eine Wasserkonkurrenz verbunden mit Frühsommertrockenheit wirkt sich stark auf die Biomasse-Entwicklung aus. Der „Strip-T“-Variante stand, schon zum ersten Bonitur Termin, eine geringere nutzbare Feldkapazität bereit. Die hohe Wasserkonkurrenz, durch den Weißklee, ist ein entscheidender Grund, für die Wachstumsdepression.

Ein höherer Wasserverbrauch durch die Transpiration der Unterkulturen oder biomassestarke Vorkulturen konnte in zahlreichen Versuchen festgestellt werden, wodurch die Konkurrenz um den Wachstumsfaktor Wasser belegt ist. Eine Literaturstudie zu den Auswirkungen von Lebendmulchsystemen auf den Wasserhaushalt ist von FEIL und LIEDGENS M. (2001). Sie stellten die Wasserkonkurrenz von Lebendmulchsystemen auf die Hauptkultur heraus. BOTTENBERG et al. (1997) stellte ebenfalls eine Wasserkonkurrenz des Rotklee, auf die Gemüsekultur Kohl, in seinem Feldversuch fest. Er untersuchte auch das pflanzenverfügbare Wasser, an mehreren Terminen während der Vegetation des Kohls. LENGAUER (2020) belegte in seiner Studie zum Wasserverbrauch von Mulchsystemen unter regulierten Bedingungen im Gewächshaus, einen deutlich höheren Wasserverbrauch, in Lebendmulchsystemen. BÖTTCHER et al. (2017) untersuchte den Wasserverbrauch von Zwischenfrüchten, in ausführlichen Wasserhaushaltsuntersuchungen. Sie messen einen höheren Wasserverbrauch von überwinterten Zwischenfrüchten, durch ihre Transpirationsleistung als abfrierende Zwischenfrüchte und stellte negative Auswirkungen dieser auf die Folgekultur fest.

Den Einfluss des Strip-Tillage -Verfahren auf den Wasserhaushalt untersuchte LICHT und AL-KAISI (2005). Sie untersuchten das Verfahren auf Bodenparameter im Körnermais und verglichen diese mit einer Pflugsaat und einer Direktsaat. Die Bodenfeuchtemessungen ergaben, dass in der Pflugsaat, in den oberen Bodenschichten, weniger pflanzenverfügbares Wasser zu verzeichnen war als in den Anbauverfahren No-Till und Strip-Till. Diese Unterschiede waren an einigen Beprobungsterminen signifikant. Er begründete das, mit einem höheren Verdunstungsschutz, durch die Mulchauflage, in den Varianten. Zudem stellte er ein besseres Wasseraufnahmevermögen der Parzellen mit Pflugsaat und Streifensaat im, Vergleich zur Direktsaat fest. Im Unterschied zu dieser Arbeit wurde der Versuch von LICHT und AL-KAISI (2005) unter konventionellen Bedingungen durchgeführt, im Totmulchverfahren mit einer chemischen Beikrautregulierung. Dadurch entstanden keine Transpirationsverluste durch lebende Unterkulturen.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss der Untersaat, auf die Bodenfeuchtigkeit, nicht untersucht. Eine große Auswirkung dieser wurde ausgeschlossen. Konkurrenzeffekte auf den Kornertrag und dem Biomasseaufwuchs konnten nicht festgestellt werden. JUNG (2015) bestätigt diese Beobachtungen in seiner Untersuchung zu Untersaaten.

5.1.6 Auswirkung der Anbausysteme auf den N_{\min} - Gehalt

Der hohe N_{\min} -Vorrat im Boden zu Beginn der Vegetation weist auf eine hohe Mineralisierung hin. Außerdem war durch die intensive Durchmischung des Bodens im Anbau der Vorfrucht Kartoffel, mit hohen Mineralisierungsraten zu rechnen. Die Region im südlichen Sachsen-Anhalt ist mit tiefgründigen Tschernosem Braunerden besitzt grundsätzlich ein hohes Stickstoffnachlieferung vermögen, wodurch hohe N_{\min} -Vorräte nicht unüblich sind.

Die NH_4^+ - Anteile am N_{\min} -Vorrat im Boden sind in allen Varianten sehr gering. Die hohen N_{\min} -Gehalte in der Bodenlösung wurden demzufolge zum großen Teil aus NO_3^- gebildet. Dieses ist sehr leicht wasserlöslich und verlagert sich durch Niederschläge schnell in tiefere Schichten (KNITTEL, 2012). Diese Verlagerung spiegeln die Daten vom Start- N_{\min} zu Vegetationsbeginn, bis zu den N_{\min} -Werten zur Zwischenernte am 07.09. 2021 wieder. Der Stickstoff verlagert sich von den oberen 30 cm in die untere Bodenschicht 60-90 cm. 50 kg N Differenz bestehen in der Gesamtsumme in den beprobten Bodenschichten, vom hohen Startwert zum niedrigen Gehalt zur Zwischenernte. Die Unterschiede zwischen den Varianten sind sehr gering und nur in der oberen Bodenschicht sind sie in der „Strip-T“ -Variante signifikant höher.

Ob diese höheren Gehalte durch die N_2 -Fixierung der Leguminosen entstehen, kann nicht gesagt werden. Die Gesamt N-Bindung in der Biomasse der „Strip-T“ -Variante waren signifikant unter der der beiden anderen Varianten. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Erhöhung der N_{\min} -Gehalte durch geringere N-Aufnahmen zustande kommen. Eine quantitative Freisetzung von Stickstoff aus Leguminosen an Nicht- Leguminosen, wurde bis lang nicht nachgewiesen (FEIL und LIEDGENS M., 2001). RECHBERGER et al. (2022) messen in ihrer Studie, im ökologisch angebauten Strip-Tillage Mais im Lebendmulchverfahren, in Bodenuntersuchungen eine geringere N-Mineralisation, im Vergleich zu den Versuchspartnern im Mulchsaatverfahren.

5.2 Methodik und Vorgehensweise

Die Versuchsanstellung des Versuches lief unter Praxisbedingungen. Das hatte zur Folge, dass nicht alle Arbeitsgänge, zum optimalen Zeitpunkt, mit optimalen Bedingungen, durchgeführt werden konnten. Die Arbeiten auf dem Versuchsfeld mussten den betrieblichen Abläufen angepasst werden. Dadurch traten Effekte auf, die einen negativen Einfluss auf die Entwicklung der Kulturen hatten. Die Versuchsfläche wurde vom Versuchsbetrieb vorgegeben, wodurch im Versuchsaufbau nur im begrenzten Maß Einfluss auf Grundnährstoffversorgung und Homogenität der Flächen genommen werden konnte.

Die Grundnährstoffversorgung der Versuchsfläche, war nach EUF- Bodenuntersuchung (Anhang 2) bei den Nährstoffen Stickstoff, Phosphor, Calcium und Bor, nicht ausreichend. Demzufolge konnte auf der Versuchsfläche, besonders auf den „Strip-T“ Parzellen, mit höherer Nährstoffkonkurrenz gerechnet werden

5.2.1 Anbauverfahren

Die drei untersuchten Anbauverfahren:

1. betriebsübliches Mulchsaatverfahren mit tiefer Bearbeitung im Herbst in der Variante „Kontrolle“,
2. Einbringung einer Untersaat nach dem letzten Hackgang in der Variante „mit Untersaat“
3. das für den Betrieb neu erprobte Strip-Tillage-Verfahren in der Variante „Strip-T“.

Die ersten beiden Varianten konnten technisch vom Betrieb gut umgesetzt werden. Durch den pneumatischen Feinsämereien -Streuer auf der betriebseigenen Sternrollhacke aufmontiert, konnte die Untersaat ausgebracht werden, wodurch ein guter Feldaufgang der Untersaat gewährleistet wurde.

Für die Umsetzung der „Strip-T“ Variante wurde ein absetziges Verfahren mit Anlage der Streifen im Frühjahr gewählt. Das führte jedoch zu Problemen bei zu feuchter Witterung. Der Boden unter dem Weißkleebestand erwärmt sich nur langsam und benötigt mehr Zeit, um abzutrocknen. Das Resultat war eine starke Bildung von Kluten und die Entstehung einer Schmiersicht im Unterboden konnte nicht ausgeschlossen werden. HERMANN und BISCHOFF (2012) beschrieben die Gefahr einer starken Verschmierung der tonigen- und schluffigen- Böden bei der Anlage der Streifen bei zu hoher feuchte im Bearbeitungshorizont. Zudem konnte technikbedingt keine Rückverfestigung der Streifen durchgeführt werden. Dadurch ist eine grobklutige Bodenstruktur mit Hohlräumen im Unterboden möglich. Durch Anpassung des Anbauverfahrens könnten diese Gefahren reduziert werden. Auf mittleren bis schwere Böden ist ein absetziges Verfahren, wie es im Versuch durchgeführt wurde empfehlenswert. Dies bewirkt eine sichere Abtrocknung und Erwärmung des Streifens vor der Saat.

Auf sehr bindigen Böden und Standorten die witterungsbedingt im Frühjahr schlecht abtrocknen ist die Anlage der Streifen im Herbst sicherer, um eine gute Bodenstruktur im Boden zu gewährleisten und die Wurzelentwicklung nicht zu beeinträchtigen (HERMANN und BISCHOFF, 2012). Durch das feuchte Frühjahr 2021 und der nicht optimalen Bearbeitungstechnik und Methodik war mit einem negativen Einfluss, auf die Pflanzenentwicklung in der „Strip-T“-Variante, durch die beeinträchtigte Bodenstruktur im Streifen, zu rechnen. Mais reagiert besonders empfindlich, während des Wurzelwachstums auf schlechte Bodenbedingungen, was sich negativ auf die Nährstoffaneignung und Pflanzenentwicklung auswirkt (SOBOTIK et al., 2020).

Verfahrenstechnisch ist es eine Möglichkeit die Streifenbearbeitung schon im September durchzuführen und auf Tiefe zu bearbeiten. Die Bedingungen für eine tiefgründige Bodenbearbeitung sind durch den abgetrockneten Boden im Spätsommer und Herbst gegeben. Der Weißklee müsste jedoch schon, als Unterkultur, in der Vorkultur etabliert werden. Ein Pflegeschnitt zur Unkraut- und Bestandsregulierung müsste im Herbst durchgeführt werden. Im Frühjahr könnte der Streifen flach herausgearbeitet werden, um den Unkrautdruck zu nehmen. Ein zeitig angelegter Streifen fördert zudem die Bodenerwärmung HERMANN (2021) konnte bei einer frühzeitigen Streifenanlage deutlich höhere Bodentemperaturen messen, die auf dem Niveau einer Pflugfurche lagen, was gerade in so feuchten Jahren wie 2021 ausschlaggebend ist.

Ein weiteres verfahrenstechnisches Problem in der Versuchsanstellung war, dass keine Möglichkeit im Betrieb bestand, den Reihen-Zwischenraum der „Strip-T“-Variante zu pflegen. Möglichkeiten der Pflege von Lebendmulchsystemen ist der Einsatz eines Reihenumlacher oder einer reihengebundenen Messerwalze (RECHBERGER, 2021). Durch die Zwischenreihenbearbeitung kann der Konkurrenzdruck reduziert werden. Außerdem ist der Weißklee hoch schnittverträglich und kann bei häufiger Pflege effektiv Unkräuter unterdrücken.

Weitere Möglichkeiten den Mais besser in einem Lebendmulchbestand zu etablieren, ist eine gezielte Unterfußdüngung, durch ein Gülleband in der Strip-Tillage Reihe. Dadurch ist eine sicherere Ernährung der Maispflanzen möglich, wodurch Nährstoffkonkurrenz vermindert wird (BISCHOFF und TAUCHNITZ, 2017). Weißklee ist durch die Ausbreitung über Rhizome und dem niedrigen Wachstum eine gute Unterkultur, die eine starke Verdrängungsfähigkeit besitzt. Er ist jedoch nicht schattenverträglich und weist eine hohe Konkurrenzkraft gegenüber der Hauptkultur auf (NEUMANN, 2005) wodurch dieser als Unterkultur im Mais Nachteile besitzt. Eine alternative Leguminose zum Weißklee ist der Erdklee. Dieser kennzeichnet sich durch einen geringeren Konkurrenzdruck zur Hauptkultur. Er ist in der Regel nicht mehrjährig, samt jedoch meist aus. Zudem weist er eine bessere Beschattungsverträglichkeit auf. Der Erdklee wurde schon in einigen Versuchen als Unterkultur im Mais und Getreide etabliert und aufgrund sehr guter Unkrautunterdrückungseigenschaften empfohlen (JUNG, 2015).

HERMANN und BISCHOFF (2012) beschreiben die Anforderungen an die Mechanisierung zur Anlage der Streifen je nach Bodenart unterschiedlich. Auf leicht und gut schüttfähigen Böden können modifizierte Grubber oder Hackrahmen ausreichen, um gute Ergebnisse zu erzielen. Je höher der Tonanteil der Böden ist, desto angepasster sollte das Gerät sein, um ein gutes Ergebnis zu erzielen. In diesem Versuch hätte auf den tonhaltigen Schluffböden, ein Spezialgerät, ein besseres Ergebnis erzeugt. Ein vorlaufendes Scheibensech könnte den Weißkleebestand vorschneiden, anschließende Räumsterne würden den Lebendmulch aus dem Streifen räumen. Das schmale Meißelschar, erzielt mit geringerer Klutenbildung, die Tiefenlockerung des Streifens. Ein Nachläufer oder eine Walze zerkleinert Kluten und erzeugt Feinerde für das Saatbett. Durch ein Spezialgerät wären bessere Saatbettbedingung für den Strip-Tillage Mais geschaffen, womit ein positiver Effekt auf den Feldaufgang und auf die Streifendurchwurzelung erreicht werden könnte.

5.2.2 Witterungseinflüsse und Prädatoren

Mais benötigt für die Entwicklung ein hohe Temperatursumme, zudem ist die hohe Keimtemperatur von 8°C sehr witterungsabhängig. Eine hohe Bodentemperatur zur Saat, wie eine schnelle Erwärmung des Bodens im Frühjahr, ist entscheidend für eine gute Maisentwicklung. Die kühlfeuchten Bedingungen im Frühjahr 2021 führten zu einem langsamen Feldaufgang und einer verzögerten Jungendentwicklung. Zudem hatte die Witterung starken Einfluss auf die Feldarbeitsbedingungen. Das führte zu unüblich hoher Bodenfeuchtigkeit im Frühjahr für den Standort, an dem in anderen Jahren, Frühjahrstrockenheit der beeinflussende Faktor für das Pflanzenwachstum war. Die feuchte und kühle Witterung beeinflusste den Aussattermin und schaffte nicht optimalen Wachstumsbedingungen für den Maiskeimling. KRACHUNOVA et al. (2019) stellten einen signifikanten Einfluss des Biomassewachstums aufgrund der besseren Erwärmung des Bodens in Dammkulturen in Mittelgebirgslagen fest. Inwieweit die Bodenerwärmung in der „Strip-T“ Variante langsamer war als in den beiden anderen Varianten, kann nicht gesagt werden. HERMANN (2021) konnte aufzeigen das die maximale Bodentemperatur im Streifen 1,5°C über dem Niveau einer Mulchsaat liegen kann. Der unbearbeitete Zwischenreihenraum war jedoch signifikant kühler. Der Versuch wurde im klassischen Strip-Tillage ohne Lebendmulch mit Weißklee durchgeführt. Inwieweit der Weißkleebestand Einfluss auf das Mikroklima im Streifen besitzt, muss in Folgeuntersuchungen, mit betrachtet werden.

Ein weiterer Umweltfaktor im Versuch war der Krähenfraß, welcher sich durch die spätere Aussaat der Versuchsfläche, auf diese konzentrierte. Das führte zu starken Pflanzenausfällen. Zu beobachten waren besonders hohe Pflanzenverluste auf den „Strip-T“ -Parzellen. Ob eine höhere Attraktivität für Vögel in der Streifensaart besteht, kann nicht gesagt werden und müsste in einer eigenen Versuchsanstellung analysiert werden.

6 Schlussfolgerung

Die Etablierung von Körnermais in einen Weißklee Lebendmulchbestand im Strip-Tillage -Verfahren, konnte nicht die Zielstellungen in der Ertragsleistung erreichen. In der Versuchsanstellung unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus, auf einem Praxisbetrieb im südlichen Sachsen-Anhalt, lagen die Kornerträge und Biomasseerträge der „Strip-T“ -Variante signifikant unter dem der „Kontrolle“. Die Ertragsunterschiede waren auf eine geringe Bestandsdichte und ein vermindertes Wachstum zurückzuführen. Die Ursachen der Ertragsdepression war hauptsächlich auf zwei Faktoren zurückzuführen. Die durchgeführte Streifenbodenbearbeitung, ohne Zwischenreihenpflege des Lebendmulches führte zu großen Konkurrenzerscheinungen, um den Wachstumsfaktor Wasser. Die Bodenfeuchtigkeit der „Strip-T“ Parzellen war signifikant geringer, was die Hypothese bestätigt. Der zweite Faktor ist die Streifenanlage unter feuchten Bedingungen und nicht optimierter Mechanisierung. Das führte zu einem schlechteren Saataufgang und einer geringeren Wurzelbildung. Dadurch wurde die Bestandsdichte und die Nährstoffaufnahme vermindert. Die Unkrautbiomasse der Strip-T Parzellen war auf dem Niveau der Versuchspartner. Eine effiziente Unkrautunterdrückung durch das Lebendmulchverfahren, ohne mechanische Pflege, konnte somit durch den gut etablierten Weißklee erreicht werden. Eine höhere N-Bindungsleistung der Parzellen mit Weißklee Untersaat und im „Strip-T“ Verfahren wurde nicht ermittelt. Die Minderleistung des Maises in der „Strip-T“-Variante war höher als der Stickstoffeintrag durch den Lebendmulch. Ein positiver Einfluss auf die Stickstoffverfügbarkeit in der Bodenlösung konnte nicht festgestellt werden. Die Untersaat zeigte durch die sehr schwache Entwicklung keinen Einfluss auf die N-Bindungsleistung und die Unkrautunterdrückung, aufgrund des späten Aussaatzeitpunktes und der hohen Beschattung durch den Mais. Jedoch bestanden keine Konkurrenzeffekte auf den Mais.

Ob im ökologischen Landbau das Strip-Tillage Verfahren eine Möglichkeit ist, den Maisanbau in Hinsicht von Erosion, Biodiversität, Bodenfruchtbarkeit und N-Bindung zu optimieren, kann durch diesen einzelnen Versuch nicht ausgeschlossen werden. Durch verfahrenstechnische Optimierungen des Anbausystems und durch die Pflege des Lebendmulches im Reihenzwischenraum, können die Bedingungen für den Mais optimiert und der Konkurrenzdruck reduziert werden. Dadurch kann das Ertragspotential des Verfahrens erheblich verbessert werden. Jedoch ist in einem Lebendmulchverfahren immer mit Ertragsminderungen durch Konkurrenzeffekte, besonders in ertragsschwachen Jahren zu rechnen. Besonders in Trockenregionen ist das Arbeiten mit Lebendmulchsystemen auf Grund des hohen Wasserverbrauchs dieser, kritisch zu bewerten. Inwieweit der Mehrwert durch das Verfahren die Ertragsminderungen abdeckt, muss in Folgeversuchen aufgezeigt und bewertet werden.

7 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, einen Körnermais im Strip-Tillage -Verfahren („Strip-T“) in einen lebenden Weißkleebestand zu etablieren. Als Versuchspartner wurde eine Variante mit Untersaat in den Maisbestand nach mechanischer Unkrautregulierung („mit Untersaat“) und die „Kontrolle“ mit betriebsüblichen Mulchsaat und mechanischer Unkrautregulierung. Es wurde dazu eine einfaktorielle Blockanlage mit 4 Wiederholungen angelegt. Der Versuch wurde unter Praxisbedingungen auf einen ökologisch wirtschaftenden Betrieb im südlichen Sachsen-Anhalt im Versuchsjahr 2021 angelegt. Am Versuchsstandort lagen fruchtbare Tschernosem Braunerden der Bodenart Ut3 vor. Das Versuchsjahr 2021 war im Jahresmittel feucht und kühl.

Die Versuchsparameter waren Korn- und Biomasseertrag, Stickstoffbindungsvermögen, Einfluss auf den Wasserhaushalt und den N_{\min} -Gehalt, sowie die Unkrautunterdrückungsleistung. Der Mais wurde 14 Tage nach Herausarbeitung der Streifen am 22.05.2021 gesät. Der Feldaufgang und die Bestandsdichte war auf den „Strip-T“-Parzellen signifikant schlechter und lag bei 3,8 Pfl/ m². Die Variante „mit Untersaat“ 5,5 Pfl/m² war signifikant und Kontrolle mit 4,8 leicht höhere Bestandsdichte. Über alle Varianten hinweg, lag eine hohe Schwankung der Bestandsdichte vor. Das Ziel von acht Pflanzen wurde in keiner Variante erreicht. Die Pflanzenhöhen der „Strip-T“-Variante war zu allen Boniturterminen signifikant unter denen der Versuchspartner und zeigte eine deutlich verzögerte Bestandsentwicklung

Die Unkrautunterdrückung des Lebendmulchbestands, war sehr gut. Trotz keiner Pflegemaßnahmen nach der Saat, war der Biomasseertrag der Unkräuter im September auf demselben Niveau, wie in den Varianten „Kontrolle“ und „mit Untersaat“. Der Bedeckungsgrad durch Unkräuter, war zu allen Terminen nach der Saat gering. Besonders nach Bestandsschluss war die Unkrautbedeckung in der „Strip-T“-Variante deutlich geringer als in der „Kontrolle“. Bei Bestandsschluss war die Bodenbedeckung 100% mit einem Anteil von 50 % Weißklee.

Die Biomasse Entwicklung der „Strip-T“-Variante lag zur Zwischenernte signifikant hinter dem der Versuchspartner „mit Untersaat“ und „Kontrolle“. Die N-Bindungsleistung war zudem signifikant geringer, trotz des gut entwickelten Weißkleebestands, als Unterkultur. Bezieht man den Kleeaufwuchs vor der Saat mit ein, unterscheiden sich die Varianten nicht im N-Ertrag.

Der Kornertrag, wie der Biomasseertrag war in der „Strip-T“-Variante, durch die verminderte Bestandsentwicklung signifikant geringer. Die Kolbenanzahlen pro Pflanze zeigten keinen Unterschied. Einen leichten Einfluss auf den Ertrag besaß die Bestandsdichte. Die Kolben wiesen signifikant geringere Gewichte in ihrer mittleren Kolbenmasse auf. Die hohen Korn- und Biomasseertragsverluste, sind auf Konkurrenzeffekte, um die Wachstumsfaktoren Wasser und Nährstoffe und auf eine gestörte Pflanzenentwicklung durch einen schlecht herausgearbeitet-

teten Streifen zurückzuführen. Die hohe Bodenfeuchte zur Anlage der Streifen führte zu großen Kluten und Schmiersichten im bearbeiteten Streifen.

Der Einfluss des Lebendmulchverfahrens auf den Wachstumsfaktor Wasser konnte in dem Versuch deutlich gezeigt werden. Das pflanzenverfügbare Wasser in der „Strip-T“- Variante war signifikant, zu allen Beprobungsterminen, geringer als in der Variante „Kontrolle“. Der Weißklee hat in seinem Aufwuchs deutlich Wasser transpiriert. Gerade in der Jugendentwicklung des Maises bis zur Blüte, standen dem Mais in der „Strip-T“-Variante ein geringerer Wassergehalt zur Verfügung. Dieser lag am 01.07.21 während des Streckungswachstums nach Bestandsschluss nur noch bei 33 % nutzbarer Feldkapazität, was deutlich im ertragswirksamen Bereich liegt. Somit sind die Ertragsverluste auf diesen Wachstumsfaktor mit zurückzuführen.

Ein positiver Effekt des Weißklees auf die Nährstoffversorgung des Maises konnte nicht festgestellt werden. Der N_{\min} -Gehalt in den ersten 30 cm unterschied sich signifikant von dem der „Kontrolle“ jedoch ist dies nicht auf die Fixierleistung des Klees zurückzuführen in der Literatur wird zudem keine quantitative Abgabe von Stickstoff aus Leguminosen während der Vegetationszeit angegeben. Der Anstieg in den oberen 30 cm, kann mit der geringeren N-Bindung im Pflanzenmaterial der „Strip-T“-Variante begründet werden.

Der Weißklee in der Variante „mit Untersaat“ konnte nicht die erwünschten Leistungen in der Biomasse Entwicklung und dem N-Ertrag leisten. Durch die zeitige Beschattung des stark etablierten Maises ist die Untersaat im Versuch nur sehr gering entwickelt. Die Bodenbedeckung und Unkrautunterdrückung waren sehr gering. Eine ertragsbeeinflussende Konkurrenz bestand nicht. Die Ertragsleistung der „mit Untersaat“-Variante war auf dem Niveau der „Kontrolle“.

Letztlich konnte das „Strip-T“-Verfahren nicht die erwarteten Zielstellungen erfüllen. Die Ertragsleistung und der Stickstoffertrag des Maises in diesem Verfahren blieb unter den Erwartungen. Die Unkrautunterdrückung ist vergleichsweise stark, jedoch ist ebenso die Konkurrenz auf die Hauptkultur sehr hoch. Ein hohes Verbesserungspotenzial des Verfahrens besteht. Eine bessere Bodenstruktur im Streifen und eine Verminderung der Konkurrenzleistung durch die Pflege des Lebendmulches kann zu erheblichen Ertragssteigerungen des Verfahrens führen. Mit Ertragsminderungen durch das Lebendmulchverfahren ist jedoch zu rechnen. Inwieweit der Mehrwert des Verfahrens die Ertragsminderungen ausgleicht, muss in weiteren Versuchen ermittelt werden.

8 Abstract

The aim of this study was to establish a strip-tillage ("Strip-T") grain corn in between a living white clover stand. On the one hand, the experiment includes a variant with undersowing into the corn stand after mechanical weed control ("with undersowing") and on the other hand, the "control" with farm standard mulch seeding and mechanical weed control. A single factor block design with 4 replicates was set up for this purpose. The study was executed under practical conditions on an organic farm in southern Saxony-Anhalt in the study year 2021. At the study site, fertile Tscherno-sem brown soils were present in front of the soil type Ut3. The study year was wet and cool on average.

The experimental parameters were grain and biomass yield, nitrogen fixation capacity, influence on water balance and Nmin content and weed suppression performance. The Corn was sown 14 days after strip-tillage on May 22, 2021. Field emergence and stand density were significantly worse in the "Strip-T" plots and was 3.8 plants/m². In comparison the variant "with undersowing" significantly revealed 5.5 plant/m² and the "control" with 4.8 plants/m² a slightly higher stand density. Across all variants, there was a high variation in stand density. The target of eight plants was not reached in any variant. The plant height of the "Strip-T" variant was significantly lower compared to the study partners at all sampling dates and showed a significantly delayed stand development.

The weed suppression of the living mulch stand was very good. Despite no post-sowing maintenance, the weed biomass yield in September was at the same level as in the "control" and "undersown" variants. The degree of weed cover was low at all dates after sowing. Especially after stand closure, weed cover was significantly lower in the "Strip-T" variant than in the "Control". Around the end of the stand, the ground cover was 100%. White clover accounted for 50% of this.

The biomass development at midharvest was substantially slower than that of its experimental partners "with undersowing" and "control". The N fixation performance was also significantly lower than undercrop, despite the well-developed white clover stand. When pre-seed clover emergence is included, the variants did not differ in N yield.

Grain yield, like biomass yield in the "Strip-T" variant, was significantly lower due to reduced stand development. The number of cobs per plant did not differ. The stand density had a slight influence on the yield. The cobs had significantly lower weights in their mean cob mass. The high grain and biomass yield losses were due to competition effects, for the growth factors water and nutrients and to a disturbed plant development due to a poorly worked out strip. The

high soil moisture used to establish the strips resulted in large gluts and smear densities in the worked strip.

The influence of the living mulch process on the growth factor water was clearly shown in the experiment. The for the plant available water in the "Strip-T" variant was significantly lower, at all sampling dates, compared to the "Control" variant. The white clover clearly transpired water in its emergence. Especially in the young development of the corn until flowering, the corn in the "Strip-T" variant had a lower water content available. This was only 33% usable field capacity on 01.07.21 during the stretching growth after the end of the stand, which is clearly in the yield-effective range. Thus, the yield losses can be attributed to this growth factor.

A positive effect of the white clover on the nutrient supply of the corn could not be determined. The N_{min} content in the first 30 cm differed significantly from that of the "control", however, this is not due to the fixation performance of the clover. In addition, no quantitative release of nitrogen from legumes during the vegetation period is given in the literature. The increase in the upper 30 cm, can be justified with the lower N-binding in the plant material of the "Strip-T" variant.

The white clover in the "with undersowing" variant could not perform as desired in biomass development and N yield. Due to the early shading of the strongly established maize, the undersowing was only very poorly developed in the study. Soil cover and weed suppression were very low. There was no competition that affected yield. The yield performance of the "with undersowing" variant was at the level of the "control".

In total, the "Strip-T" method could not meet the objectives. The yield performance and the nitrogen yield of the method remained below expectations. The weed suppression is good, but the competition on the main crop is very high. There is a high potential for improvement of the method. A better soil structure in the strip and a reduction of the competition through the maintenance of the living mulch can lead to considerable yield increases of the method. However, yield reductions due to the living mulch process are to be expected. The extent to which the added value of the process compensates for the yield reductions must be determined in further studies.

9 Literaturverzeichnis

- ACHILLES, W., T. BELAU UND J. BICKELHAUPT, 2017: Ökologischer Landbau: Daten für die Betriebsplanung im ökologischen Landbau. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V (KTBL).
- AMELUNG, W., H.-P. BLUME, H. FLEIGE, R. HORN, E. KANDELER, I. KÖGEL-KNABNER, R. KRETZSCHMAR, K. STAHR UND B.-M. WILKE, 2018: Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, DOI:10.1007/978-3-662-55871-3.
- ANONYM, 2019: Is Organic Strip-Till an Opportunity or Obstacle? Strip-Till Farmer.
- BARESEL, J.P. UND H. J. REENTS, 2006: Lebendmulchsysteme mit einjährigen Leguminosen. BÖL Bundesprogramm Ökologischer Landbau. Freising.
- BHASKAR, V., A.S. WESTBROOK, R.R. BELLINDER UND A. DITOMMASO, 2021: Integrated management of living mulches for weed control: A review. *Weed Technology* **35** (5), 856–868, DOI:10.1017/wet.2021.52.
- BISCHOFF, J. UND N. TAUCHNITZ, 2017: Gülle-Strip-Till zu Mais in Sachsen-Anhalt. In: *Gülle-Strip-Till: Ergebnisse der verschiedenen Versuchsstandorte*. LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU SACHSEN-ANHALT (Hrsg.), 06406 Bernburg, WIRmachenDRUCK GmbH, S. 8–18.
- BÖTTCHER, F. UND C. FRÜHAUF, 2017: 6.2 Mais. In: *Agrarmeteorologie*. BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (Hrsg.), Bonn, S. 70–77.
- BÖTTCHER, F., M. SCHMIDT, E. MÜLLER, A. SCHMIDT UND T. WEISKE, 2017: Grünes Licht für Zwischenfrüchte: Ergebnisse von Wasserhaushaltsuntersuchungen im Zwischenfruchtanbau. LOP ökologischer Lanbau ohne Pflug (Sonderheft), 58–62.
- BOTTENBERG, H., J. MASIUNAS, C. EASTMAN UND D. EASTBURN, 1997: Yield and Quality Constraints of Cabbage Planted in Rye Mulch. *Biological Agriculture & Horticulture* **14** (4), 323–342, DOI:10.1080/01448765.1997.9755168.
- BRUNOTTE, J., N. UPPENKAMP UND H.-H. VOSSHENRICH, 2021: Definition und Einordnung der Bodenbearbeitungsverfahren: Streifenbodenbearbeitung. In: *Streifenbodenbearbeitung: Eine Bestandsaufnahme aus Forschung und Beratung*. KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.), Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), S. 10–15.
- DEMMELE, M., H. KIRCHMEIER, B. BLUMENTHAL, M. MARX UND R. BRANDHUBER, 2018: Streifenbodenbearbeitung vor Zuckerrüben und Körnermais. 85356 Freising-Tüntenhausen, ES-Druck.

- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD), 2021: ISABEL - Deutscher Wetterdienst - Rückblicke Jahr: Wetterstation Osterfeld. Zugriff: 19. November 2021, URL: https://isabel.dwd.de/DWD-ISABEL/DE/meinagrarwetter/rueckblicke/jahr/_node.html.
- DIERAUER, H. UND T. GELENCSEÉR, 2019: Biomais: Merkblatt Nr.: 1017. Frick, Schweiz.
- DIERAUER, H., D. HEGGLIN UND D. BÖHLER, 2014: Direktsaat von Mais im Biolandbau. Frick, Schweiz.
- DIERAUER, H., F. SIEGRIST UND G. WEIDMANN, 2017: Untersaat in Mais. Praxistipp Nr.006. Frick, Schweiz.
- DOLESCHEL, P. UND J. FRAHM (Hrsg.), 2014: Landwirtschaftlicher Pflanzenbau: Grundlagen des Acker- und Pflanzenbaus. Jg.: 1, München, Münster-Hiltrup, BLV Buchverlag GmbH & Co. KG; Landwirtschaftsverlag GmbH.
- EDER, J. UND R. BRANDHUBER, 2014: Mais. In: *Landwirtschaftlicher Pflanzenbau: Grundlagen des Acker- und Pflanzenbaus*. DOLESCHEL, P. UND J. FRAHM (Hrsg.), München, Münster-Hiltrup, BLV Buchverlag GmbH & Co. KG; Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 501–538.
- FEIL, B. UND LIEGGENS M., 2001: Pflanzenproduktion in lebenden Mulchen: Eine Übersicht. Stuttgart, Eugen Ulmer GmbH & Co.
- FUCHS, M., J. DÖHLER UND T. KREUTER, 2017: Gülle-Strip-Till zu Mais in Sachsen (Standort Cunnersdorf). In: *Gülle-Strip-Till: Ergebnisse der verschiedenen Versuchsstandorte*. LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU SACHSEN-ANHALT (Hrsg.), 06406 Bernburg, WIRmachenDRUCK GmbH, S. 27–38.
- FUCHS, R., K. CAIS, A. REHM, G. SALZEDER UND K. WIESINGER, 2009: Wirkung von Zwischenfrüchten auf die Folgefrucht Hafer angelegt als Untersaaten in Winterroggen und als Stoppelsaat. Freising-Weihenstephan.
- GEOLOGISCHER DIENST NORDREIHN-WESTFALEN, 2020: Bodenart – Bodenartengruppe – Bodenartenschichtung. Krefeld.
- GRÄBER, P.-W., 2005: Grundwassermesstechnik. Dresden.
- GRAB, R., 2003: Direkt- und Spätsaat von Silomais - Ein neues Anbausystem zur Reduzierung von Umweltgefährdungen und Anbauproblemen bei Optimierung der Erträge. Göttingen, Cuvillier Verlag.
- HARTMANN, S., K. GEHRING UND M. ZELLNER, 2014: Feldfutterbau. In: *Landwirtschaftlicher Pflanzenbau: Grundlagen des Acker- und Pflanzenbaus*. DOLESCHEL, P. UND J. FRAHM (Hrsg.), München, Münster-Hiltrup, BLV Buchverlag GmbH & Co. KG; Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 719–744.
- HERMANN, W., 2021: Streifenbodenbearbeitung bei Zuckerrüben in Hohenheim. In: *Streifenbodenbearbeitung: Eine Bestandsaufnahme aus Forschung und Beratung*. KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.), Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), S. 30–39.

- HERMANN, W. UND J. BISCHOFF, 2012: Strip-Till: Mit Streifen zum Erfolg ; [100% Praxis. Frankfurt am Main, DLG-Verl.
- JUNG, R., 2015: Entwicklung von Untersaaten und Untersaatenmischungen zur Reduzierung des Unkrautdruckes in Mais, BÖLN.
- KNITTEL, H., 2012: Praxishandbuch Dünger und Düngung. Clenze, Agrimedia.
- KRACHUNOVA, T., A. LANDGRAF, M. SCHOLZ UND K. SCHMIDTKE, 2019: Erprobung innovativer Anbaustrategien für ökologisch wirtschaftende Milchviehbetriebe in Mittelgebirgslagen: Teilbereich Maisanbau.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (Hrsg.), 2021: Streifenbodenbearbeitung: Eine Bestandsaufnahme aus Forschung und Beratung. Jg.: 521, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).
- LAUFER, D. UND H.-J. KOCH, 2021: Streifenbodenbearbeitung im Zuckerrübenanbau auf Lössböden in Deutschland. In: *Streifenbodenbearbeitung: Eine Bestandsaufnahme aus Forschung und Beratung*. KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.), Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), S. 52–59.
- LENGAUER, 2020: Testung unterschiedlicher Mulchsysteme im geschützten Anbau. Haidegger (4).
- LICHT, M.A. UND M. AL-KAISI, 2005: Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil and Tillage Research* **80** (1-2), 233–249, DOI:10.1016/j.still.2004.03.017.
- LÜTKE ENTRUP, N., 2000: Feldfutterbau und Ackerbegrünung. In: *Lehrbuch des Pflanzenbaues: Kulturpflanzen*. LÜTKE ENTRUP, N. UND B.C. SCHÄFER (Hrsg.), Bonn, AgroConcept, S. 572–669.
- MARSCHALL, K. UND U. PRÜFER, 2017: Gülle Strip-Till zu Mais in Thüringen. In: *Gülle-Strip-Till: Ergebnisse der verschiedenen Versuchsstandorte*. LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU SACHSEN-ANHALT (Hrsg.), 06406 Bernburg, WIRmachenDRUCK GmbH, S. 39–46.
- MEßNER, H., 2000: Mais. In: *Lehrbuch des Pflanzenbaues: Kulturpflanzen*. LÜTKE ENTRUP, N. UND B.C. SCHÄFER (Hrsg.), Bonn, AgroConcept, S. 398–427.
- MÜCKE, M., F. ROHLFING UND C. KREIKENBOHM, 2019: Leitfaden mechanische Beikrautregulierung im ökologischen Maisanbau. 30453 Hannover.
- NEUMANN, H.J., 2005: Optimierungsstrategien für den Getreideanbau im ökologischen Landbau: System „weite Reihe“ und Direktsaat in ausdauernden Weißklee („Bi-cropping“). Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

- OMONODE, R.A. UND T.J. VYN, 2019: Tillage and Nitrogen Source Impacts on Relationships between Nitrous Oxide Emission and Nitrogen Recovery Efficiency in Corn. *Journal of environmental quality* **48** (2), 421–429, DOI:10.2134/jeq2018.05.0188.
- OPITZ VON BOBERFELD, W. UND E. BECKMANN, 1998: Zum Vorfruchtwert der Zwischenfrüchte *Vicia sativa* L. und *Trifolium resupinatum* L. *Pflanzenbauwissenschaften* **2** (4), 183–189.
- OSTERMAIR-SPECKER, S., 2021: Bio-Saatmais Baychaka - gesunder Körnermais. Zugriff: 15. Oktober 2021, URL: <https://bsv-saaten.de/oekosaatgut/mais-oeko/oeko-saatmais-baychaka-s240-k220.html>.
- RECHBERGER, C., 2021: Innovative erosionsmindernde Techniken der mechanischen Beikrautregulierung nach Mulchsaat in Reihenkulturen: Projekt: SoilSaveWeeding.
- RECHBERGER, C., M. GERSTL UND M. FISCHL, 2022: Mehr Bodenbedeckung anstreben: Erosionsschutz im Biolandbau. *Lumbrico konservierender ökologischer Landbau* (11), 22–27.
- RÖSELER, M., S. GRAEFF, W. HERMANN UND W. CLAUPEIN, 2009: Strip-Till-Verfahren in Zuckerrüben und Mais. Versuchsstation Ihinger Hof, Stuttgart.
- SCHMIDT, J., 2021: Monats- und Jahreswerte für Osterfeld - Temperatur, Niederschlag und Sonnenschein - WetterKontor. Zugriff: 15. Oktober 2021, URL: <https://www.wetterkontor.de/de/wetter/deutschland/monatswerte-station.asp?id=10565&yr=2020&mo=-1>.
- SOBOTIK, M., R. K. EBERWEIN, G. BODNER, R. STANGL UND W. LOISKANDL, 2020: Pflanzenwurzeln: Wurzeln begreifen, Zusammenhänge verstehen, in der Praxis anwenden. Frankfurt, DLG-Verlag.
- SPANIER, J., 2021: Sachsen-Anhalt-Viewer: Bodenbasisdaten und Kennwerte. Zugriff: 15. Oktober 2021, URL: https://www.lvermgeo.sachsen-anhalt.de/de/startseite_viewer.html.
- TRAUTZ, D., C.-P. FEDEROLF, M. WESTERNSCHULDE UND H.-W. OLFS, 2021: Streifenbodenbearbeitung und Gülleunterfußdüngung bei Silomais in Nordwestdeutschland. In: *Streifenbodenbearbeitung: Eine Bestandsaufnahme aus Forschung und Beratung*. KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.), Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), S. 69–74.
- ZEMLICKA, J., 2017: An Organic Mindset with Your Strip-Till System. *Strip-Till Farmer*.

Anhang

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Versuchsplan Versuchsanlage.....	77
Anhang 2: EUF-Bodenuntersuchung der Versuchsfläche	78
Anhang 3: Bonitur und Beprobungsplan	79
Anhang 4: Temperatursummen der Wetterstation Osterfeld vom 22.05.2021 (Aussaat) bis..... 02.11.2021 (Ernte)	80
Anhang 5: Probenaufbereitung zur C/N Bestimmung.....	81
Anhang 6: Abbildungen Bestandsentwicklung des Feldversuches während der gesamten..... Versuchsdurchführung.....	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildung A 1:Getrocknete Ausgangsprobe (Unkraut Parzelle 1)	81
Abbildung A 2: Messermühle für die 1. Mahlstufe	81
Abbildung A 3: 1. Mahlstufe	81
Abbildung A 4: Ultra-Zentrifugalmühle für die 2. Mahlstufe auf $\leq 0,2$ mm	81
Abbildung A 5: Bodenbedeckung am 09.04.2021	82
Abbildung A 6: Bodenbedeckung am 29.04.2021	82
Abbildung A 7: Weißkleebestand nach 1. Mulchdurchgang am 05.05.2021	82
Abbildung A 8:Aussaat am 22.05.2021	83
Abbildung A 9 Ablagegenauigkeit inter Reihenabstand 12 cm	83
Abbildung A 10: Breite des bearbeiteten Saatbandes 20 cm.....	83
Abbildung A 11: Pflanzenbestand am 03.06.2021.....	84
Abbildung A 12: Spitzen der Maispflanzen am 03.06.2021	84
Abbildung A 13: 18.06.2021	84
Abbildung A 14: „Strip-T“ am 02.07.2021	84
Abbildung A 15: "Kontrolle" am 02.07.2021	84
Abbildung A 16: Zwischenreihen Bedeckung „Kontrolle“ am 18.08.2021	85
Abbildung A 17: Zwischenreihen Bedeckung „mit Untersaat“ am 18.08.2021	85
Abbildung A 18: Zwischenreihen Bedeckung „Strip-T“ am 18.08.2021.....	85
Abbildung A 19: Zwischenreihen Bedeckung „Strip-T“ am 18.08.2021.....	85
Abbildung A 20: Pflanzenbestand von links der Parzelle 7 („mit Untersaat“) Parzellen 8 („Strip T“) und Parzelle 9 („Kontrolle“) am 18.08.2021	86
Abbildung A 21: Pflanzenbestand von links der Parzelle 2 („mit Untersaat“) Parzellen 3 („Strip T“) und Parzelle 4 („Kontrolle“) am 18.08.2021	86

Anhang 1: Versuchsplan Versuchsanlage

Praxisversuch Weißklee Einsaat in Körnermais zu unterschiedlichen Saatzeitpunkten und Verfahren			
Einfaktorielle Blockanlage	mit 4 Wiederholungen		
Versuchsglieder:	1	2	3
	betriebsübliche Mulchsaat	Weißklee als Untersaat	Stri-Till Saat in Weißkleebestand
Parzellenmaße:	20m x 4,5m	Parzellengröße: 90 m ²	
Anzahl Einzelparzellen	12		
Gesamtflächenbedarf	1080 m ²		

30m					
	20 Meter				
1. Wiederholung	1	4,5m	13,5 Meter	54 Meter	
	2	4,5m			
	3	4,5m			
2. Wiederholung	1	4,5m	13,5 Meter		
	3	4,5m			
	2	4,5m			
3. Wiederholung	2	4,5m	13,5 Meter		
	3	4,5m			
	1	4,5m			
4. Wiederholung	3	4,5m	13,5 Meter		
	1	4,5m			
	2	4,5m			

Anhang 2: EUF-Bodenuntersuchung der Versuchsfläche

EUF-Bodenuntersuchung und Düngeempfehlung

Bioland Beratung GmbH, Projekt NutriNet, Geiststraße 26, 06108 Halle



Schlag: LfNr. 126_Bindaufshäuschen WK
Größe: 1 ha **Partner-Nr.:** 3161280
Anbaujahr: 2021 **Druckdatum:** 06.04.2021
Anbaugbiet: Zeitz **Beratungs-Tel.:** 03441/899 111
Probenahme-/
Eingangsdatum: 12.03.2021

Laborergebnis - akkreditiert nach ISO/IEC 17025

Probe-nummer	Code*** Bodenart	Humus %	Schwefel* S	Stickstoff* NO ₃ -N / Norg	Phosphor* P1 / P2	Kalium* K1 / K2	Calcium* Ca1 / Ca2	Magnesium* Mg	Bor** B
440050	4	2,5	0,8	0,9/2,0	2,0/0,8	10/ 5	23/ 19	2,7	0,3
Versorgungsstufe		mittel	C anzustreben	B niedrig	B niedrig	C anzustreben	A sehr niedrig	E sehr hoch	A sehr niedrig

Bedarfsermittlung

Nährstoffe in kg / ha	Stickstoff N	Phosphat P ₂ O ₅	Kali K ₂ O	Kalk CaO	Magnesium MgO	Bor B
Aufdüngungsbedarf	130	70	40	3000	0	2
Vorfrucht (für Stickstoff: Anlage 4 Tab. 7 DüV) <small>Sonstige Frucht 1)</small>	0	0	0			
Zwischenfrucht (für Stickstoff: Anlage 4 Tab. 7 DüV)	0					
Düngung zu Vorkulturen u. Zwischenfrucht *** (für Stickstoff: § 4 Absatz 1 DüV)	0					
Herbstdüngung zu W. Gerste und W. Raps (für Stickstoff: § 4 Absatz 1 DüV)	0					
Organische Düngung Frühjahr (Anlage 1 und 3 DüV)	0	0	0		0	
Nährstoffbedarf für mineralische Düngung	130	70	40	3000	0	2

Düngeempfehlung für Körnermais (80 dt/ha)

Nährstoffe in kg / ha	Stickstoff N	Phosphat P ₂ O ₅	Kali K ₂ O 2)	Kalk CaO	Magnesium MgO	Bor B
Körnermais	130	70	40	3000	0	2
Folgefucht: Getreide 2022		60	40			

Das Ergebnis bezieht sich auf das zur Verfügung gestellte Material.
 1) Erntereste der Vorfrucht eingearbeitet. Darin enthaltene Nährstoffmengen wurden berücksichtigt.
 Das Frühjahr ist ein ungeeigneter Probenahmetermin für Stickstoff.
 2) Die empfohlene Kalkmenge entspricht einer Carbokalkmenge von 11 t/ha.
 * in mg / 100 g Boden ** in mg / 1000 g Boden *** siehe Rückseite

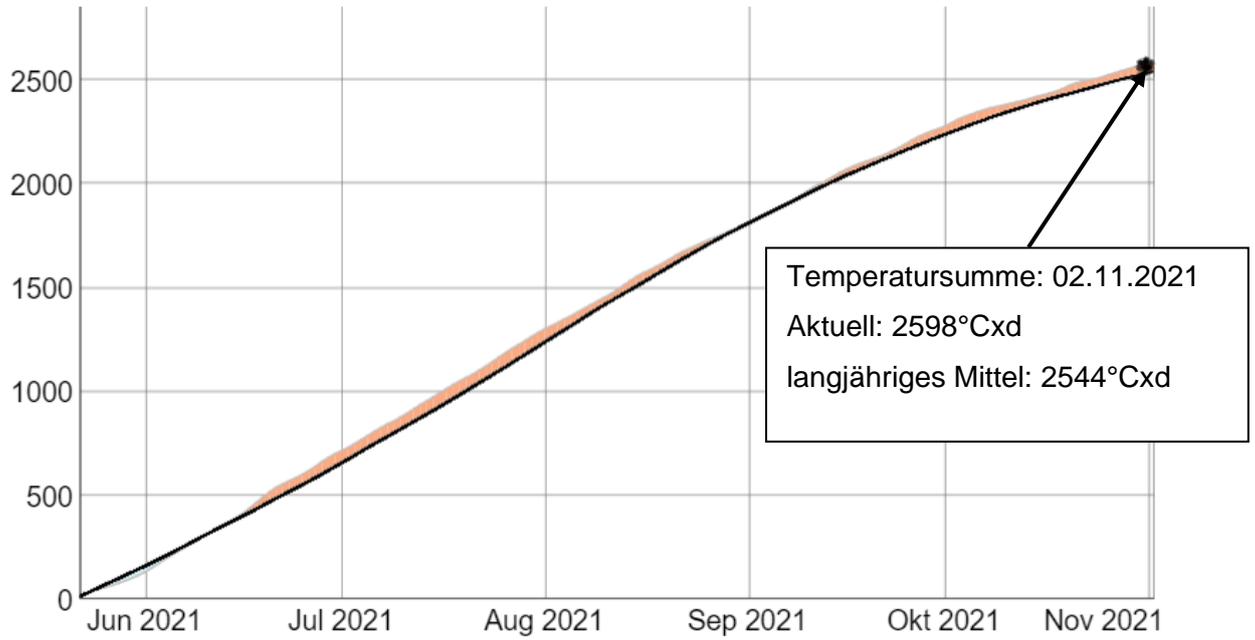
Anhang 3: Bonitur und Beprobungsplan

	Datum	Bearbeitung/ Maßnahme	Bedeckung	Beschattung	Biomasse	Bodenprobe Nmin	Bodenprobe Bodenfeuchte	Bodenprobe Grundnährstoffe	ungestörte Bodenproben
Mai	9. Apr.					Vor Anlage		x	
	5. Mai.	Mulchen	x		x ohne Mais				
	23. Mai.	Saat							
Juni	3. Jun.	Striegel	x	x			x		x
	18. Jun.	Hacke	x				x		
	2. Jul.	Hacke	x				x		
Juli	12. Jul.			x					
	23. Jul.	Hacke/Untersaat	x	x			x		
		Blüte Mais							
August	18. Aug.		x						
September		(Zwischenernte)							
	7. Sep.	ZE (EC 85-87)			x	x			
Oktober									
November	2. Nov.	Ernte	x	x		x (Ernte)			
		Summe:	7	4	2	3	4	1	1

Anhang 4: Temperatursummen der Wetterstation Osterfeld vom 22.05.2021 (Aussaat) bis 02.11.2021 (Ernte)

Summe der Tagesmitteltemperatur [°C] 22.05.2021 bis 02.11.2021

— Aktuell — langjähriges Mittel Aktuell kälter wärmer als im Mittel



Anhang 5: Probenaufbereitung zur C/N Bestimmung

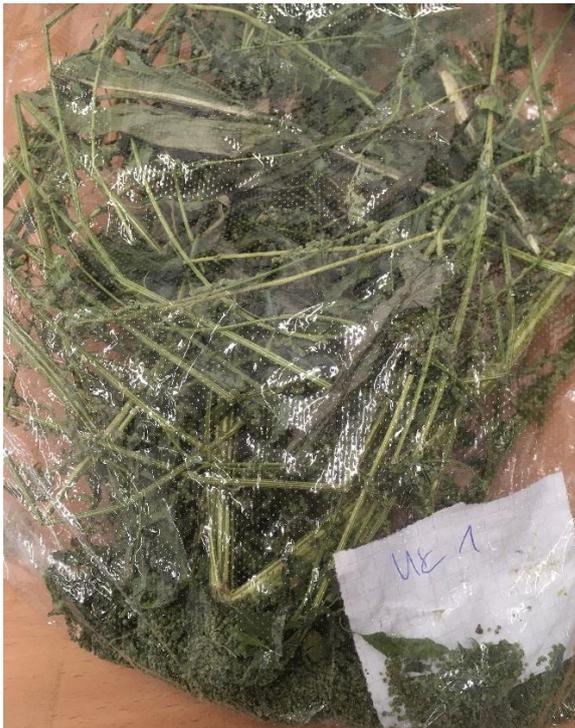


Abbildung A 1: Getrocknete Ausgangsprobe
(Unkraut Parzelle 1)



Abbildung A 2: Messermühle für die 1.
Mahlstufe



Abbildung A 3: 1. Mahlstufe



Abbildung A 4: Ultra-Zentrifugalmühle für
die 2. Mahlstufe auf $\leq 0,2$ mm

Anhang 6: Abbildungen Bestandsentwicklung des Feldversuches während der gesamten Versuchsdurchführung



Abbildung A 5: Bodenbedeckung am
09.04.2021



Abbildung A 6: Bodenbedeckung am
29.04.2021



Abbildung A 7: Weißkleebestand nach 1. Mulchdurchgang am 05.05.2021



Abbildung A 8:Aussaat am 22.05.2021



Abbildung A 9 Ablagegenauigkeit innerer Reihenabstand 12 cm



Abbildung A 10: Breite des bearbeiteten Saatbandes 20 cm



Abbildung A 11: Pflanzensbestand am
03.06.2021



Abbildung A 12: Spitzen der Maispflanzen
am 03.06.2021



Abbildung A 13: 18.06.2021



Abbildung A 14: „Strip-T“ am 02.07.2021



Abbildung A 15: "Kontrolle" am 02.07.2021



Abbildung A 16: Zwischenreihen Bedeckung „Kontrolle“ am 18.08.2021



Abbildung A 17: Zwischenreihen Bedeckung „mit Untersaat“ am 18.08.2021



Abbildung A 18: Zwischenreihen Bedeckung „Strip-T“ am 18.08.2021

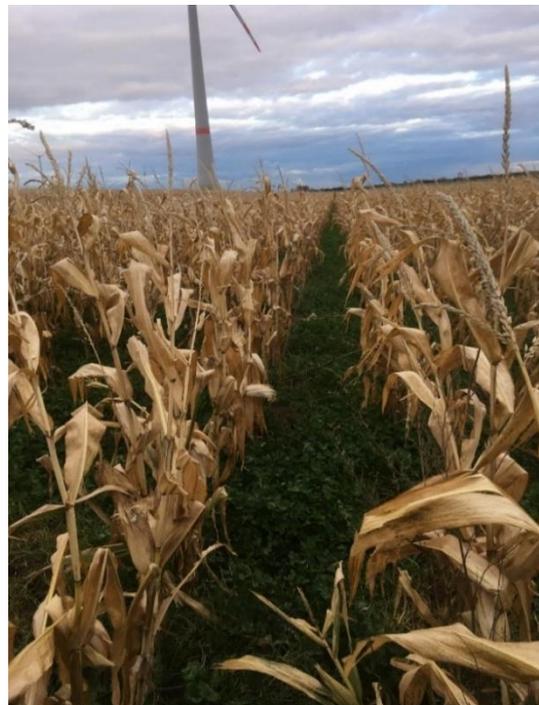


Abbildung A 19: Zwischenreihen Bedeckung „Strip-T“ am 18.08.2021



Abbildung A 20: Pflanzenbestand von links der Parzelle 7 („mit Untersaat“) Parzellen 8 („Strip T“) und Parzelle 9 („Kontrolle“) am 18.08.2021



Abbildung A 21: Pflanzenbestand von links der Parzelle 2 („mit Untersaat“) Parzellen 3 („Strip T“) und Parzelle 4 („Kontrolle“) am 18.08.2021

Erklärung über die eigenständige Erstellung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorgelegte Arbeit mit dem Titel

„Strip-Till-Saat von Körnermais (Zea mays L.) unter Bedingungen des ökologischen Landbaus“

selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie alle wörtlich oder sinngemäß übernommenen Stellen in der Arbeit als solche und durch Angabe der Quelle gekennzeichnet habe. Dies gilt auch für Zeichnungen, Skizzen, bildliche Darstellungen sowie für Quellen aus dem Internet.

Mir ist bewusst, dass die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden Prüfungsarbeiten stichprobenartig mittels Softwareverwendung zur Erkennung von Plagiaten überprüft.

Ort, Datum

Unterschrift